



Università degli Studi di Napoli "Parthenope"
Dipartimento di Scienze e Tecnologie

Corso di Cartografia Numerica e GIS
Corso di Sistemi Informativi Geografici + Laboratorio GIS

Lezione 3

Le rappresentazioni cartografiche

Le caratteristiche di una carta

Claudio Parente

Classificazione delle carte in base alle modalità di costruzione

- **Rappresentazioni per via geometrica**

- “Proiezioni” prospettiche

- “Proiezioni” per sviluppo

cilindriche
coniche

- **Rappresentazioni per via analitica**

si scrivono equazioni del tipo $X = X(\varphi, \lambda)$

$Y = Y(\varphi, \lambda)$

Qualsiasi
rappresentazione
cartografica
presenta
deformazioni

Queste funzioni devono essere tali da limitare le deformazioni.

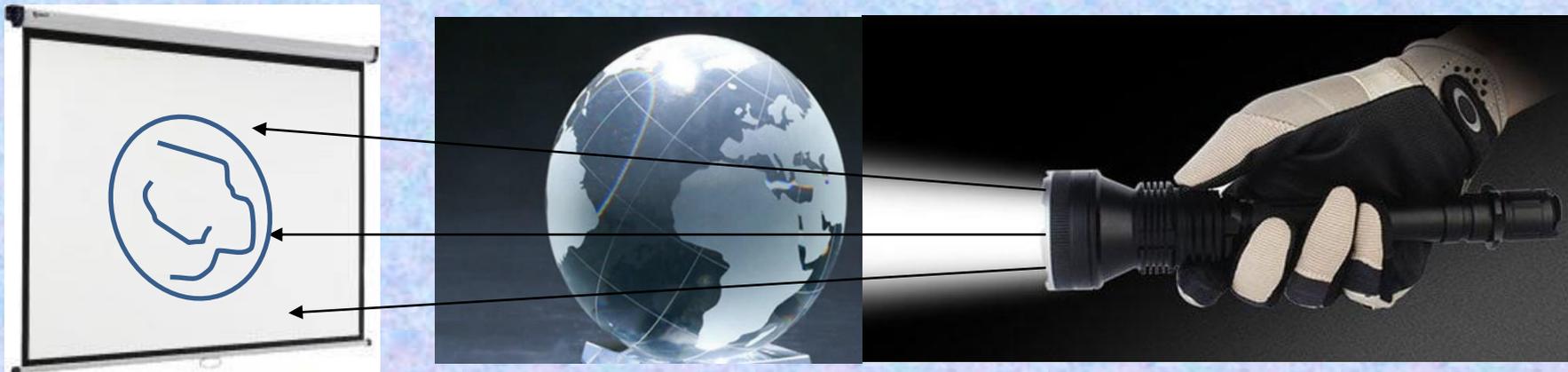
Precisazioni

Una proiezione presuppone l'esistenza di; un centro di proiezione, un piano su cui proiettare, una superficie geometrica (quella della sfera o dell'ellissoide) che deve essere rappresentata (e quindi proiettata).

Che cosa intendiamo per centro di proiezione?

Immaginiamo che la terra sia fatta di vetro trasparente e sopra ci siano disegnati i continenti, i fiumi, i paralleli e i meridiani, ecc.

Se prendiamo una torcia elettrica, la puntiamo sul modellino di vetro, ci saranno delle ombre proiettate sulla parete su cui termina il fascio di luce della torcia stessa. Queste ombre sono generate dai disegni a tratto (i continenti, i meridiani, ecc.) che stanno sul modellino di vetro.



Precisazioni

Il modellino di vetro è il nostro pianeta da «cartografare».

I raggi luminosi sono i raggi proiettanti.

Il punto in cui è collocata la torcia è il centro di proiezione.

In definitiva, il centro di proiezione è il punto da cui partono i raggi proiettanti che permettono di proiettare sul piano cartografico i punti della superficie terrestre.

Precisazioni

Se proiettiamo direttamente sul piano cartografico, le carte risultanti sono dette **prospettiche**.

Se proiettiamo su una superficie ausiliare, ad esempio un cono o un cilindro, per ottenere la carta bisognerà svolgere sul piano cartografico la superficie ausiliare. In tal caso le carte sono dette **per sviluppo**.

Le proiezioni o carte per sviluppo si distinguono in carte cilindriche e carte coniche, a seconda se la superficie ausiliare è quella di un cilindro o di un cono.

Il cono ed il cilindro, dopo che è stata effettuata la proiezione, vengono semplicemente «aperti» ovvero «svolti» ossia «sviluppati» sul piano. In questo caso, le deformazioni vengono introdotte con la proiezione, mentre lo «svolgimento» sul piano del cono o del cilindro non provocano ulteriori deformazioni.

Superfici su cui proiettare

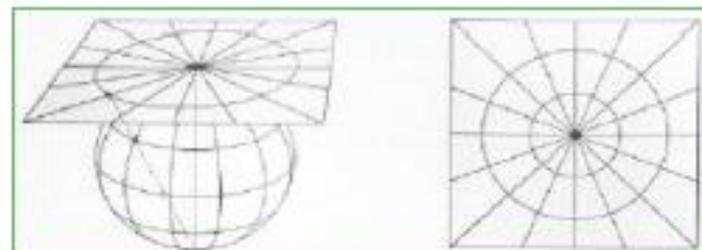
Le superfici su cui eseguire le proiezioni sono:

- PIANO → Proiezioni prospettiche
 - CONO
 - CILINDRO
- Proiezioni per sviluppo

Classificazione delle carte ottenute per proiezione tenendo conto della superficie su cui si proietta

Proiezioni prospettiche

Superficie: piano



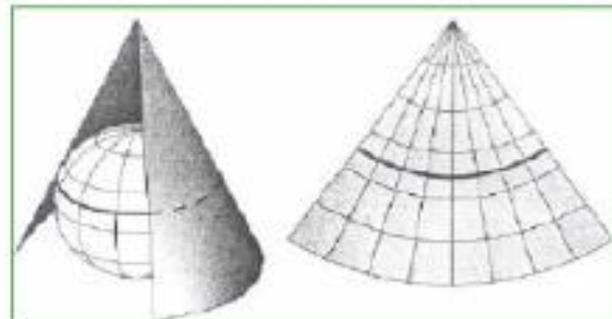
Proiezioni cilindriche

Superficie: cilindro



Proiezioni coniche

Superficie: cono



Classificazione delle proiezioni prospettiche tenendo conto della posizione del punto di proiezione

Per le proiezioni prospettiche, a seconda della posizione del punto di proiezione P si individuano proiezioni:

- **Centrografiche** (P nel centro dell'ellissoide o della sfera)
- **Stereografiche** (P diametralmente opposto al punto di tangenza tra l'ellissoide o la sfera ed il piano di proiezione)
- **Scenografiche** (P esterno alla superficie terrestre)
- **Ortografiche** (P all'infinito)

Riepilogo

Le proiezioni prospettiche si ottengono tramite la proiezione da un punto P dello spazio di una porzione della superficie di riferimento su di un piano (piano della carta) tangente all'ellissoide, o alla sfera l in un punto C .

