

# TOPOGRAFIA

**CORSI DI LAUREA IN:**

***Scienze e Tecnologie agrarie***  
(Corso di: «Costruzioni rurali e Topografia»)

## **RILIEVO E RAPPRESENTAZIONE DEL TERRITORIO**

1

# Geomatica

La "**Geomatica**" riguarda le varie discipline per lo studio del territorio e dell'ambiente e sottolinea il ruolo determinante che oggi ha l'informatica negli sviluppi delle relative attività. Si tratta dell'approccio sistemico, integrato e multidisciplinare, per selezionare le tecniche e gli strumenti appropriati, volti ad acquisire (in modo metrico e tematico), integrare, trattare, analizzare, archiviare e distribuire dati spaziali georiferiti con continuità, in formato digitale <sup>(1)</sup>.

(1) Wikipedia – voce: *Geomatica*

*"La geomatica è la disciplina che si occupa di acquisire, modellizzare, interpretare, elaborare, archiviare e divulgare informazioni georeferenziate, ovvero informazioni caratterizzate da una posizione in un prescelto sistema di riferimento"*

Il termine **Geomatica** è nato nell'Università di Laval in Canada nei primi anni ottanta del secolo scorso, a seguito della precisa cognizione che le crescenti potenzialità offerte dal calcolo elettronico stavano rivoluzionando le scienze del rilevamento e della rappresentazione del territorio e che l'uso del disegno computerizzato e della video-grafica era compatibile con il trattamento di considerevoli quantità di dati, fino a quel momento impensabile.

La **Geomatica** comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva <sup>(2)</sup>.

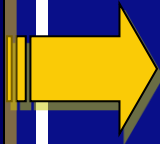
<sup>(2)</sup> Cfr: Bibliografia.:

M.A. Gomarasca, "*Basics of Geomatics*", DOI 10.1007/978-1-4020-9014-1\_1, Springer Science+Business Media B.V. , 2009

La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva

- **Informatica**
- **Geodesia**
- **Topografia**
- **Fotogrammetria**
- **Telerilevamento**
- **Sistemi di posizionamento satellitari**
- **Sistemi di scansione laser**
- **SIT e GIS**
- **Web GIS**
- **Mobile GIS**
- **Sistemi di Supporto alle Decisioni**
- **Sistemi esperti**

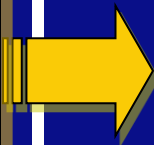
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## Informatica

Scienza della rappresentazione e dell'elaborazione dell'informazione applicabile attraverso lo sviluppo di strumenti tecnologici (l'hardware), e di metodi, modelli e sistemi (il software).

La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva

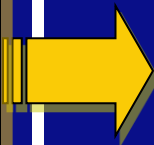


## Geodesia

Scienza per la determinazione della forma e delle dimensioni della Terra, cioè che definisce la superficie di riferimento nella sua forma completa (il geoide) e nella sua forma semplificata (l'ellissoide), nonché del suo campo gravitazionale esterno in funzione del tempo.



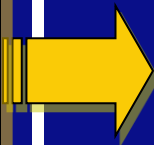
La Geomatica  
comprende una  
serie di discipline  
e tecniche, che  
ne determinano  
la base  
costitutiva



## Topografia

Nata con la Geodesia e in essa inserita, è l'insieme delle procedure per il rilievo diretto del territorio. Ad essa sono affidati gli studi dei metodi e degli strumenti atti a misurare e rappresentare dettagliatamente i particolari di zone della superficie terrestre.

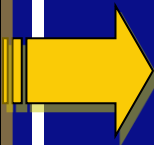
La Geomatica  
comprende una  
serie di discipline  
e tecniche, che  
ne determinano  
la base  
costitutiva



## Fotogrammetria

Scienza per determinare la  
posizione e le forme degli oggetti  
a partire da misure eseguite su  
immagini fotografiche degli  
oggetti stessi.

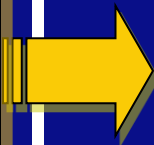
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## Telerilevamento

Acquisizione a distanza di dati riguardanti il territorio e l'ambiente nonché l'insieme dei metodi e delle tecniche per la successiva elaborazione e interpretazione (questa definizione ben si presta anche per la Fotogrammetria digitale).

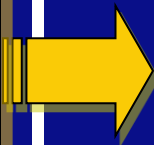
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## Sistemi di posizionamento satellitari

Consentono il posizionamento tridimensionale di oggetti anche in movimento nello spazio e nel tempo, su tutto il globo terrestre, con qualsiasi condizione meteorologica e in modo continuo.

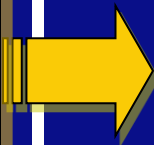
La Geomatica  
comprende una  
serie di discipline  
e tecniche, che  
ne determinano  
la base  
costitutiva



## Sistemi di scansione laser

Per l'individuazione di oggetti e la misura della loro distanza mediante l'uso della radiazione luminosa in un intervallo dello spettro elettromagnetico caratteristico delle frequenze ottiche ( $0,3 \leq \lambda \leq 1,5 \mu\text{m}$ ).

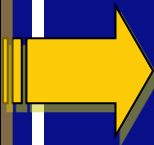
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## **Sistemi Informativi Territoriali (SIT) e Sistemi Informativi Geografici (GIS - *Geographical Information System*)**

Potente insieme di strumenti in grado di accogliere, memorizzare, richiamare, trasformare, rappresentare ed elaborare dati spazialmente riferiti.

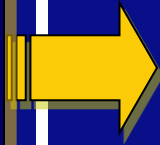
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## Web GIS

Per la divulgazione di dati geografici immagazzinati su macchine dedicate alla memorizzazione delle basi di dati, secondo architetture di rete anche molto complesse.

La Geomatica  
comprende una  
serie di discipline  
e tecniche, che  
ne determinano  
la base  
costitutiva



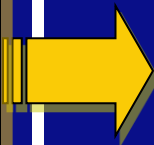
## Mobile GIS

Utilizzo di applicazioni GIS  
complete su piattaforme mobili  
come smart phone e palmari.

I GIS dal «desktop» al «campo».



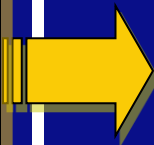
La Geomatica  
comprende una  
serie di discipline  
e tecniche, che  
ne determinano  
la base  
costitutiva



## **Sistemi di Supporto alle Decisioni (DSS – *Decision Support Systems*)**

Costituiti da sistemi informativi molto sofisticati, in grado di creare scenari possibili attraverso la modellizzazione della realtà e di offrire una scelta di soluzioni al decisore.

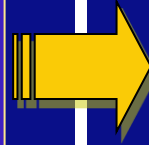
La Geomatica comprende una serie di discipline e tecniche, che ne determinano la base costitutiva



## Sistemi Esperti

Strumenti in grado di imitare i processi cognitivi compiuti dagli esperti e la loro abilità a gestire la complessità del reale, mediante processi interdipendenti di astrazione, generalizzazione e approssimazione.

- **Informatica**
- **Geodesia**
- **Topografia**
- **Fotogrammetria**
- **Telerilevamento**
- **Sistemi di posizionamento satellitari**
- **Sistemi di scansione laser**
- **SIT e GIS**
- **Web GIS**
- **Mobile GIS**
- **Sistemi esperti**
- **Sistemi di Supporto alle Decisioni**



Per affinità di basi scientifiche e di risultati da perseguire, le discipline e le tecniche elencate e descritte sono intimamente interconnesse: una classificazione rigida, che le presuma distinte e autonome, non consente di coglierne i molti aspetti comuni nei quali, invece, va ricercata la soluzione del problema complessivo del rilevamento.

# Geodesia e Topografia

## Definizioni

### Geodesia

Scienza per la determinazione della forma e delle dimensioni della Terra; cioè, che definisce la superficie di riferimento nella sua forma completa (il geoide) e in quella semplificata (l'ellissoide) nonché del suo campo gravitazionale esterno in funzione del tempo.

### Topografia

Insieme delle procedure per il rilievo diretto del territorio. Ad essa sono affidati gli studi dei metodi e degli strumenti atti a misurare e rappresentare dettagliatamente i particolari di zone della superficie terrestre.

## Geodesia (\*)

La Geodesia, nello studiare la forma della Terra, ne propone modelli semplificati, quali il **geoide** e l'**ellissoide**. Si occupa poi di definire, con riferimento all'ellissoide, le dimensioni di quest'ultimo che meglio possono approssimare quelle della Terra e ne studia gli scostamenti rispetto al geoide, la cui forma è conoscibile attraverso misure di tipo gravimetrico.

(\*) Il termine «geodesia» deriva dal greco  $\gamma\eta$  (ghe = terra) e  $\delta\alpha\iota\zeta\omega$  (daizo = dividere)

## Ulteriore definizione di Topografia

la **Topografia** <sup>(1)</sup>, quindi, è la **scienza applicata** che **studia** gli **strumenti** e i **metodi** operativi e **di calcolo**, mediante i quali è possibile **ottenere le posizioni** relative di un insieme **di punti** del terreno (**rilievo**), così da permetterne una **rappresentazione** in una **scala** prestabilita.

### <sup>(1)</sup> Etimologia

Topografia = descrizione di un luogo

da: *τοπος* (topos = luogo) e *γραφειν* (graphein = descrivere)

## LA TOPOGRAFIA PUÒ ESSERE SUDDIVISA NELLE SEGUENTI DUE PARTI CANONICHE:

- **PLANIMETRIA**: Vengono studiati i metodi per la misurazione di distanze e di angoli (\*), mediante i quali viene definita la posizione dei punti del terreno proiettati su una superficie di riferimento, così da rendere possibile la **rappresentazione planimetrica** della zona di terreno presa in esame.
- **ALTIMETRIA**: Vengono misurate sul terreno alcune grandezze fisiche, mediante le quali è possibile calcolare i dislivelli (\*) fra i diversi punti del terreno e quindi le quote (\*) dei punti rispetto alla superficie di riferimento, così da rendere possibile la **rappresentazione altimetrica** della zona di terreno presa in esame.

---

(\*) I concetti di angolo, distanza, quote e dislivelli saranno introdotti ed esplicitati nel seguito della presente trattazione



## SCOPO FINALE DEL RILIEVO TOPOGRAFICO

**Scopo finale** del rilievo topografico è quello di **rappresentare** (normalmente **su un piano**) una serie di punti caratteristici del terreno determinandone la posizione plano-altimetrica, partendo da punti di posizione già nota, in modo da potere effettuare verifiche e controlli opportuni

## FORMA E DIMENSIONI DELLA TERRA



La forma della Terra, assimilabile ad una sfera con uno schiacciamento ai poli, deriva da molteplici forze di attrazione gravitazionale - legate ai movimenti di rotazione, traslazione e rivoluzione - che agiscono sulle sue masse, solide e fluide.

In realtà, la superficie fisica terrestre è molto irregolare per la presenza dei corrugamenti, delle depressioni, dei mari e delle opere dell'uomo.

# TOPOGRAFIA

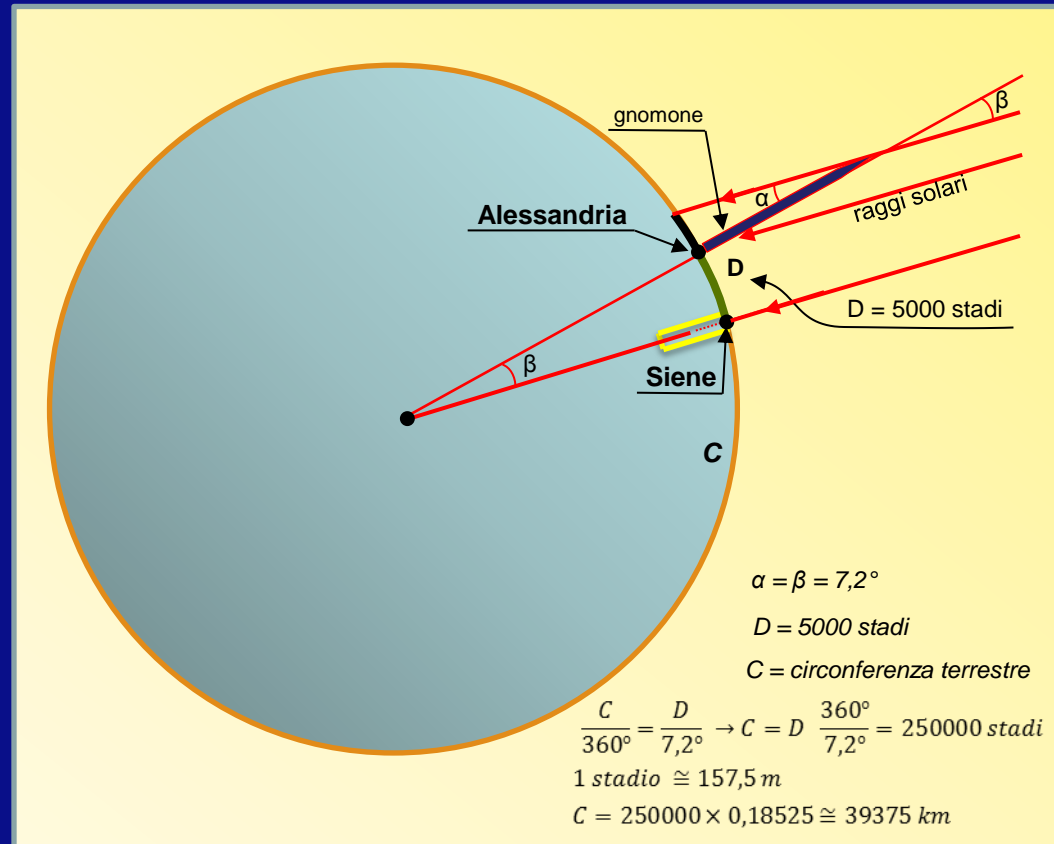


La dimostrazione della forma pressoché sferica della Terra risale al XVI secolo, nel corso del quale avvennero i grandi viaggi di circumnavigazione del globo.

Invero, sin dall'antichità alcuni scienziati avevano sostenuto la "sfericità" della Terra. Nel III sec. a.C. il matematico, geografo e poeta **Eratostene di Cirene** (276-194 a.C.), attraverso misure astronomiche, riuscì a calcolare, con notevole precisione per quell'era, la distanza tra le città di Alessandria d'Egitto e Siene (l'attuale Assuan) ed altresì il raggio della Terra, ottenendo una misura che differisce solo del 5% dal valore attualmente conosciuto.

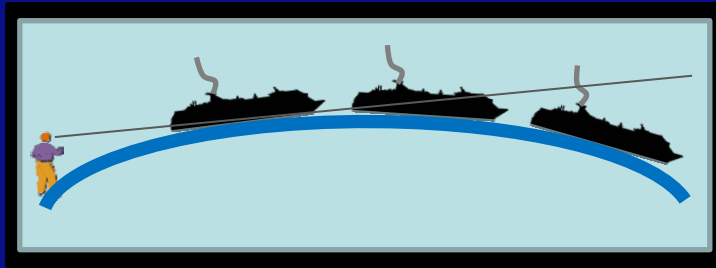
## Eratostene e la misura della circonferenza terrestre

Eratostene sapeva che a mezzogiorno del solstizio d'estate il sole è perfettamente sulla verticale della città di Siene (l'odierna Assuan). Egli ricavò questa convinzione dal fatto che in quel momento i raggi del sole cadevano perpendicolarmente sul pozzo di quella città illuminandone il fondo senza gettare ombre. Eratostene misurò invece l'ombra che alla stessa ora dello stesso giorno proiettava un gnomone (un'asta in posizione verticale), forse un obelisco, posto ad Alessandria, situata a Nord di Siene e distante da questa circa 5000 stadi (787 km). Verificò quindi che i raggi del sole discostavano dalla verticale di un angolo di  $7,2^\circ$ , pari ad un cinquantesimo dell'angolo giro.



# TOPOGRAFIA

A sostegno della tesi sulla sfericità della Terra, prima dell'osservazione del pianeta dallo spazio furono addotte come prove:



- la scomparsa/comparsa progressiva delle imbarcazioni sull'orizzonte

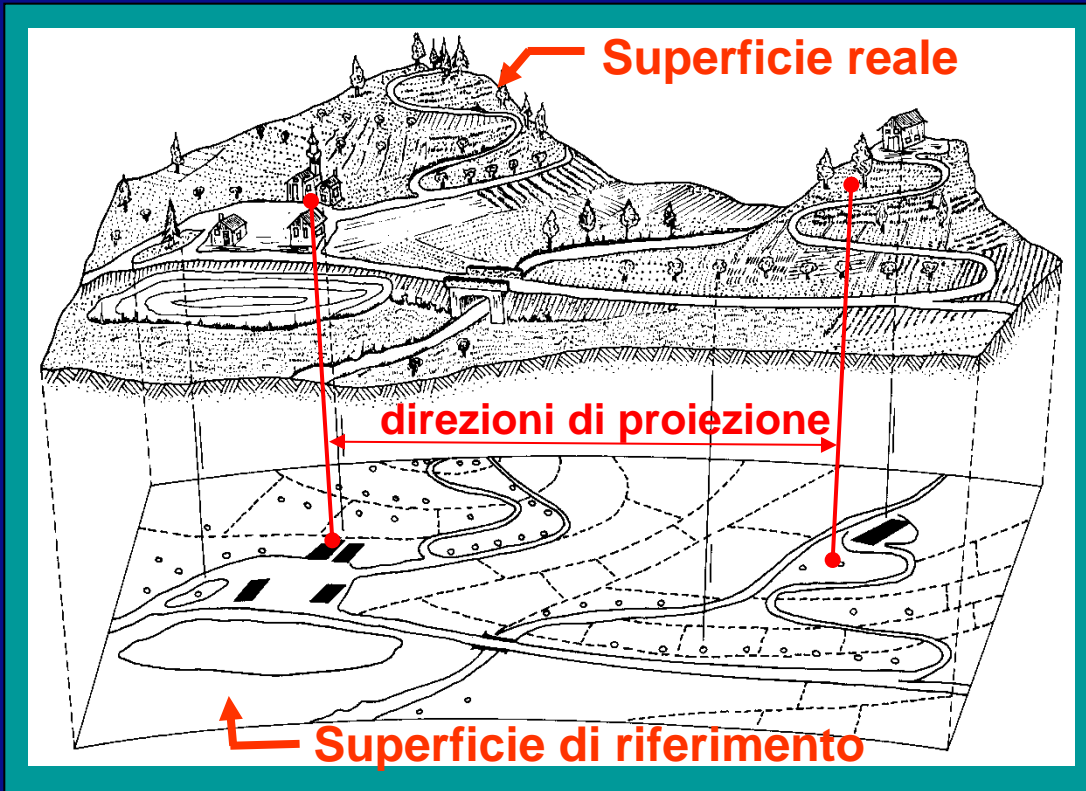


- l'ombra circolare proiettata dalla Terra durante le eclissi di Luna



Dato che la Terra, per effetto della sua forma e, in particolare, della forma della sua superficie esterna particolarmente complessa, non può essere immediatamente rappresentata, è necessario individuare **superfici matematiche di riferimento** che fungano da modelli semplificati di rappresentazione, sostitutivi del modello reale.

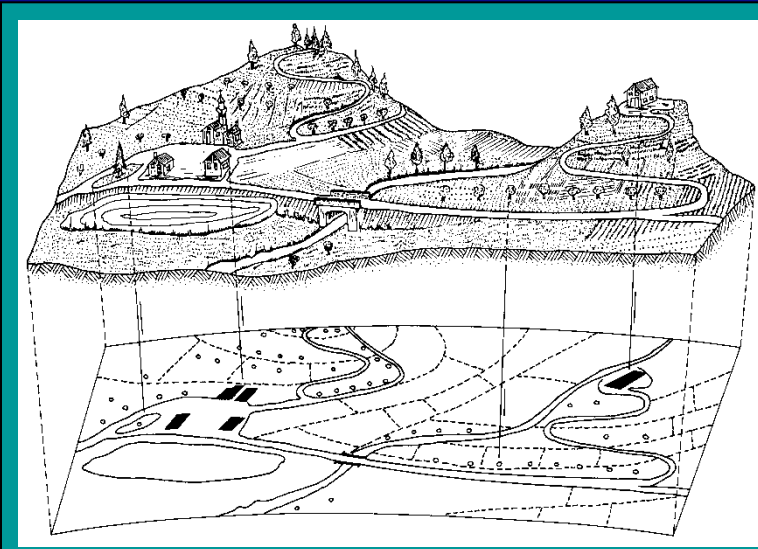
## SUPERFICIE DI RIFERIMENTO



- La superficie della Terra e tutti gli oggetti su di essa presenti devono essere quindi rappresentati su un'opportuna **superficie di riferimento**.
- È necessario però stabilire una **corrispondenza biunivoca** fra i punti della superficie fisica ed i punti della superficie di riferimento.
- Per stabilire tale corrispondenza, **ciascun punto** della superficie fisica **viene** idealmente **proiettato** sulla superficie di riferimento **lungo una direzione assegnata**.



## CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE DI RIFERIMENTO



### La superficie di riferimento deve consentire:

- una buona approssimazione della superficie terrestre;
- una corrispondenza biunivoca tra i punti della superficie fisica reale e quelli della superficie di riferimento;
- una rappresentazione matematica “semplice” della superficie terrestre, di tipo geometrico.



# TOPOGRAFIA

## DALLA FORMA REALE DELLA TERRA ALLA SUA RAPPRESENTAZIONE MEDIANTE SUPERFICI DI RIFERIMENTO



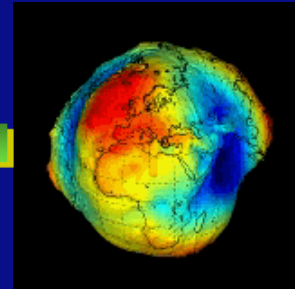
**FORMA DELLA TERRA**

La superficie terrestre è di forma irregolare e complessa da definire matematicamente

È necessario individuare superfici di riferimento che fungano da modelli semplificati di rappresentazione

**SUPERFICI DI RIFERIMENTO**

**Geoide**



**Ellissoide**



**RAPPRESENTAZIONE DELLA  
SUPERFICIE TERRESTRE**

# TOPOGRAFIA

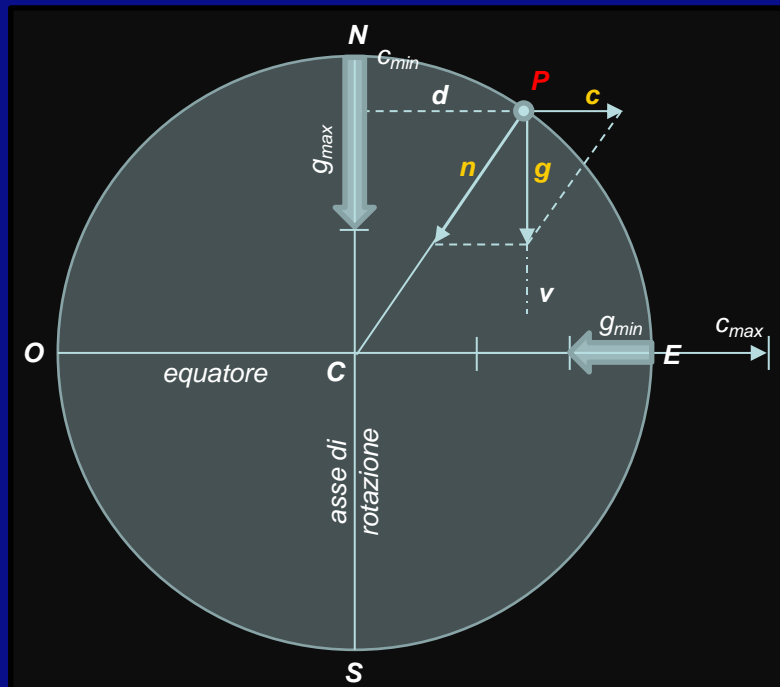
## Direzione di proiezione dei punti



## LA VERTICALE IN UN PUNTO

Una massa elementare posta su un punto “P” della superficie terrestre è sottoposta prevalentemente a due forze principali,  $n$  e  $c$ , la cui risultante è costituita dalla forza “g” gravitazionale, essendo:

- 1)  $n$ : forza di attrazione terrestre newtoniana
- 2)  $c$ : forza centrifuga

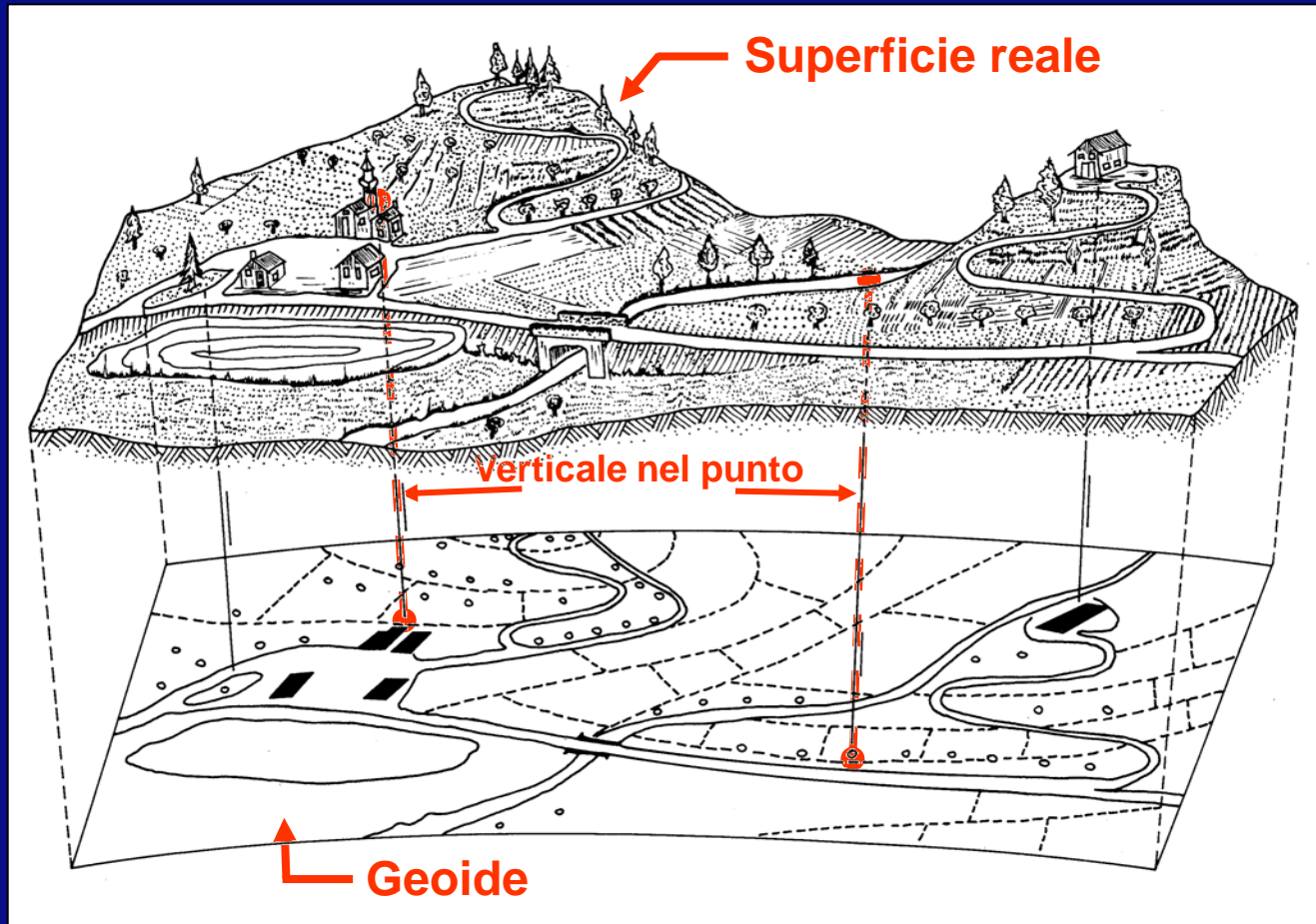
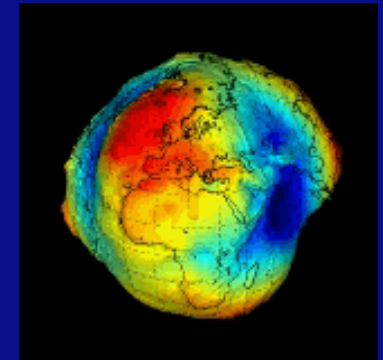


Alla direzione  $v$  della gravità  $g$  in un punto viene dato il nome di “verticale nel punto” e viene individuata dalla direzione del filo a piombo in quel punto

# TOPOGRAFIA

SUPERFICI DI RIFERIMENTO

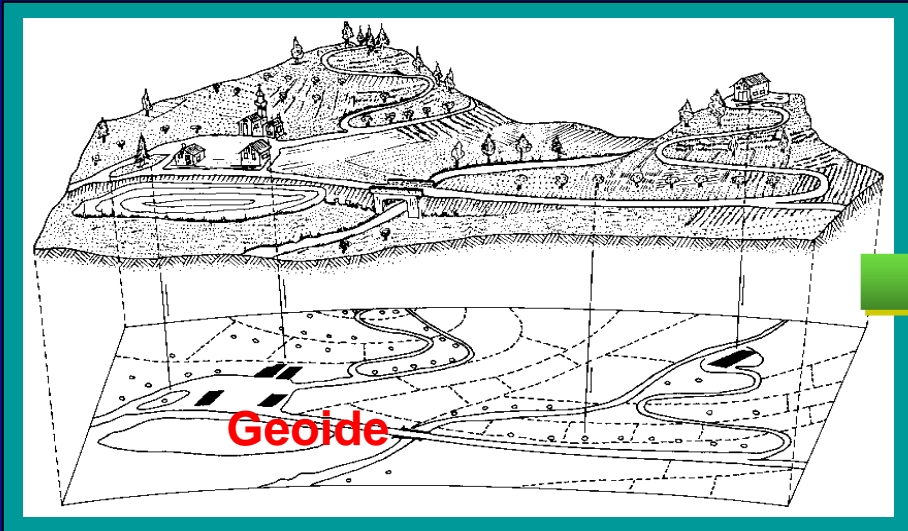
IL GEOIDE



Il **geoide** è quella superficie equipotenziale <sup>(1)</sup> o di livello che fornisce la **rappresentazione fisico-matematica della terra**, assunta come base per gli studi geodetici, e presenta la proprietà che **in ogni suo punto risulta perpendicolare alla direzione della verticale**

(1) Superficie ad eguale valore di potenziale gravitazionale (energia potenziale) in ogni suo punto

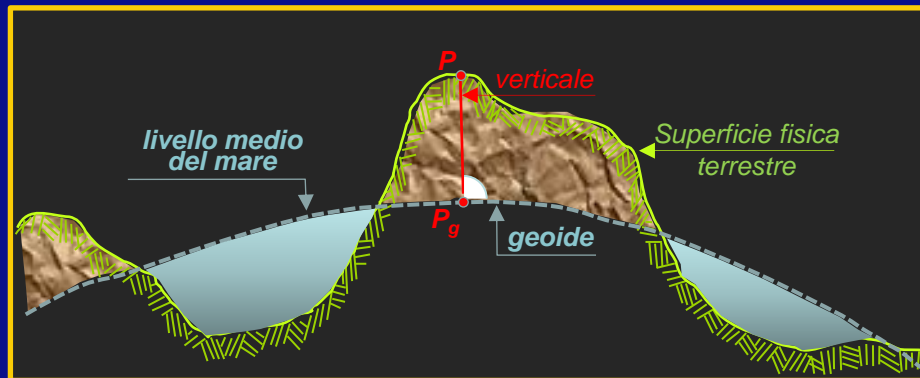
## CARATTERISTICHE DEL GEOIDE



### Il Geoide:

- costituisce la migliore approssimazione della superficie terrestre;
- la sua rappresentazione matematica è tuttavia estremamente complessa;
- è fisicamente individuabile. (\*)

### Definizione alternativa del Geoide



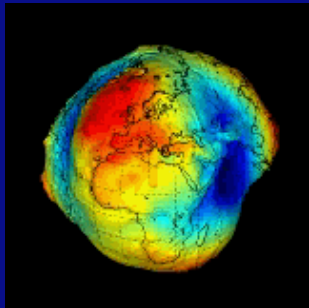
(\*) Il Geoide può essere definito come la superficie che si otterrebbe prolungando al di sotto delle terre emerse la superficie del mare in quiete, passante per un livello medio prestabilito di quest'ultimo (livello 0) in un ben preciso punto.