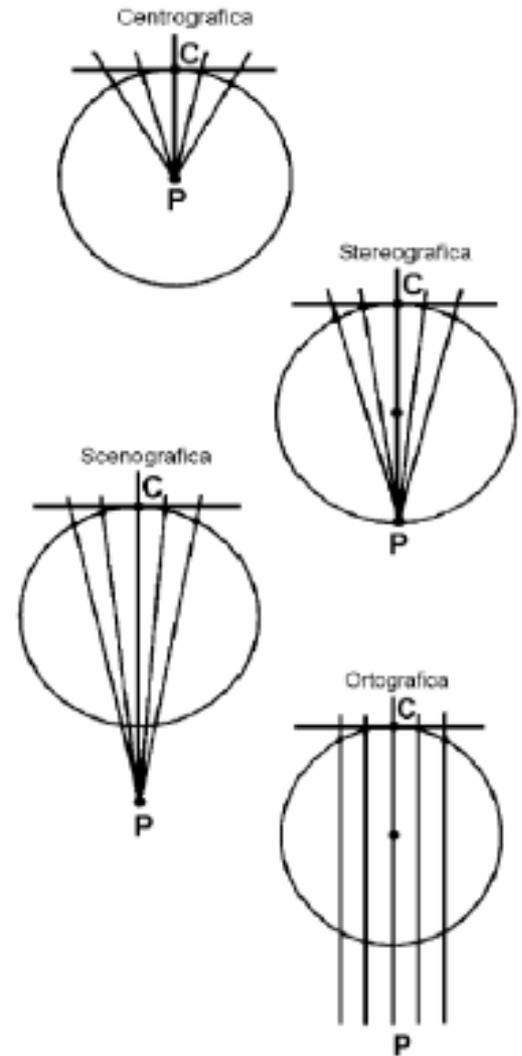
A seconda della posizione del centro di proiezione P si avranno proiezioni:

-*Centrografiche* => P nel centro dell'ellissoide =>

-*Stereografiche* => P diametralmente opposto al punto di tangenza tra l'ellissoide ed il piano di proiezione

-*Scenografiche* => P sempre sulla direzione diametrale ma esterno alla superficie di riferimento

-*Ortografiche* => P sempre sulla direzione diametrale ma all'infinito



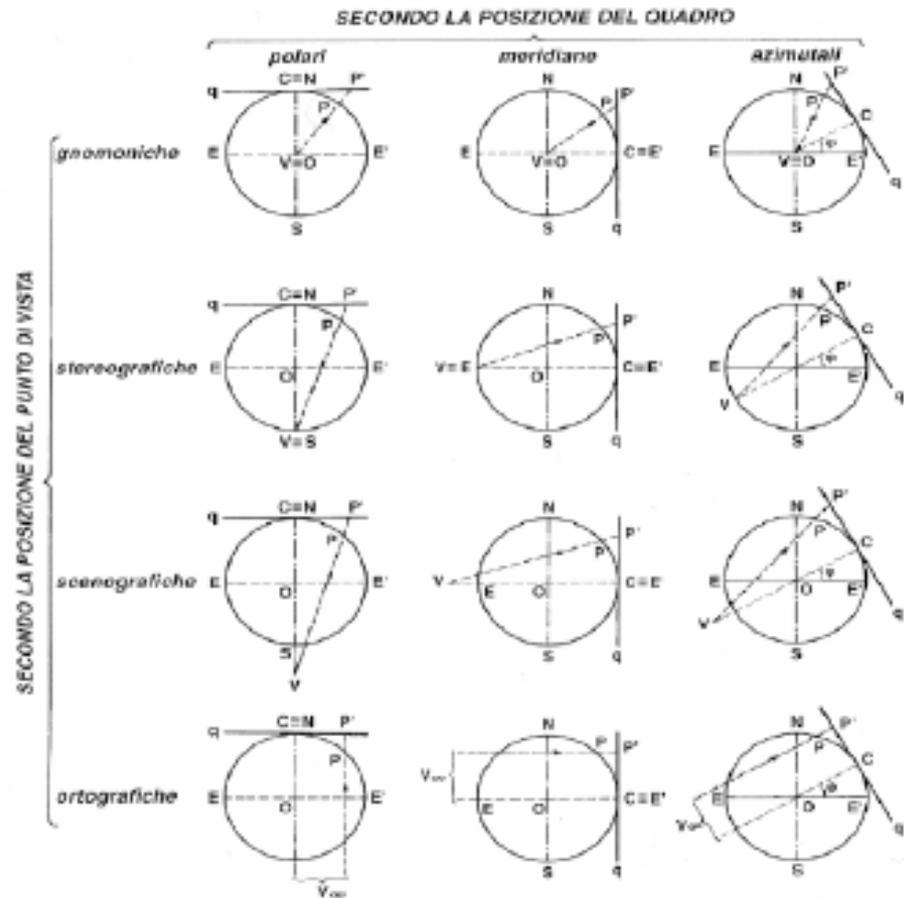
Classificazione delle proiezioni prospettiche tenendo conto della posizione del piano su cui si proietta

A seconda della posizione del punto C di tangenza tra modello della terra e piano di proiezione (carta) si avranno:

-*proiezioni polari* => piano tangente al polo

o equatoriali
-*proiezioni meridiane* => piano tangente in un punto dell'equatore

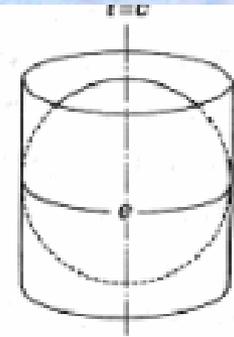
-*proiezioni azimutali* => piano tangente in un punto qualunque della superficie della sfera



Classificazione delle proiezioni cilindriche in base alla posizione reciproca modello della terra e cilindro

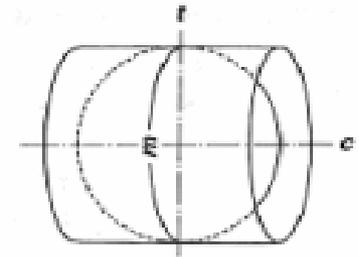
proiezione cilindrica diretta:

il cilindro è tangente all'equatore ed il centro di proiezione P è situato al centro dell'ellissoide



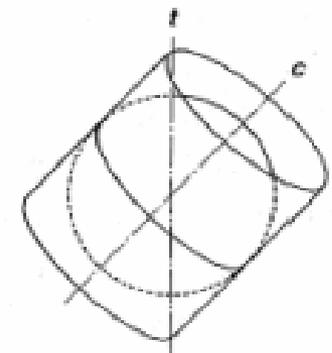
-proiezione cilindrica inversa:

cilindro è tangente lungo un meridiano ed il centro di proiezione P è situato al centro dell'ellissoide



-proiezione cilindrica obliqua:

l'asse del cilindro è comunque orientato rispetto all'asse minore dell'ellissoide (asse di rotazione)



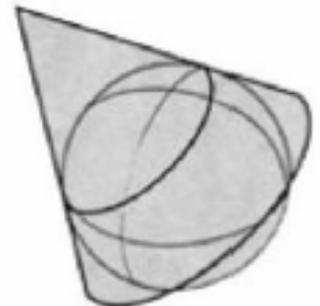
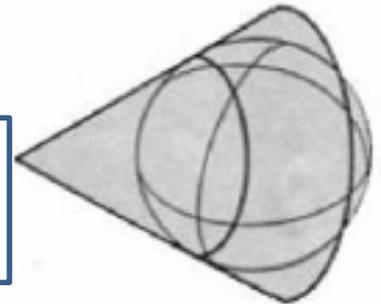
Classificazione delle proiezioni coniche in base alla posizione reciproca modello della terra e cilindro

Le più note proiezioni coniche:

-*Diretta*

-*Inversa*

-*Obliqua*



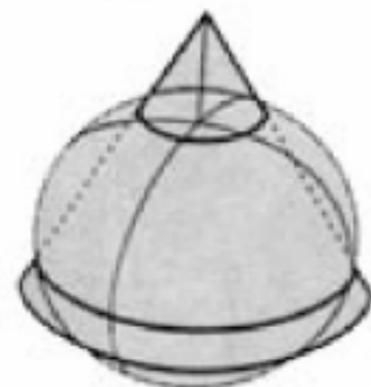
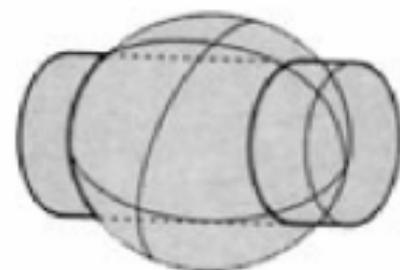
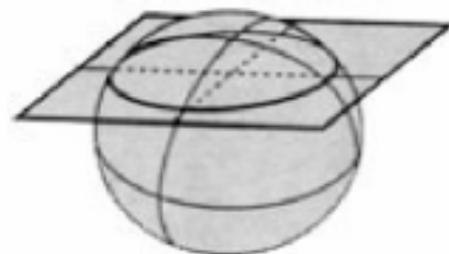
Per contenere le deformazione è necessario limitare in latitudine la fascia della Terra che si vuol restituire.