## DAL GEOIDE ALLO SFEROIDE, ALL'ELLISSOIDE DI ROTAZIONE

- Il geoide è una superficie molto irregolare e complessa.
- I geodeti hanno indirizzato i loro studi alla ricerca di una superficie liscia più semplice che si avvicini al geoide.
- Si è giunti, mediante complessi calcoli, a definire matematicamente una superficie di rotazione attorno all'asse polare detta "sferoide".
- La superficie dello sferoide differisce di pochissimo dalla superficie di un "ellissoide di rotazione", ottenuto dalla rotazione di un'ellisse attorno al suo asse minore.

# TOPOGRAFIA

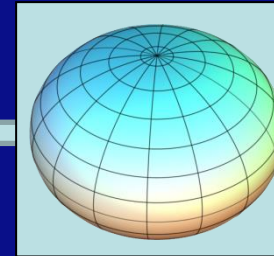
## SUPERFICI DI RIFERIMENTO



**DAL GEOIDE**



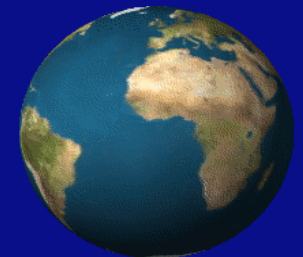
**ALLO SFEROIDE**



Uno sferoide è una superficie di rivoluzione attorno all'asse diurno e ammette per piano di simmetria il piano baricentrico normale a quest'asse. Se si considera un ellissoide di rotazione avente per semiassi gli stessi raggi equatoriali e polari dello sferoide più prossimo al geode si trova che il massimo scostamento radiale delle due superfici, supposte disposte in modo tale che i baricentri e i piani equatoriali coincidano, non raggiunge la lunghezza di 17 metri, quantità molto piccola rispetto alle dimensioni terrestri. Ciò prova la grande somiglianza del geode con un conveniente ellissoide di rotazione e la possibilità di una sostituzione per la risoluzione dei problemi di geodesia.

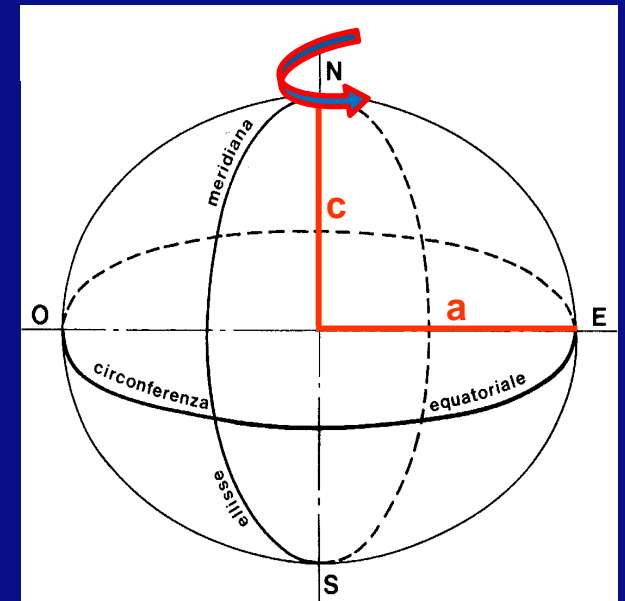
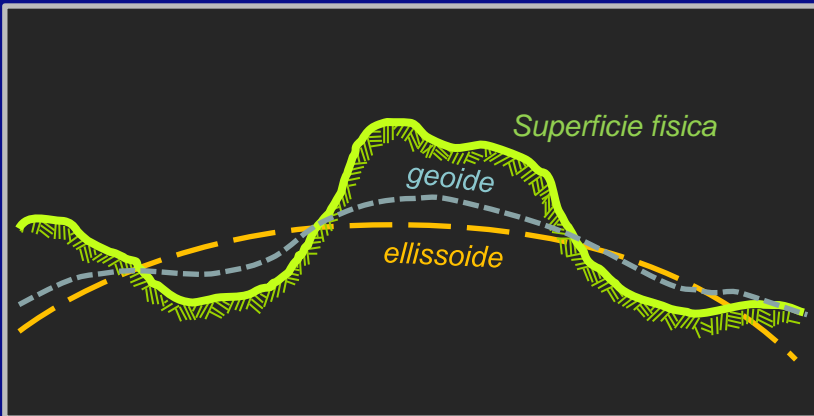
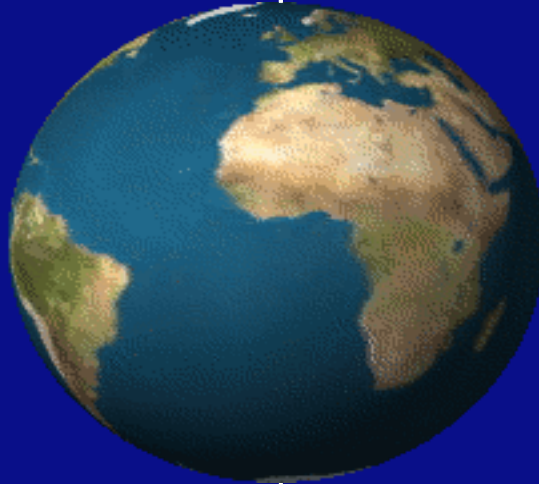


**ALL'ELLISSOIDE**



# TOPOGRAFIA

## ELLISSOIDE DI ROTAZIONE



Equazione dell'ellissoide

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

$a$  = semiasse maggiore o equatoriale

$c$  = semiasse minore o polare

Parametri dell'ellissoide

$$e^2 = 1 - \frac{c^2}{a^2} \quad e = \text{eccentricità}$$

$$f = \frac{a-c}{a} \quad f = \text{schacciamento}$$



# TOPOGRAFIA

## VALORI PROGRESSIVAMENTE ATTRIBUITI NEL TEMPO AI PARAMETRI DELL'ELLISOIDE TERRESTRE

	anno	semiasse maggiore (m)	Semiasse minore (m)	1/f	Area di applicazione
<b>BESSEL</b>	1841	6.377.397,15	6.356.078,96	299,1528128	Europa
<b>CLARKE (1)</b>	1866	6.378.206,40	6.356.583,80	294,9786982	Nord America
<b>CLARKE (2)</b>	1880	6.378.249,15	6.356.514,87	293,465	Francia, Africa
<b>HELMERT</b>	1906	6.378.200,00	6.356.818,17	298,3	
<b>HAYFORD</b>	1909	6.378.388,00	6.356.911,95	297	USA, Italia
<b>INTERNATIONAL 1924 (*)</b>	1924	6.378.388,00	6.356.911,95	297	Europa
<b>KRASSOWSKY</b>	1942	6.378.245,00	6.356.863,02	298,3	Russia
<b>FISCHER</b>	1960	6.378.160,00	6.356.774,72	298,25	

(\*) - L'ellissoide di Hayford fu adottato nel 1924 dall'Unione Geodetica e Geofisica Internazionale con la denominazione di ellissoide internazionale



# TOPOGRAFIA

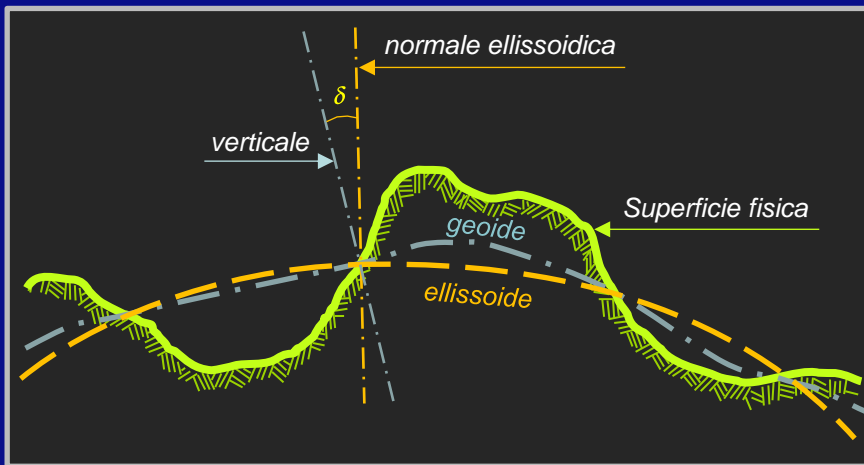
## VALORI ATTRIBUITI RECENTEMENTE AI PARAMETRI DELL'ELLISSOIDE TERRESTRE E SISTEMI DI RIFERIMENTO GLOBALI E LOCALI

	anno	semiasse maggiore (m)	Semiasse minore (m)	1/f	Area di applicazione
<b>WGS84 (World Geodetic System)</b>	1980	6.378.137,00	6.356.752,31	298,257223	Sistema di riferimento globale per Sistemi di navigazione satellitare (GPS, ecc.)
<b>ITRS (International Terrestrial Reference System)</b>	Sistema di riferimento dinamico, basato su una rete mondiale di stazioni permanenti, che controllano i movimenti di deriva dei continenti. Ogni sua realizzazione (frame), viene denominata con la sigla ITRF $_{year}$ (es: ITRF89, ITRF2005) (International Terrestrial Reference Frame), ed è riferita all'anno di realizzazione.				Sistema di riferimento globale
<b>ETRS (European Terrestrial Reference System)</b>	Sistema di riferimento dinamico europeo, riferito all'ITRF89, ma solidale alla piattaforma continentale europea. ETRS89: ultimo frame di riferimento: ETRF2000				Sistema di riferimento europeo