PROIEZIONI POLICENTRICHE – PROIEZIONE SU SUPERFICIE SECANTE

E' evidente come le deformazioni aumentino allontanandosi dalla zona di tangenza; per contenerle entro limiti accettabili è necessario limitare la zona della Terra da rappresentare in un intorno della zona di tangenza.

Per rappresentare zone molto ampie si ricorre alle *rappresentazioni policentriche*: si suddivide la zona da rappresentare in porzioni e per ognuna di queste si sceglie in modo opportuno la posizione della superficie di proiezione. Ciò porta però a tener conto dei problemi che nascono al riguardo della corrispondenza tra punti posti in prossimità dei confini di ogni porzione.

A parità di deformazioni, si può aumentare la zona della terra da cartografare ricorrendo all'artificio di rendere la *superficie di proiezione secante* anziché tangente.



Come indicare le deformazioni su una carta

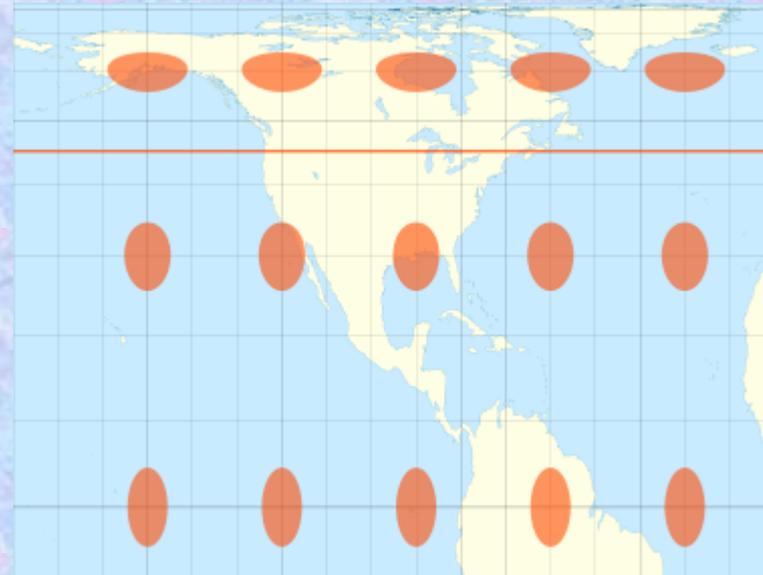
L'**indicatore di Tissot** (anche chiamato **elisse di Tissot** o **elisse di distorsione**) è uno strumento matematico proposto dal cartografo francese Nicolas Auguste Tissot nel 1859 con lo scopo di mostrare la distorsione locale in una mappa.

Un singolo indicatore mostra la distorsione in un punto specifico; poiché solitamente la distorsione varia lungo una mappa vengono disposti numerosi indicatori su tutta la mappa per illustrare il cambiamento nella distorsione spaziale.

Ellisse di Tissot

L'ellisse indicatrice di Tissot è un modo grafico per mostrare come vengono deformate lunghezze, angoli e aree.

Spesso vengono posti ad ogni intersezione fra i paralleli e meridiani segnati sulla mappa.



Ellisse di Tissot

L'ellisse di Tissot per indicare le deformazioni lineari viene solitamente disegnata scegliendo una unità di rappresentazione per la deformazione lineare. Ad esempio, potremmo scegliere $1 \text{ cm} =$ modulo di deformazione pari a 1.

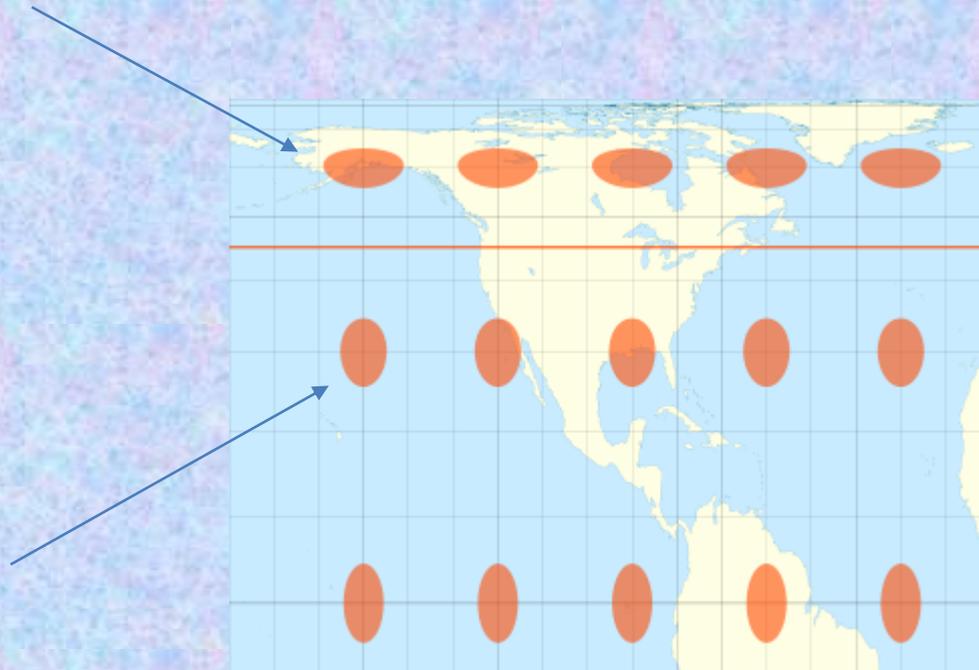
Se si hanno accorciamenti, la deformazione è rappresentata con lunghezze proporzionali, ma minori di 1 cm.

Se si hanno allungamenti, la deformazione è più lunga di 1 cm.

Ellisse di Tissot

Se l'allungamento lungo un parallelo è maggiore di quello lungo un meridiano, l'ellisse presenta il semiasse orizzontale più lungo di quello verticale.

Se l'allungamento lungo un parallelo è minore di quello lungo un meridiano, l'ellisse presenta il semiasse orizzontale più corto di quello verticale.



Deformazioni in una carta isogona: condizioni di isogonismo

Abbiamo detto che una carta è isogona quando non deforma gli angoli ovvero se consideriamo un angolo misurato sulla sfera o sull'ellissoide tra due direzioni, il corrispondente sulla carta (ovvero l'angolo formato tra le direzioni corrispondenti sulla carta alle direzioni sul modello 3d) è di ugual misura.

Se una carta è isogona, si verifica due condizioni, dette condizioni di idogonismo:

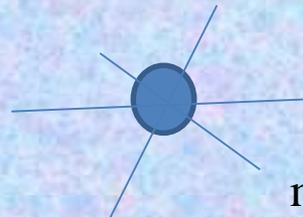
i paralleli e i meridiani sulla carta sono tra loro ortogonali;

dato un punto sulla carta, il modulo di deformazione lineare lungo le direzioni uscenti da quel punto, ma calcolato in quel punto è costante.

Condizioni di isogonismo

Attenzione sulla seconda condizione: essa non vuol dire affatto che il modulo di deformazione lineare è costante su tutta la carta. È ovvio che il modulo varierà, ovvero potrà essere costante lungo alcune direzioni, ma non potrà essere sempre lo stesso dappertutto, altrimenti significherebbe che la carta non ha alcuna deformazione, ma questo non può essere vero.