## LA FORMA DELLA TERRA PUÒ ESSERE QUINDI CONSIDERATA SECONDO TRE ASPETTI DIVERSI:

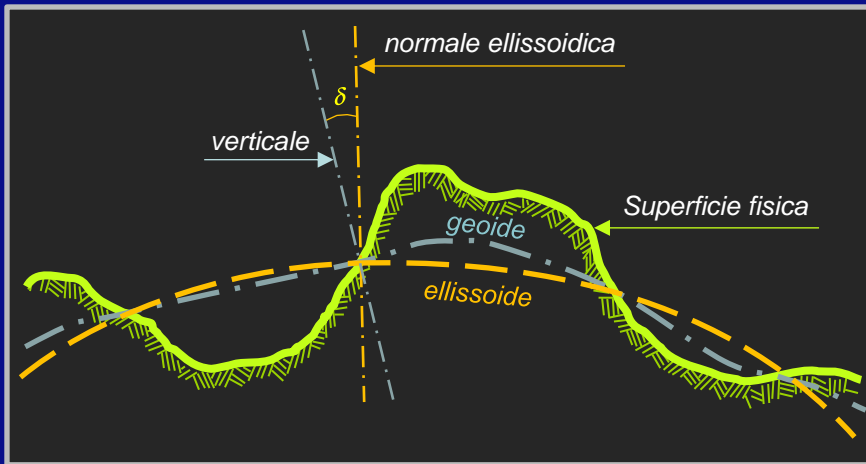
- **SUPERFICIE FISICA**, costituita dalla reale conformazione esteriore della crosta terrestre, con le depressioni, le montagne, le distese dei mari e degli oceani, ecc.
- **SUPERFICIE GEOIDICA**, assimilata al geoide come definito in precedenza attraverso gli studi gravitazionali.
- **SUPERFICIE ELLISSOIDICA**, astrazione matematica, assimilata all'ellissoide di rotazione più prossimo a quello del geoide.

## CON RIFERIMENTO ALLE SUPERFICI CONSIDERATE, PER UNO STESSO PUNTO SI HANNO TRE VERTICALI:



- **VERTICALE FISICA**, rappresentata dalla direzione della gravità e individuata dal filo a piombo
- **VERTICALE O NORMALE GEOIDICA**, determinata con osservazioni astronomiche
- **NORMALE ELLISSOIDICA**, rappresentata dalla retta normale all'ellissoide nel punto considerato

## DEVIAZIONI DELLA VERTICALE (ONDULAZIONI DEL GEOIDE)



La verticale fisica e quella geoidica si possono considerare praticamente coincidenti.

La verticale, tuttavia, non coincide in ogni punto con la normale all'ellissoide. L'angolo  $\delta$  di scostamento in ogni punto fra la verticale (normale al geoida) e la normale ellissoidica costituisce la **deviazione della verticale** nel punto; essa permette di definire le cosiddette "ondulazioni" del geoida, che rappresentano in ogni punto lo **scostamento** tra geoida ed ellissoide. Il **valore numerico dello scostamento varia da punto a punto** ed è pari mediamente a qualche decina di secondi sessagesimali, quindi modesto, ma tuttavia non trascurabile allorché si debbano effettuare misure di precisione molto elevata.

## LOCALIZZAZIONE DEI PUNTI SULLA SUPERFICIE TERRESTRE

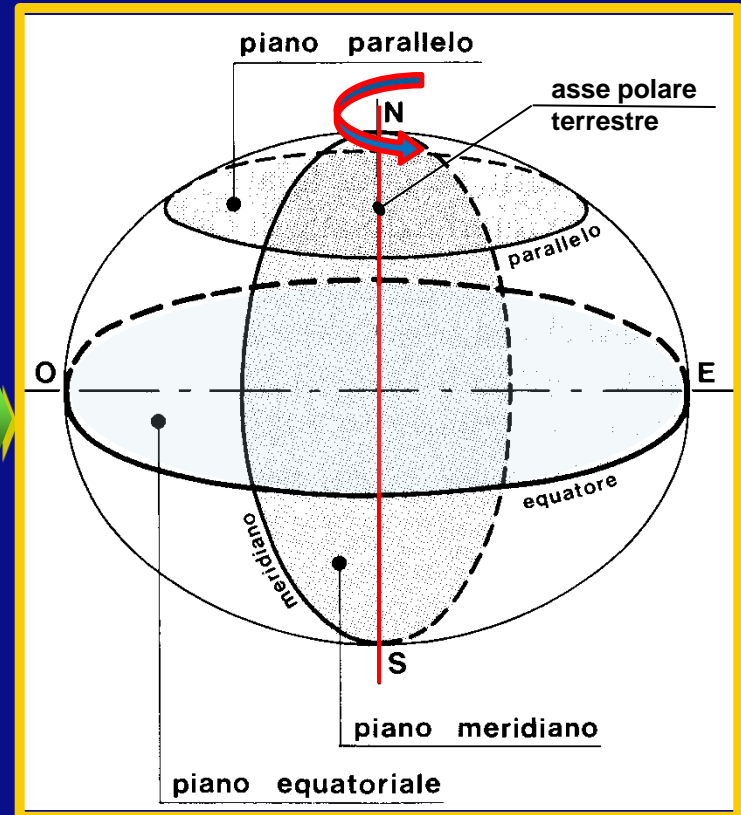
- Per identificare e localizzare in modo esatto un punto sulla superficie terrestre («**georeferenziare**» un punto), o più precisamente, la posizione della sua proiezione sulla superficie di riferimento (geoide o ellissoide di rotazione), occorre prioritariamente definire su queste ultime un sistema di riferimento.
- Quindi, viene stabilita una corrispondenza biunivoca tra i punti della superficie fisica reale e quelli della superficie di riferimento, proiettati lungo la linea di proiezione assegnata (verticale al geoide o normale all'ellissoide).
- La posizione del punto sulla superficie di riferimento è data mediante valori numerici ad esso associati, ovvero, le **coordinate del punto**.

## SISTEMA GEOGRAFICO - MERIDIANI E PARALLELI

La Terra ruota (da Ovest verso Est) attorno al proprio asse minore detto asse polare terrestre N-S, i cui estremi vengono definiti poli (polo Nord o artico e polo Sud o antartico)

I piani perpendicolari all'asse di rotazione terrestre intersecano la Terra secondo piani paralleli e la superficie ellissoidica secondo circonferenze dette paralleli; il piano parallelo che divide la Terra in due parti eguali costituisce il piano equatoriale e interseca la superficie ellissoidica secondo una circonferenza di diametro massimo, detta equatore.

I piani passanti per l'asse polare intersecano la Terra secondo piani meridiani e la superficie ellissoidica secondo linee curve dette meridiani, rappresentati da ellissi, considerando come superficie di riferimento l'ellissoide di rotazione. L'asse terrestre divide simmetricamente un meridiano in due semi-piani. Convenzionalmente, **chiamiamo meridiano per un punto il semi-piano** che passa per tale punto e comprende l'asse polare. Il **meridiano opposto** è detto **antimeridiano**.