La seconda condizioni significa solo che in un punto sulla carta, il modulo di deformazione lineare lungo tutte le direzioni uscenti da quel punto non varia. Se cambio punto può variare, cioè assumere un nuovo valore che però rimane lo stesso qualunque sia la direzione che «imbocco» dal punto.

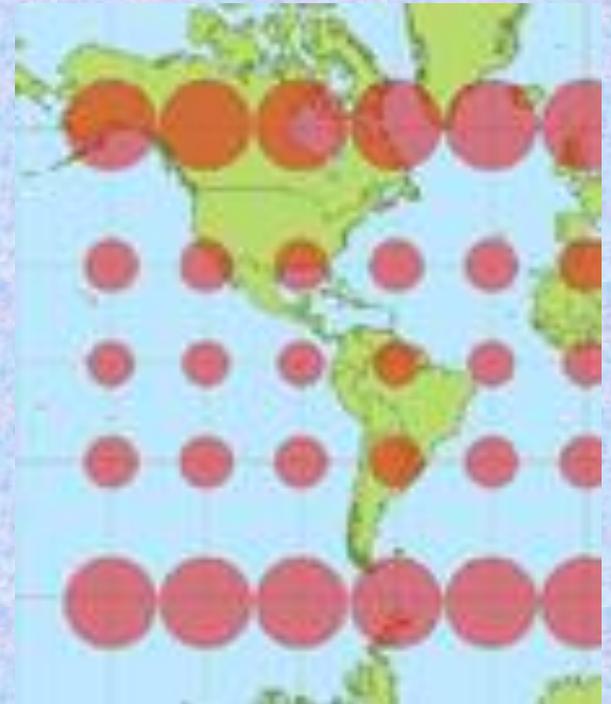


$m_1 = \text{costante in } P, \text{ qualunque}$
 $\text{sia la direzione assunta a riferimento}$

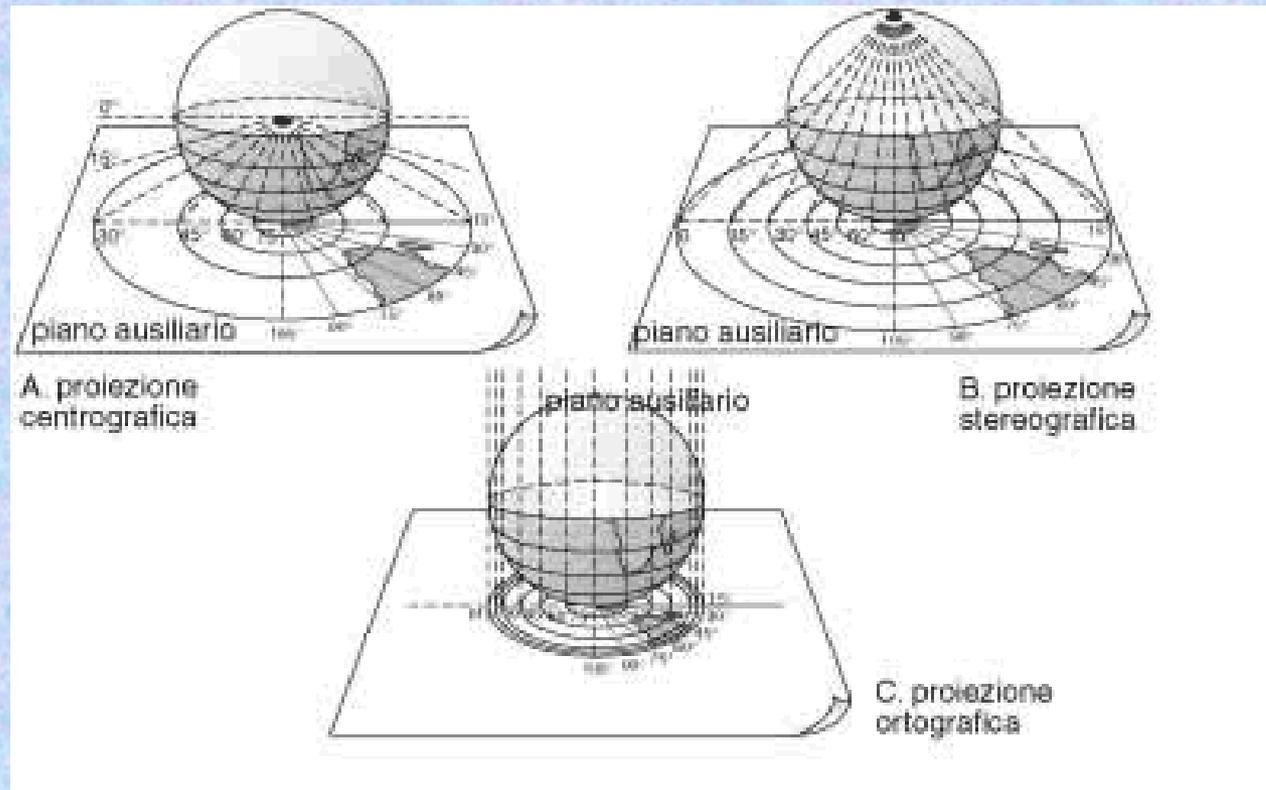
Ellisse di Tissot

Tornando all'ellisse di Tissot, tenuto conto di quanto detto per l'isogonismo nelle due slide precedenti, ne consegue che per carte conformi l'ellisse di Tissot diventa un cerchio.

La variazione del raggio del cerchio nei vari punti della carta indica che le deformazioni lineari stanno variando: più grande è il raggio, maggiore è la deformazione.



Proiezioni prospettiche - Approfondimenti



In figura vediamo tre tipi di rappresentazione polare.

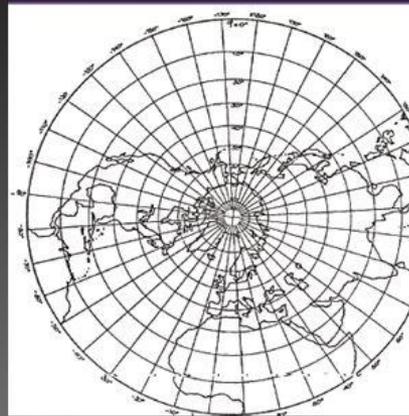
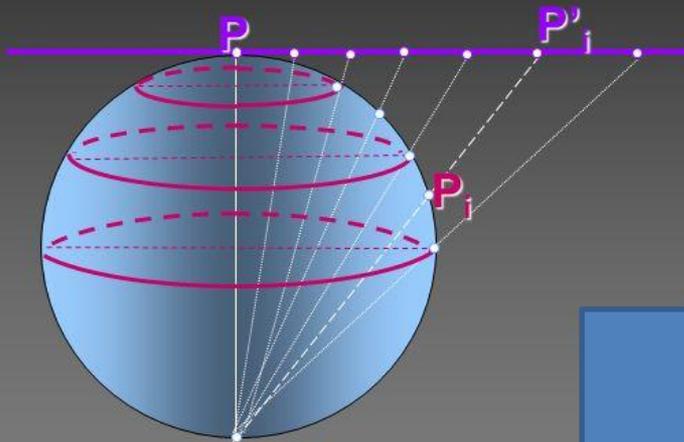
Andiamo di seguito ad analizzare nel dettaglio la proiezione stereografica polare.

Proiezione Stereografica polare

Tra le proiezioni prospettiche approfondiamo la proiezione stereografica polare.

PROIEZIONE STEREOGRAFICA POLARE

appartiene alla famiglia delle proiezioni prospettiche



Il piano della rappresentazione è tangente ad uno dei due poli.
Il centro di proiezione è situato nel polo opposto.
Se si vuole rappresentare l'Artide, il punto dove il piano è tangente alla terra (sfera o ellissoide) è il polo Nord.

Proiezione Stereografica polare

Consideriamo la terra sferica.

Nella proiezione stereografica, meridiani e paralleli si intersecano ad angolo retto ed è verificata anche l'altra condizione di isogonismo: la proiezione è conforme.

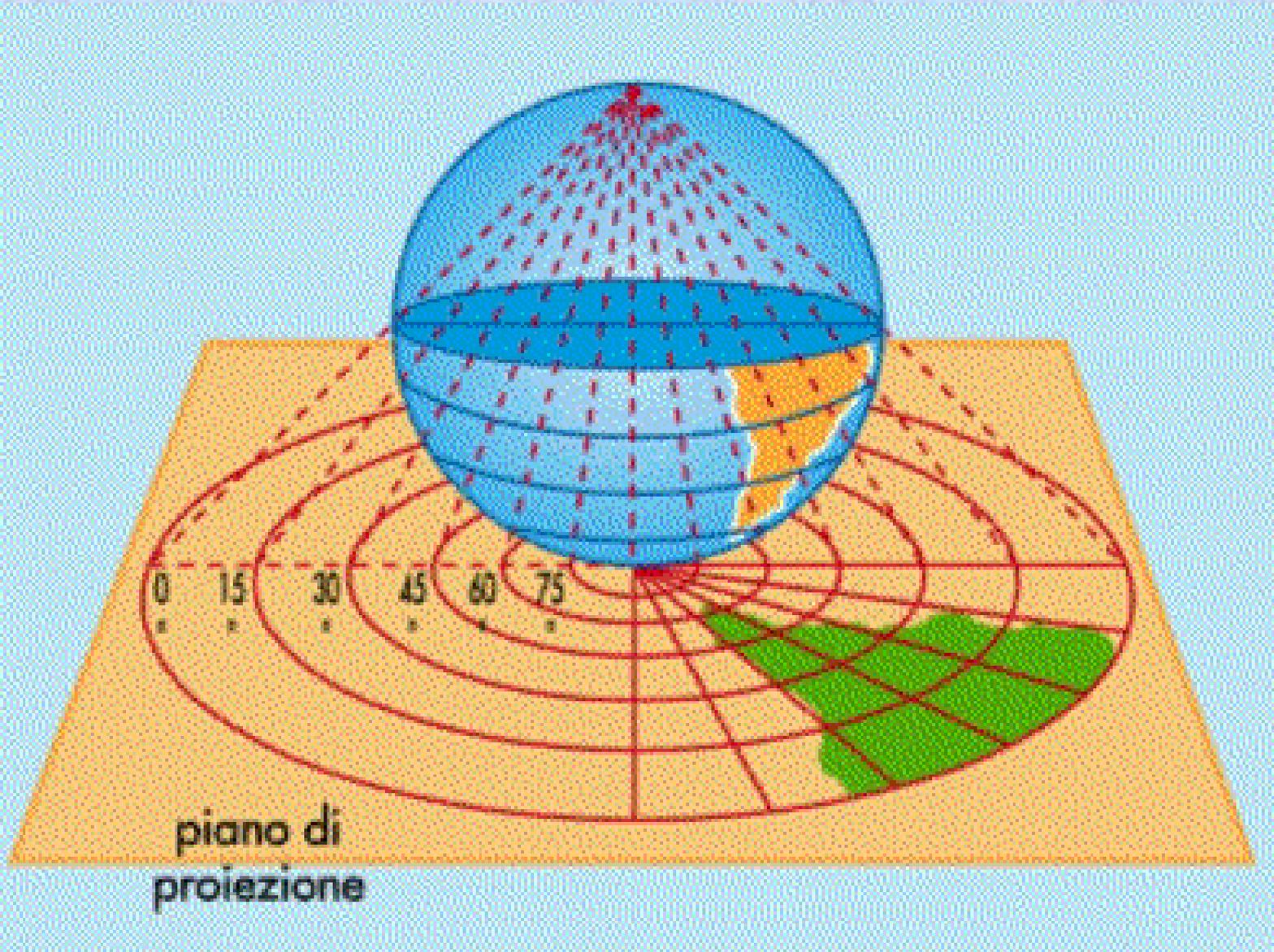
La scala aumenta allontanandosi dal centro della proiezione, con esagerazione delle aree nelle zone periferiche.

Proiezione Stereografica polare

Consideriamo i paralleli equidistanti sul globo. Nella rappresentazione stereografica diventano dei cerchi concentrici (il centro comune è il punto di tangenza ovvero il polo Nord o il polo Sud), ma la loro spaziatura non rimane costante in quanto aumenta man mano che si procede dal polo verso l'equatore.

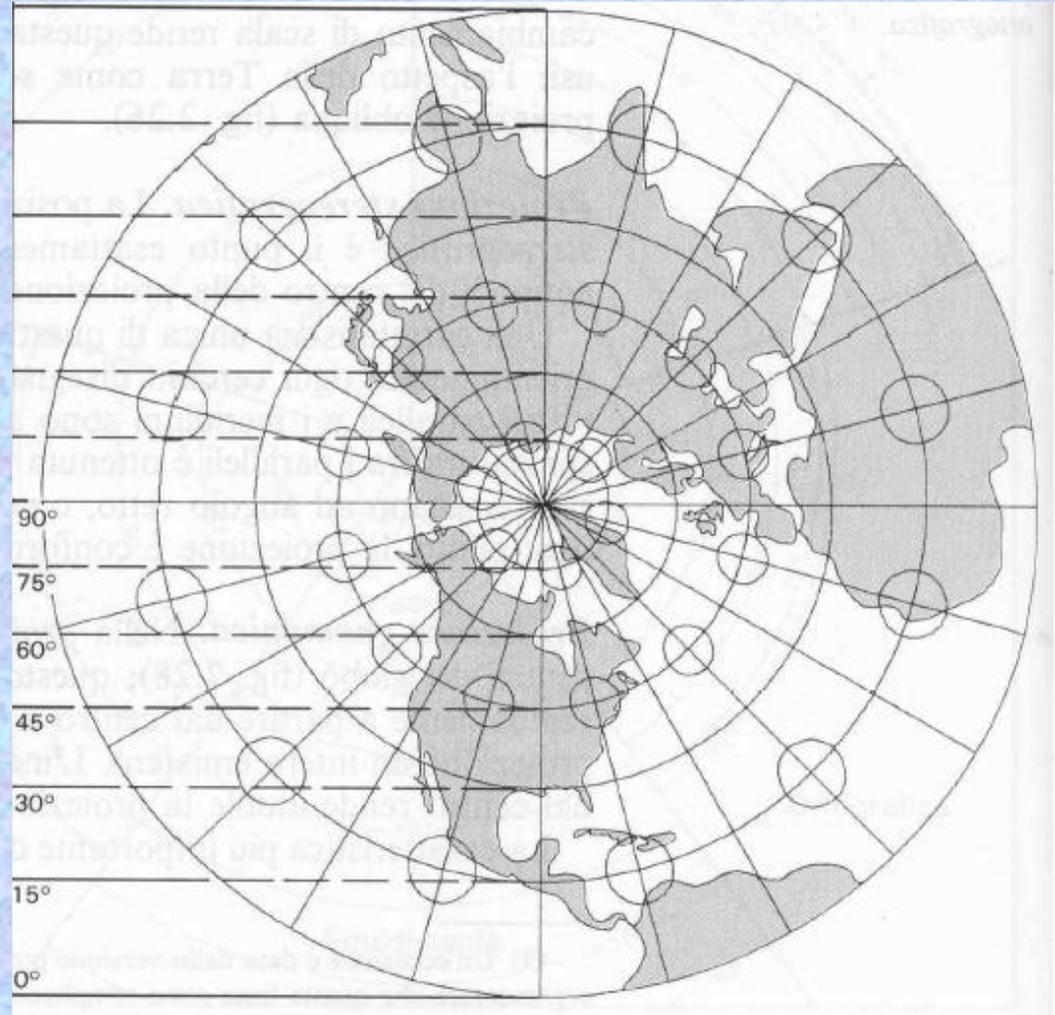
La proiezione stereografica polare è quella più utilizzata per la rappresentazione delle zone polari (U.P.S. Universal Polar Stereographic).