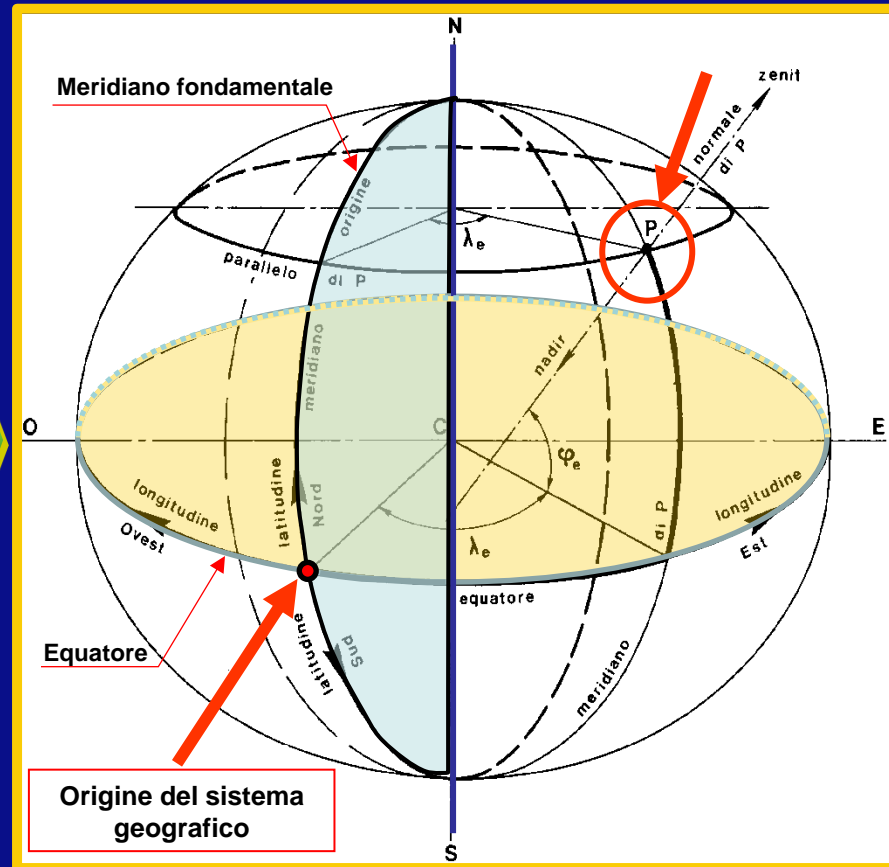


## RETICOLATO GEOGRAFICO

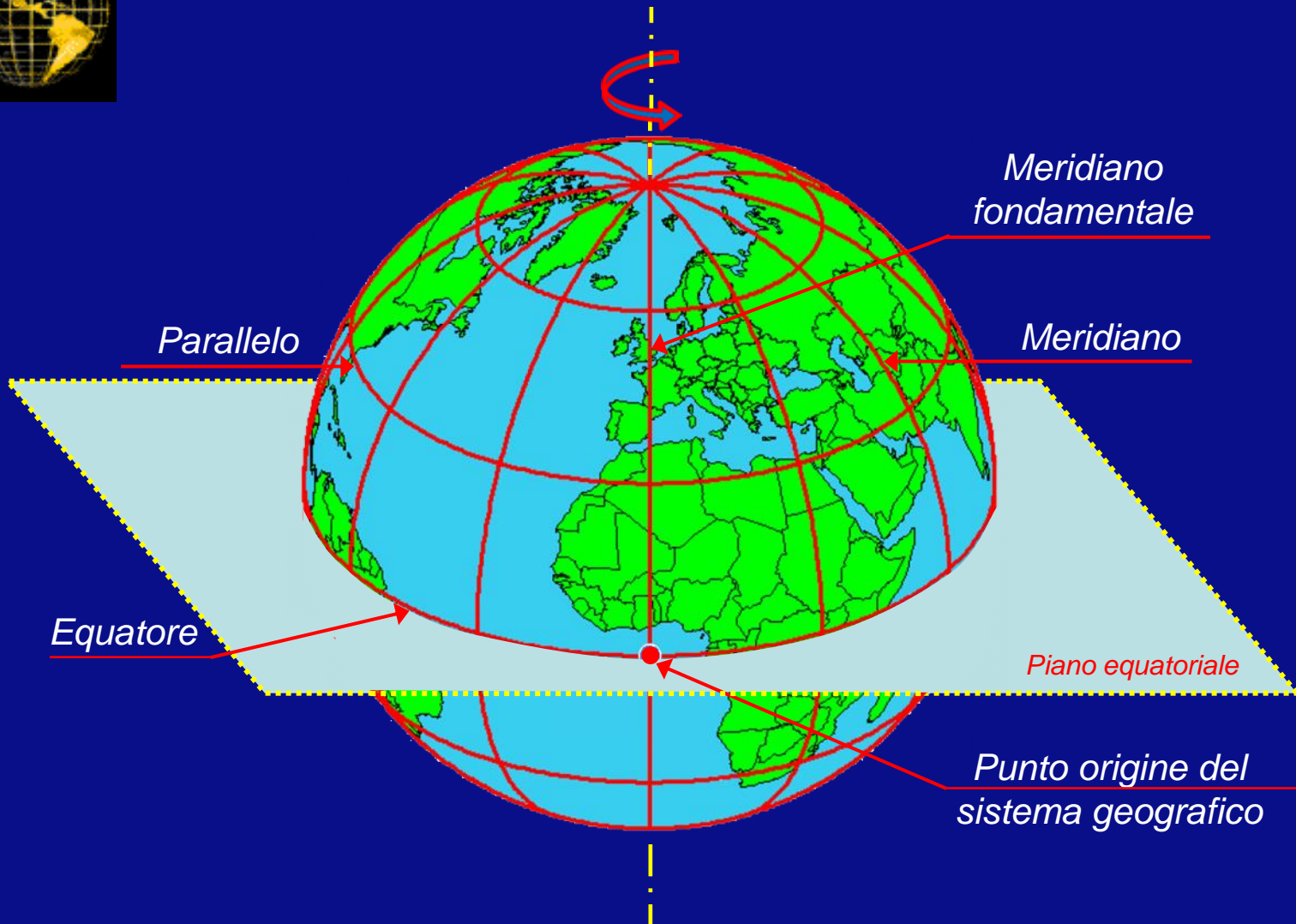
Meridiani e paralleli si intersecano fra loro ad angolo retto e determinano sulla superficie di riferimento un reticolato detto *reticolato geografico*

Un qualunque punto  $P$  della superficie ellissoidica è perfettamente individuato dall'intersezione di un meridiano (ovvero di un semi-piano meridiano) e di un parallelo, le cui posizioni vengono definite rispetto a un sistema di riferimento di assi curvilinei (sistema geografico), costituiti dall'equatore e da un meridiano, detto **meridiano origine o fondamentale**, rappresentato, nel riferimento internazionale, dal meridiano passante per la stazione di **Greenwich**, a Londra.

Il meridiano contenente Greenwich viene suddiviso dall'asse terrestre nei due semi-piani meridiani: il meridiano fondamentale e l'antimeridiano di Greenwich.



## RETICOLATO GEOGRAFICO





## COORDINATE GEOGRAFICHE

Definito dunque il sistema di riferimento geografico, la posizione planimetrica di un punto sulla superficie di riferimento terrestre viene data dalle sue coordinate geografiche.

Dallo scostamento esistente tra geoide ed ellissoide sorge tuttavia la necessità di riferirsi ad un doppio sistema di coordinate geografiche: uno relativo al geoide, che chiameremo di coordinate geografiche astronomiche, e l'altro relativo all'ellissoide, che chiameremo di coordinate geografiche ellissoidiche o geodetiche, come di seguito definite:

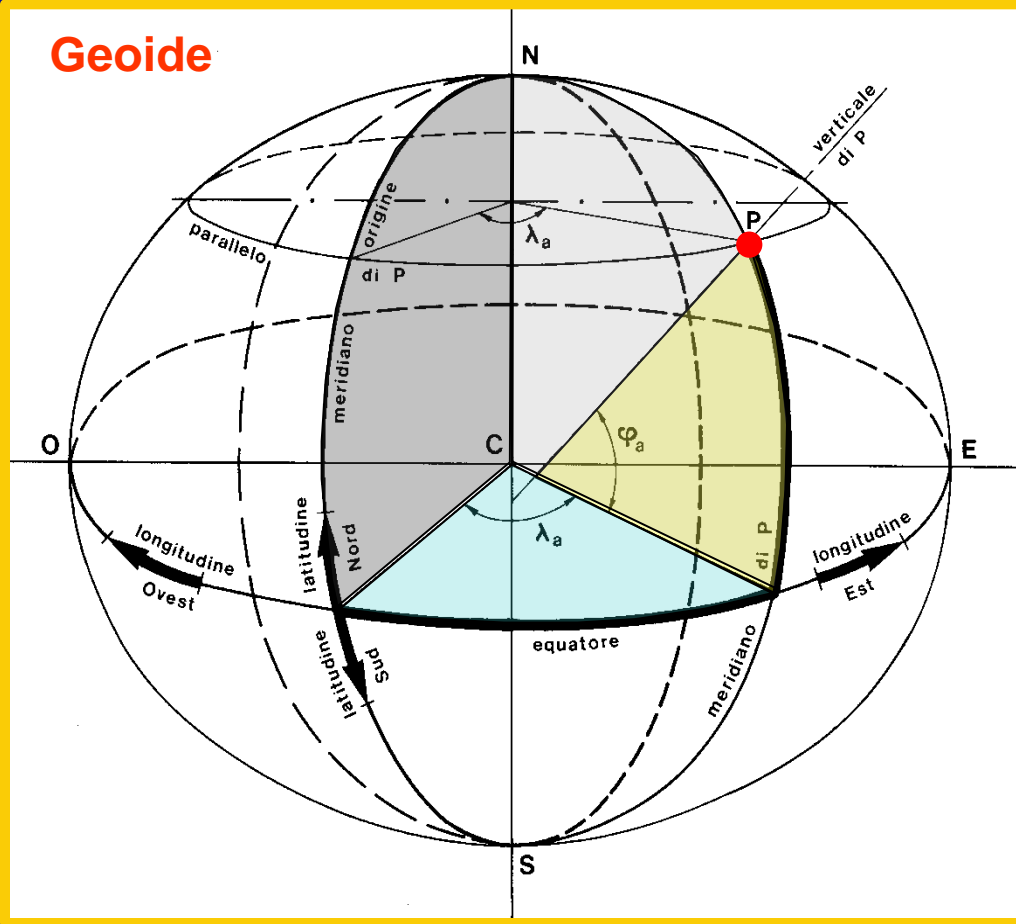
- Coordinate geografiche astronomiche: riferite al geoide
  - *Latitudine astronomica*  $\varphi_a$
  - *Longitudine astronomica*  $\lambda_a$
  
- Coordinate geografiche ellissoidiche (o geodetiche): riferite all'ellissoide
  - *Latitudine ellissoidica*  $\varphi_e$
  - *Longitudine ellissoidica*  $\lambda_e$

### Nota bene:

Qualora l'aggettivazione delle coordinate (astronomiche o ellissoidiche) non sia espressamente indicata, queste si intendono sempre riferite all'ellissoide (coordinate ellissoidiche o geodetiche)

## COORDINATE GEOGRAFICHE ASTRONOMICHE

### Geoide



### **Latitudine astronomica $\varphi_a$ :**

angolo che la verticale al geoide passante per il punto  $P$  forma con il piano equatoriale.

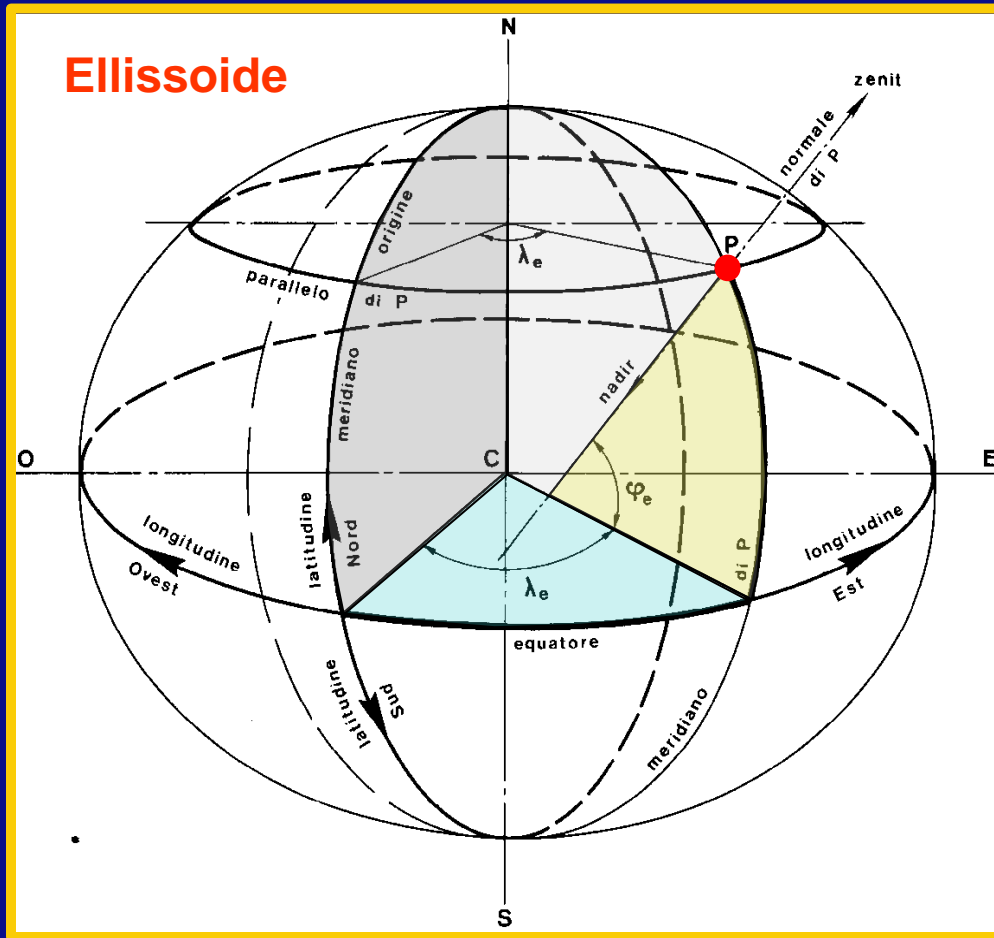
La latitudine è misurata positivamente verso il polo Nord e negativamente verso il polo Sud; varia quindi da  $+90^\circ$  (Nord) a  $-90^\circ$  (Sud)

### **Longitudine astronomica $\lambda_a$ :**

angolo che il semi-piano meridiano passante per il punto  $P$  forma con il semi-piano meridiano fondamentale nel riferimento internazionale.