Proiezione Stereografica polare



Proiezione Stereografica polare con ellissi di Tissot

La carta è conforme:
le ellissi di Tissot sono
dei cerchi, con raggio più
grande là dove le
deformazioni sono
maggiori (i raggi
aumentano procedendo
dal polo verso
l'equatore).



SCALA DI UNA CARTA

Rappresentando un qualsiasi oggetto (nel nostro caso il terreno e gli oggetti che su di esso sono presenti) mediante la sua riproduzione attraverso un modello, si deve affrontare il problema della scala, normalmente di riduzione, che viene definita come il

rapporto numerico tra le misure lineari rappresentate sulla carta e quelle reali corrispondenti.

Tale rapporto si esprime con una frazione che ha per numeratore l'unità e per denominatore il numero per il quale bisogna moltiplicare le lunghezze misurate sulla carta per avere la corrispondente lunghezza reale sul terreno ovvero dividere la lunghezza reale sul terreno per ottenere quella sulla carta.

1/50.000 1/25.000 1/10.000 1/5.000

CLASSIFICAZIONE DELLE CARTOGRAFIE

in funzione della scala

geografiche quando la scala risulta minore a $1/1.000.000$;

corografiche quando la scala risulta compresa fra $1/1.000.000$ e $1/25.000$;

topografiche, le carte a scala maggiore di $1/25.000$.

piccola scala quando la scala risulta minore di $1/25.000$

media scala quando la scala risulta compresa fra $1/25.000$ e $1/10.000$

grande scala quando la scala risulta maggiore di $1/10.000$

in funzione del contenuto

carte generali, aventi la caratteristica di rappresentare la maggior quantità di particolari possibili, di interesse comune al maggior numero di potenziali utenti.

carte tematiche aventi la caratteristica di riportare una serie di informazioni dettagliate riguardanti una o più caratteristiche qualitative o quantitative del suolo, oppure degli oggetti che insistono sul territorio

Rapporto di scala, scala nominale e fattore di scala

In una carta il rapporto di scala non è costante, ma tende a variare al variare del punto considerato. Si parla quindi di scala effettiva della carta.

Si dice *scala nominale* di una carta il valore della scala effettiva in un punto, valore che viene assunto come riferimento; spesso è il valore assunto nel centro della carta.

Il *rapporto tra scala effettiva in un punto e scala nominale* prende il nome di *fattore di scala*. Ne consegue che il fattore di scala tende anche esso al variare al variare del punto considerato.

Rapporto di scala, scala nominale e fattore di scala

Esempio

Consideriamo una stereografica polare che rappresenti il polo Nord e le zone circostanti. Se il rapporto di scala al Polo Nord vale 1:1.000.000, possiamo assumere questo valore come scala nominale della carta. Procedendo verso le latitudini minori, cioè allontanandoci dal polo Nord, le zone sono via via più grandi, quindi il rapporto della scala effettiva aumenta (cioè diminuisce il denominatore).

Supponiamo che in un punto P lontano dal polo la scala sia diventata 1:500.000.

Facendo il rapporto tra scala effettiva nel punto P e scala nominale, ovvero $(1:500.000)/(1:1.000.000)$, si ottiene il valore 2, quindi il rapporto di scala è 2.

ESEMPIO DI CARTA IN SCALA 1/500.000



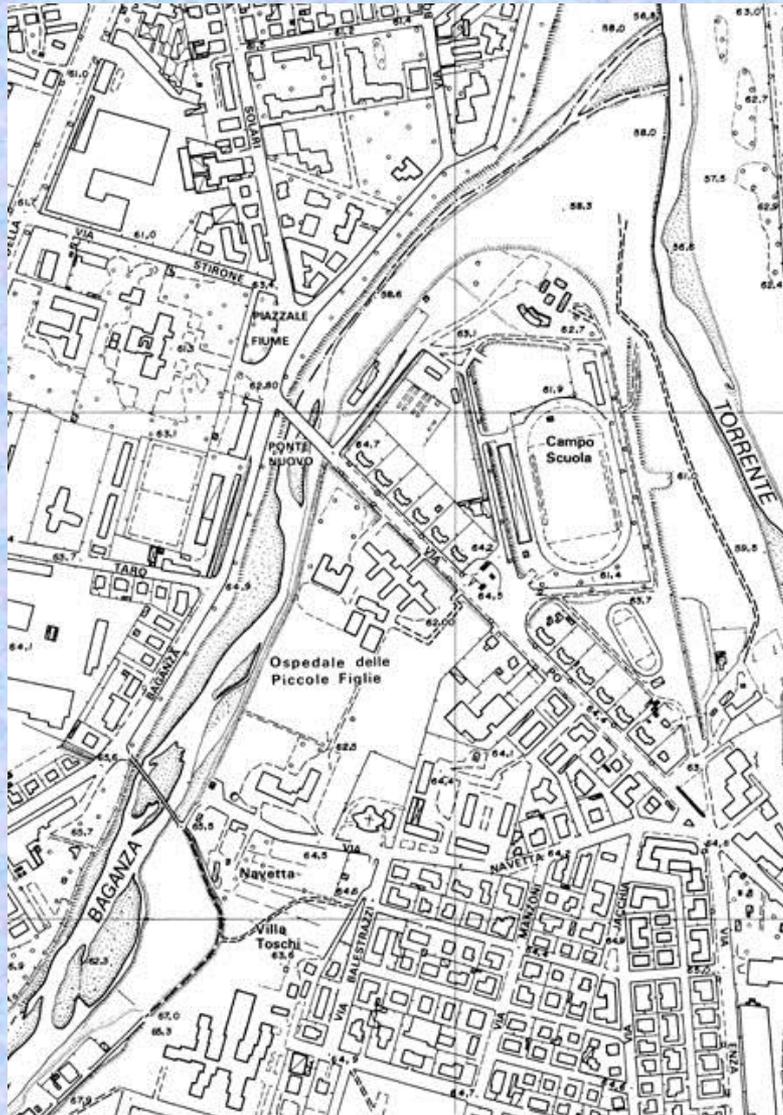
Scala 1/500.000

ESEMPIO DI CARTA IN SCALA 1/50.000



Abruzzo, Ovindoli e dintorni, Scala 1/50.000

ESEMPIO DI CARTA IN SCALA 1/5.000



Parma, particolare in Scala 1/5.000

PRECISIONE DELLE CARTOGRAFIE

Le informazioni di tipo quantitativo desumibili dalla carta sono funzione della scala alla quale la carta è stata realizzata

In linea di massima, la precisione può essere assunta pari a 1-2 volte l'errore di **graficismo** (corrispondente allo spessore del tratto grafico con cui la carta medesima viene disegnata convenzionalmente assunto pari a 0,2 mm. alla scala della carta).

L'errore di **graficismo** assumerà i seguenti valori

| Scala della carta | Errore di graficismo |
|-------------------|----------------------|
| 1:25.000 | 5 metri |
| 1:10.000 | 2 metri |
| 1:5.000 | 1 metro |
| 1:2.000 | 0,40 metri |

ALTRE CLASSIFICAZIONI DELLE CARTOGRAFIE

carte regolari la rappresentazione planimetrica del terreno è sempre ottenuta nel rispetto dei vincoli di precisione (tolleranze) dipendenti dalla scala delle carte stesse.

carte speditive, utilizzate normalmente per zone sprovviste di regolare cartografia sono ottenute con procedimenti che non ne garantiscono la fedeltà metrica entro i limiti delle soprammenzionate "tolleranze"

carte rilevate quelle realizzate con rilevamenti espressamente eseguiti sul terreno.

carte derivate quelle ottenute per riduzione fotostatica di cartografia a scala maggiore, già esistente.

Segni convenzionali

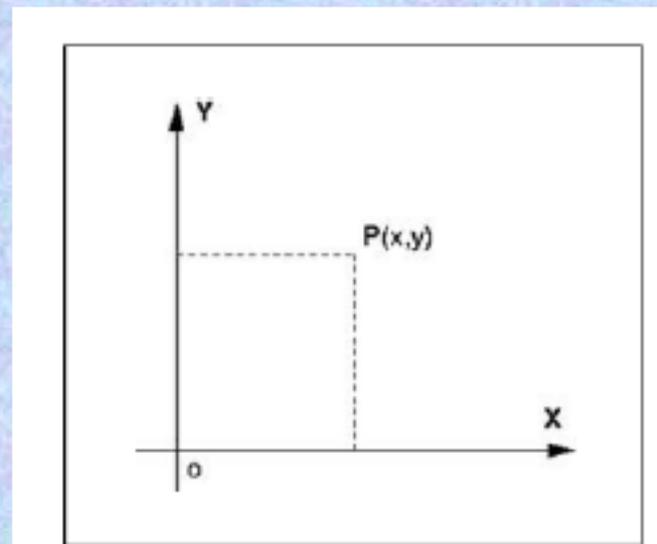
Nella cartografia a piccola scala (ad esempio: 1:25.000) per ragioni di graficismo si è costretti ad adottare segni convenzionali e a modificare dimensioni e posizione degli elementi. Di conseguenza gli oggetti possono apparire di dimensione e forma diverse e non nell'esatta posizione.

Nelle Carte Tecniche tutti gli elementi sono rappresentati in vera proiezione, senza subire operazioni di “rimodellamento” o di “spostamento”. Si tratta quindi di una cartografia a media e grande scala (1:5.000, 1:10.000), adeguata per attività di progettazione.

Le coordinate sulla carta

Una carta riporta le coordinate ereditate dalla sfera o dall'ellissoide: latitudine e longitudine.

Essendo una rappresentazione piana, si definisce su tale piano un sistema di assi ortogonali (x,y) , per cui le coordinate di un punto, e di conseguenza le coordinate dell'oggetto corrispondente sul terreno, sono la distanza del punto dall'asse delle y (coordinata x) e la distanza del punto dall'asse delle x (coordinata y).



Sistema di riferimento - Datum

È necessario un **DATUM**, che definisce tutti i parametri necessari per il calcolo delle coordinate geografiche, ovvero:

- Dimensioni del semiasse maggiore
- Dimensioni del semiasse minore
- Schiacciamento polare
- +
- **Orientamento rispetto al geoide (locale, medio, globale)**
- +

- **Azimut 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

Datum utilizzati in Italia

Esistono più datum utilizzati in Italia.

Tra i più importanti annoveriamo:

Roma40

Ed50

WGS84.



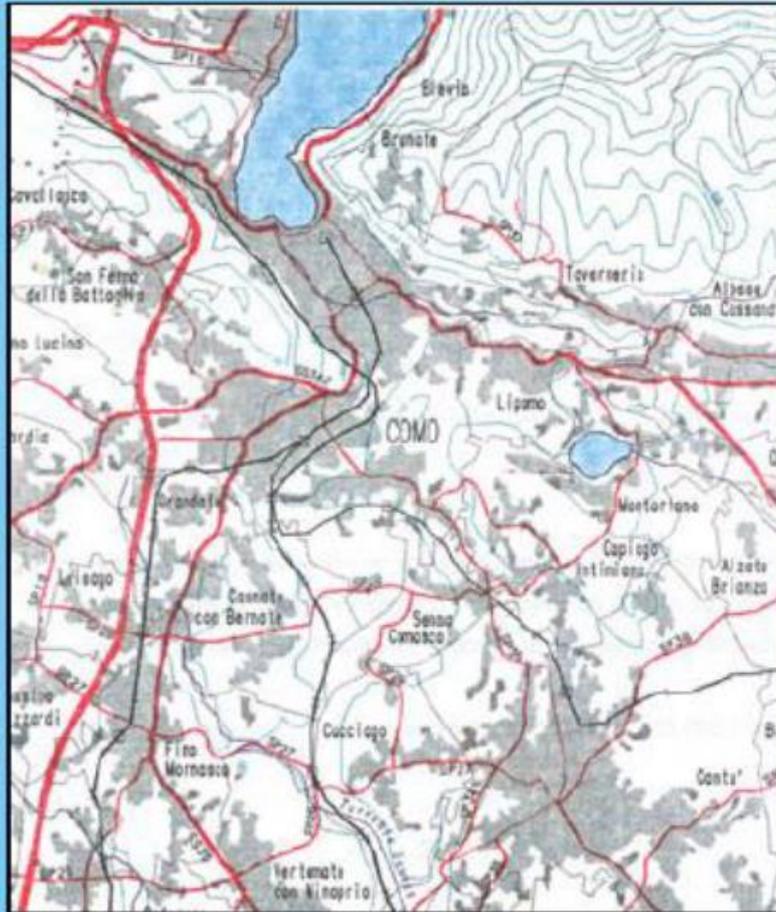
Di essi parleremo successivamente nel corso.

Cosa trovo in una carta?

Le informazioni generalmente contenute in una carta riguardano:

- La **planimetria**, cioè la proiezione nel piano del disegno di particolari naturali ed artificiali del terreno.
- L'**altimetria**, fornita attraverso punti quotati e curve di livello (non è sempre presente, ad esempio carte catastali).
- La **parametratura**
- La **cornice**
- La **legenda**