La longitudine è misurata positivamente verso Est e negativamente verso Ovest; varia quindi da  $+180^\circ$  (Est) a  $-180^\circ$  (Ovest)

## COORDINATE GEOGRAFICHE ELLISSOIDICHE o GEODETICHE



### **Latitudine ellissoidica (geodetica) $\varphi_e$**

Angolo che la normale all'ellissoide passante per il punto  $P$  forma con il piano equatoriale.

La latitudine è misurata positivamente verso il polo Nord e negativamente verso il polo Sud; varia quindi da  $+90^\circ$  (Nord) a  $-90^\circ$  (Sud)

### **Longitudine ellissoidica (geodetica) $\lambda_e$**

angolo che il semi-piano meridiano passante per il punto  $P$  forma con il semi-piano meridiano fondamentale nel riferimento internazionale.

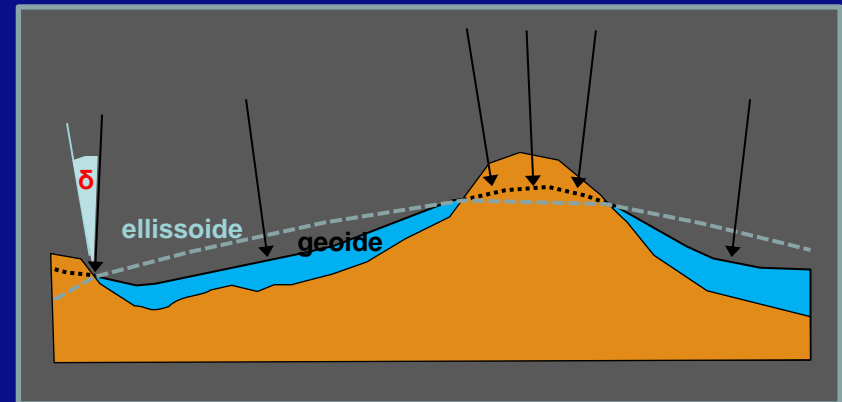
La longitudine è misurata positivamente verso Est e negativamente verso Ovest; varia quindi da  $+180^\circ$  (Est) a  $-180^\circ$  (Ovest)

## SUPERFICI DI RIFERIMENTO - MODELLI

### MODELLI DI GEOIDE

L'andamento della superficie del geoide risente della distribuzione delle masse ed è influenzato dalla presenza/assenza di massa (i corrugamenti attraggono verso l'alto la superficie geoidica, le depressioni producono avvallamenti).

Un **modello di geoide** è una descrizione numerica approssimata del geoide.



## MODELLI DI GEOIDE

Alla determinazione dei modelli matematici che descrivono la forma del geoide si perviene valutandone le ondulazioni, tramite misure geofisiche e gravimetriche, rispetto all'ellissoide di rotazione preso a riferimento.

In altri termini, lo studio del geoide viene effettuato misurandone attraverso studi gravimetrici gli scostamenti (ondulazioni) rispetto alla superficie ellissoidica adottata come riferimento (modello di ellissoide).

Possiamo quindi mappare, punto per punto gli scostamenti, positivi o negativi, tra la superficie dell'ellissoide e quella del geoide, che "percepriamo" misurando la forza di attrazione gravitazionale (legata alla distribuzione delle masse circostanti al punto di misura).

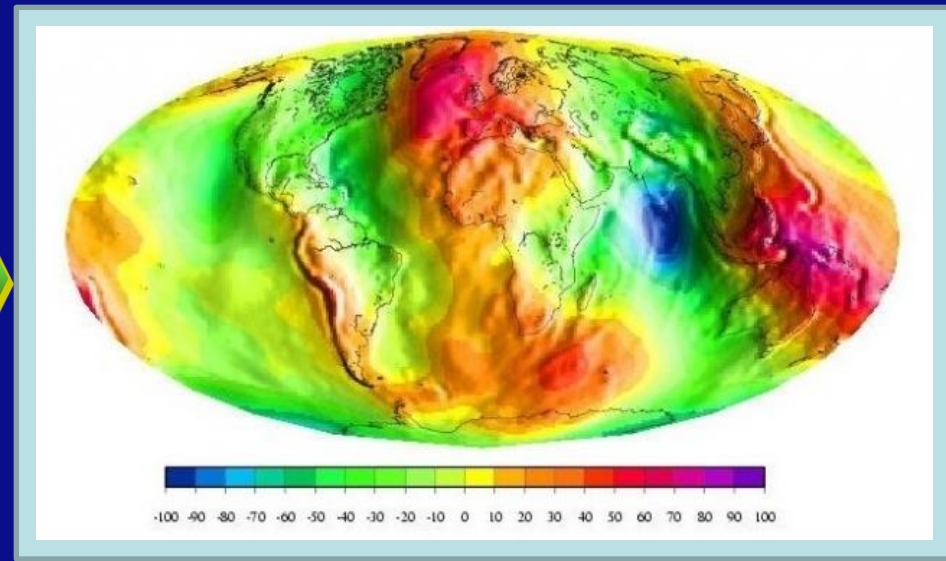
## MODELLI GLOBALI DI GEOIDE

I modelli di geoidi vengono distinti in «**globali**» e «**locali**»

I **modelli globali** del geoidi ne forniscono un'approssimazione valida mediamente per tutta la Terra; vengono utilizzati prevalentemente per scopi scientifici e non tengono conto delle variazioni locali.

Un esempio di modello globale utilizzato è **EGM2008** (*Earth Geopotential Model 2008*)

Visualizzazione degli scostamenti (espressi in metri) tra geoidi ed ellissoide



## MODELLI LOCALI DI GEOIDE

I **modelli locali** del geoide sono utilizzati in ambito locale e raggiungono un'approssimazione migliore rispetto ai modelli globali; essi però hanno validità soltanto per aree di ampiezza limitata.

Il modello di geoide locale per l'Italia è il modello **ITALGEO 2005**, calcolato dal Politecnico di Milano in collaborazione con l'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI).

A questo modello viene attribuita una accuratezza assoluta degli scostamenti dell'ordine dei 10 cm. Per le applicazioni di carattere tecnico è più importante l'accuratezza relativa, ovvero la variazione di ondulazione tra due punti, che risulta un po' migliore di quella assoluta.

## MODELLI DI ELLISSOIDE

### ORIENTAMENTO DELL'ELLISSOIDE TERRESTRE

Assunto un modello di ellissoide, unitamente ai suoi parametri geometrici (semiassi, eccentricità, schiacciamento), come in precedenza enunciati, occorre tuttavia definirne anche l'**orientamento**, cioè la posizione dell'ellissoide rispetto al geoide e, conseguentemente, rispetto alla superficie terrestre.

I parametri dell'ellissoide, l'orientamento ed altre grandezze specifiche costituiscono un cosiddetto «**datum**» geodetico.

L'orientamento dell'ellissoide è funzionale a rendere quest'ultimo quanto più prossimo al geoide nella zona del globo su cui si debba operare.

Ciascuna Nazione, per i fini connessi al rilievo e alla rappresentazione del proprio territorio, adotta uno specifico *datum*.

In relazione all'orientamento dell'ellissoide rispetto al geoide, i **sistemi di riferimento** geografici adottati vengono distinti in **globali** e **locali**.

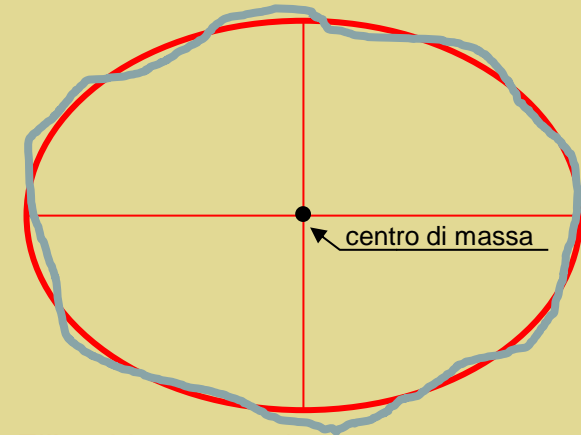


## RIFERIMENTO GLOBALE

Un sistema di riferimento globale è assunto universalmente valido per l'intera superficie terrestre.

Un sistema di riferimento globale è quindi solidale con la Terra (*Earth-Fixed*).

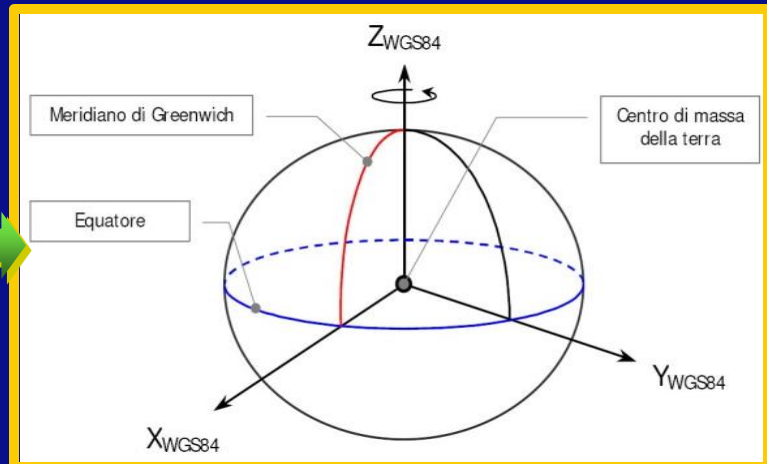
Un tipico riferimento globale è quello che adotta un **ellissoide geocentrico**, quale ad esempio il **WGS84** (*World Geodetic System*), impiegato per il calcolo delle coordinate dei punti del globo nel sistema satellitare GPS, del quale si dirà in seguito.



Ellissoide geocentrico  
Geoide

Il sistema di riferimento adottato nell'ellissoide WGS84 per il calcolo delle coordinate dei punti è il seguente:

- Origine coincidente con il centro di massa della Terra;
- Asse Z coincidente con un asse di rotazione terrestre convenzionale;
- Asse X, intersezione del piano meridiano di riferimento (Greenwich) con il piano equatoriale;
- Asse Y, tale da completare una terna ortogonale destrorsa.