Legenda della carta

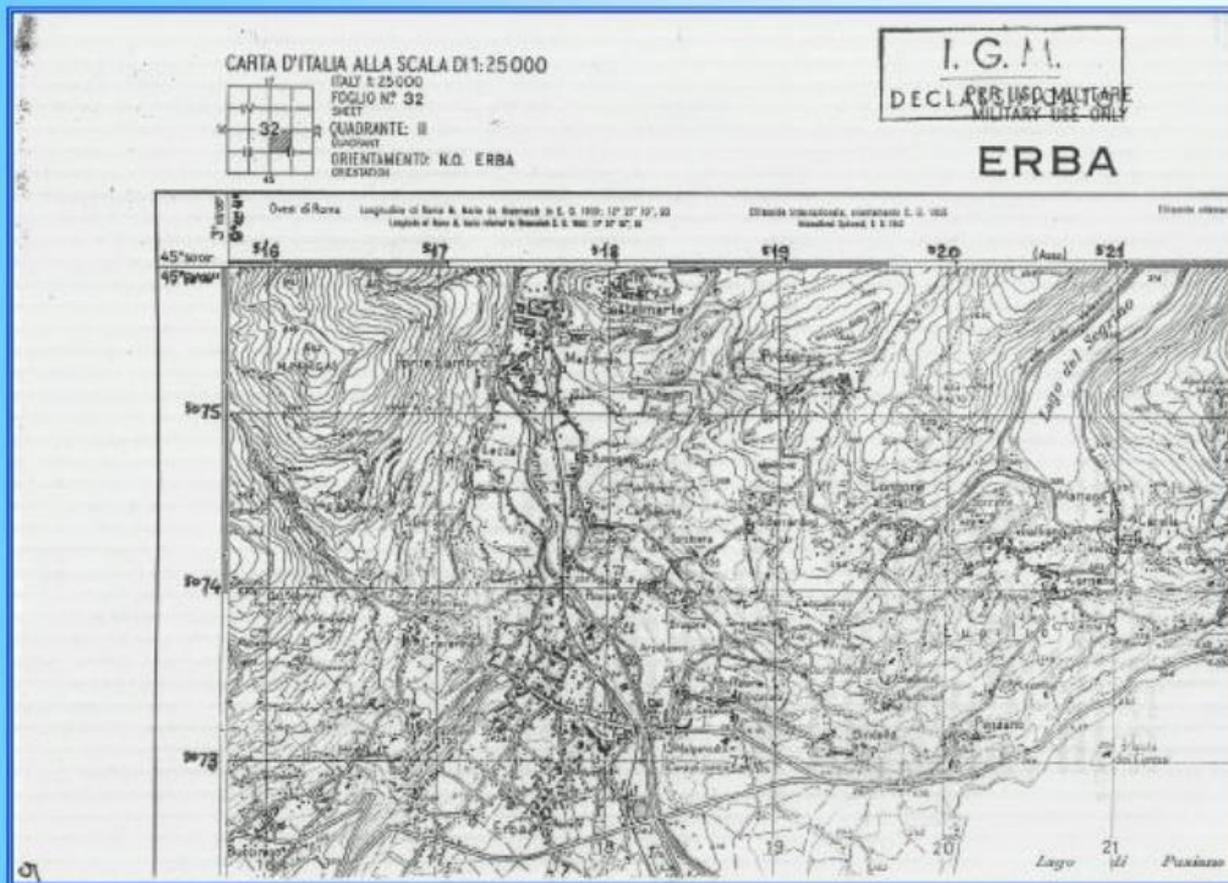


CTR regione Lombardia

| | |
|-------|-------------------------------|
| ----- | Limite di Stato |
| ----- | Limite di Regione |
| ----- | Limite di Provincia |
| SS | Autostrada |
| SS | Strada Statale |
| SP | Strada Provinciale e comunale |
| — | Ferrovia ad 1 binario |
| — | Ferrovia a 2 o piu' binari |
| ~~~~~ | Fiumi di 1 livello |
| ■ | Urbanizzato |
| → | Aeroporto |
| ~~~~~ | Curve di livello |
| LS | Laghi |

Parametratura: permette di leggere le coordinate riportate nella carta, quelle geografiche e/o quelle piane

Parametri e cornice della carta



Rappresentazione equirettangolare

Caratteristiche:

-Si tratta della proiezione più vecchia e semplice. In pratica un grado di parallelo o di meridiano viene rappresentato con un segmento di eguale lunghezza

I paralleli e i meridiani sono spazati regolarmente per cui il reticolato geografico è un reticolato quadrato.

Storia:

Inventata intorno al 100 D.C. da Marino di Tiro, fu molto utilizzata nel rinascimento. Il suo declino cominciò all'inizio del 18° secolo.

È molto utilizzata come mappa di visualizzazione di default di dati cartografici in coordinate geografiche nei software GIS.

Rappresentazione equirettangolare

Equazioni di corrispondenza della carta.

$$X = c\lambda$$

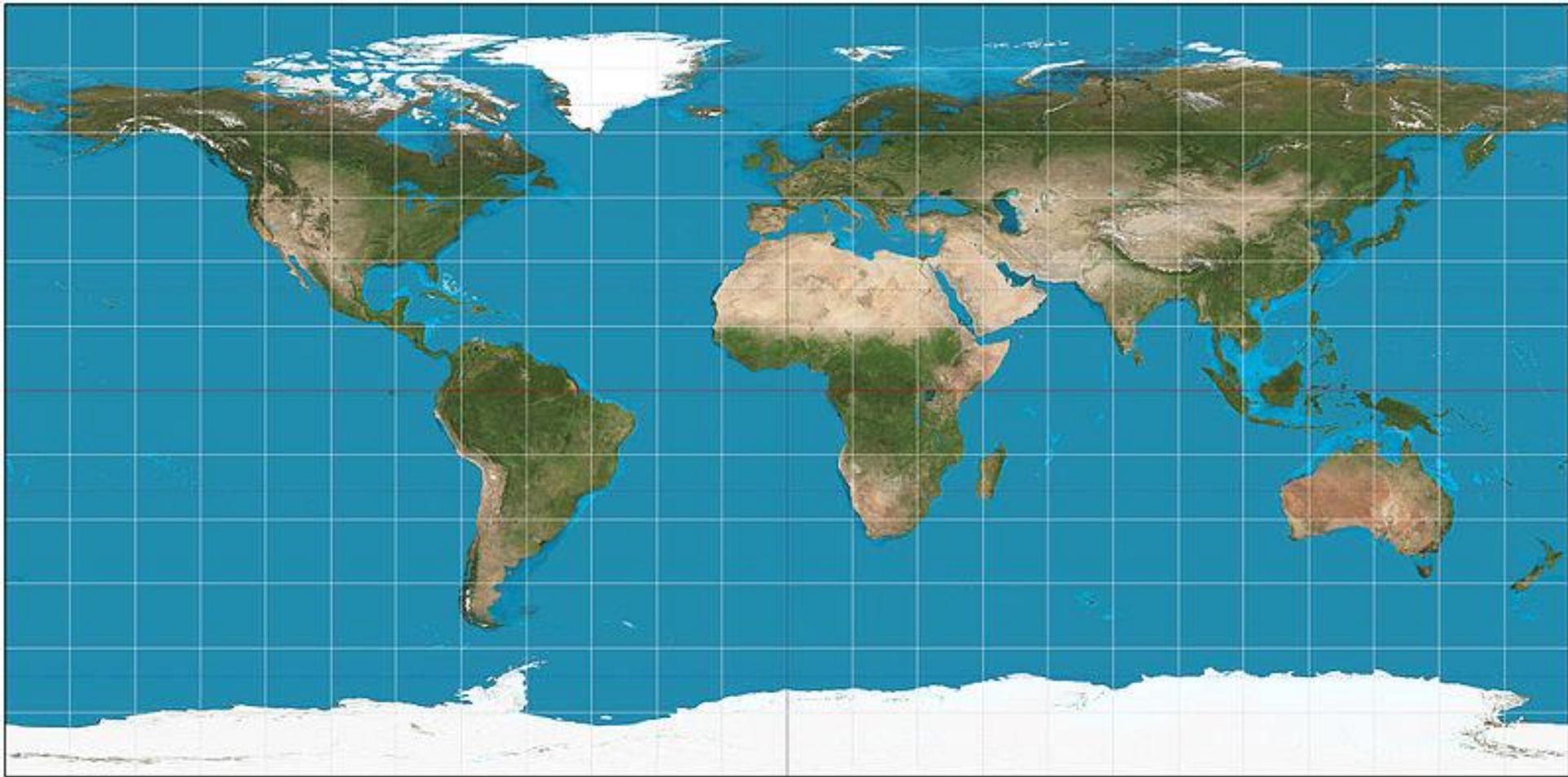
$$Y = c\varphi$$

Dove c è una costante che permette di stabilire la corrispondenza tra l'elemento lineare e la misura angolare (della latitudine e della longitudine).

Ad esempio, $c = 1 \text{ mm}/1^\circ$ permette di rappresentare, sulla carta, ogni grado di latitudine o di longitudine come un segmento pari ad 1 mm. In tal caso la carta è «alta» 18 cm e lunga 36 cm.

Qualunque valore si scelga per c , si avrà sempre che tutto il planisfero è un rettangolo dove la lunghezza della base è il doppio dell'altezza.

Rappresentazione equirettangolare



Il globo diventa un rettangolo dove l'altezza (corrispondente alla linearizzazione di 180°) diventa la metà della larghezza (corrispondente alla linearizzazione di 360°)

Rappresentazione equirettangolare

Pro:

-è una rappresentazione facile da costruire.

Contro:

Introduce forti deformazioni; basti pensare che i poli (che sono dei punti sul modello 3d) vengono rappresentati come segmenti di lunghezza uguale all'equatore.

Molti software GIS, nel visualizzare una carta in coordinate geografiche (latitudine e longitudine), se non viene specificata il tipo di proiezione, visualizzano per default il file nella rappresentazione equirettangolare