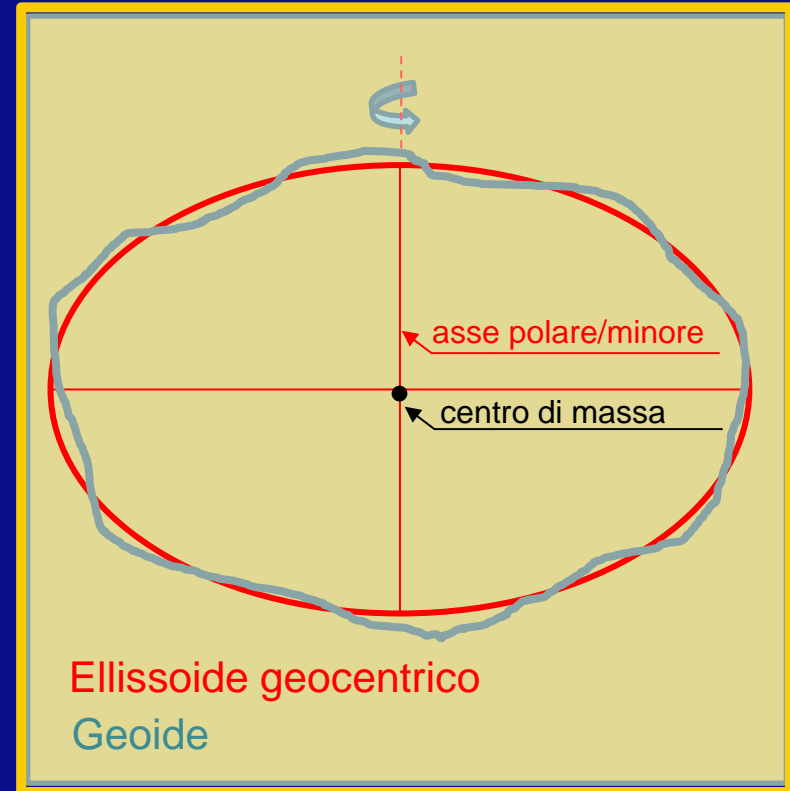


## RIFERIMENTO GLOBALE

Nel sistema geocentrico si ha coincidenza tra:

- centro di massa del geoide (centro della terra) e centro dell'ellissoide;
- asse di rotazione terrestre ed asse polare (asse minore) dell'ellissoide.

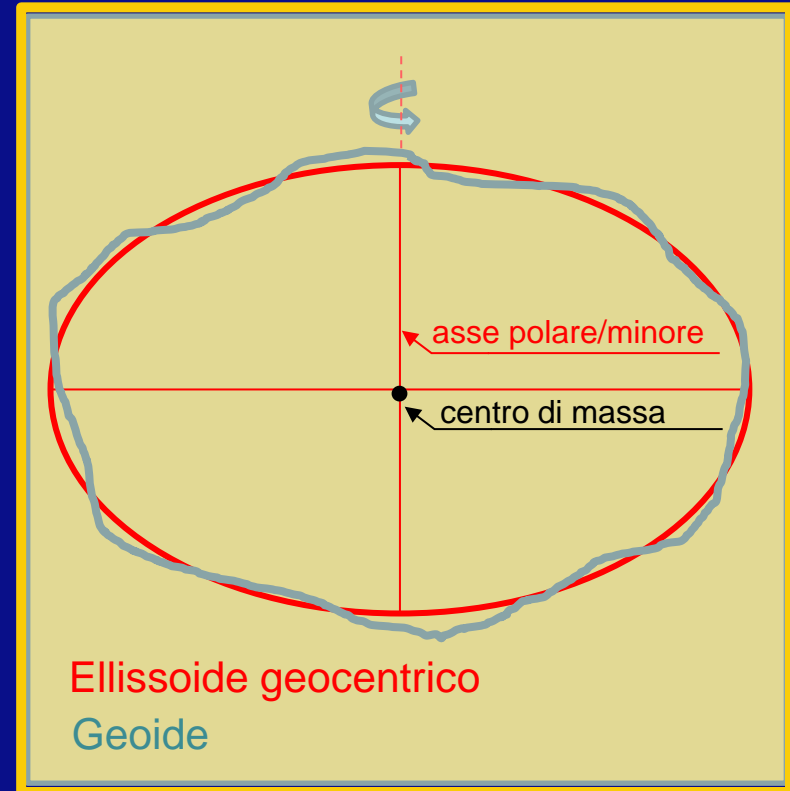
Di contro, non è garantita la tangenza tra le due superfici, in quanto in nessun punto viene imposta la coincidenza tra verticale geoidica e normale ellissoidica.



## RIFERIMENTO GLOBALE

L'ellissoide geocentrico, ancorché tenda a scostamenti tra le due superfici tali da portare a calcoli delle coordinate planimetriche dei punti in alcuni casi affetti da errori sensibili, presenta il vantaggio della sua validità come sistema di riferimento per l'intero pianeta.

La rappresentazione (cartografia <sup>(\*)</sup>) di tale superficie ellissoidica, prodotta su un piano (piano della carta), non risulterà pertanto ottimale e sarà necessario studiare e valutare gli scostamenti (ondulazioni) tra ellissoide e geoide.



(\*) La cartografia verrà trattata in apposito capitolo

## RIFERIMENTO LOCALE

I sistemi di riferimento locale sono validi per porzioni limitate (più o meno ristrette) della superficie terrestre.

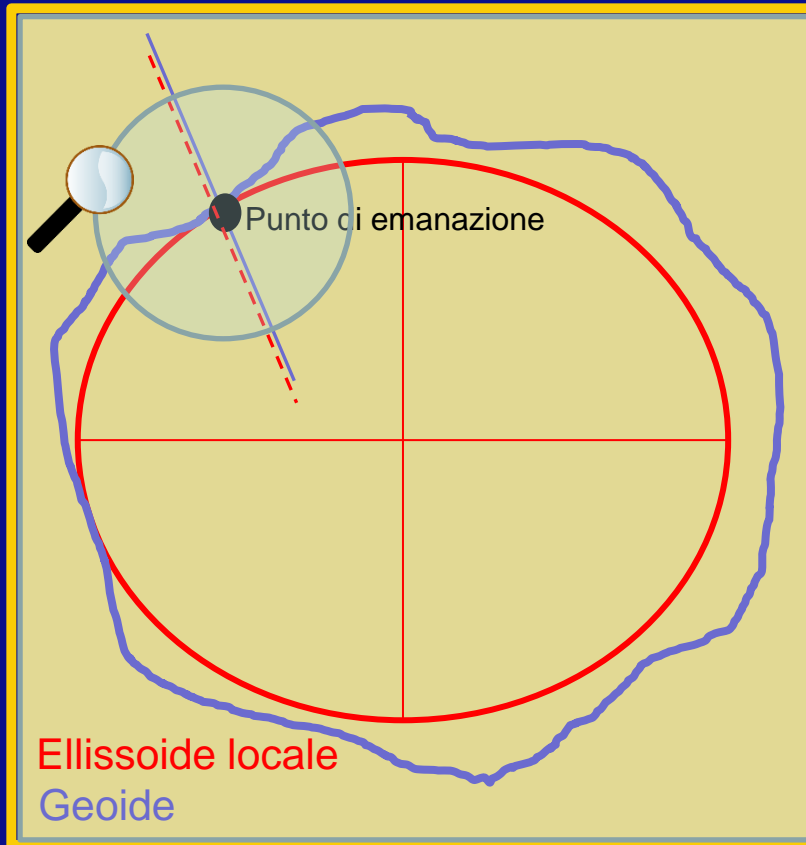
In tali casi l'ellissoide "locale" viene opportunamente orientato con misure astrogeodetiche locali secondo due modalità:

- 1) in modo da risultare tangente al geoide in un certo punto (punto di emanazione), in corrispondenza del quale si ha coincidenza tra verticale geoidica e normale ellissoidica (**orientamento forte**)
- 2) posizionando reciprocamente ellissoide e geoide in modo da determinare scostamenti minimi tra le due superfici nella zona considerata, pur non essendo garantita la coincidenza tra verticale geoidica e normale ellissoidica in un punto (**orientamento debole o medio**)

## ORIENTAMENTO DELL' ELLISSOIDE LOCALE

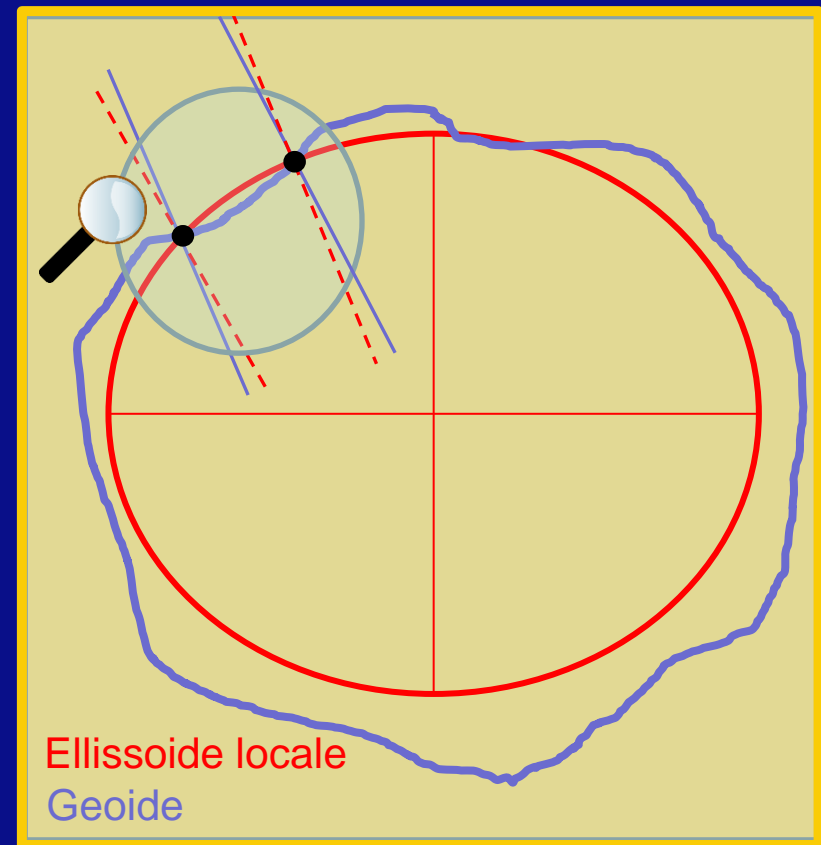
### Orientamento forte

coincidenza tra verticale geoidica e normale ellissoidica



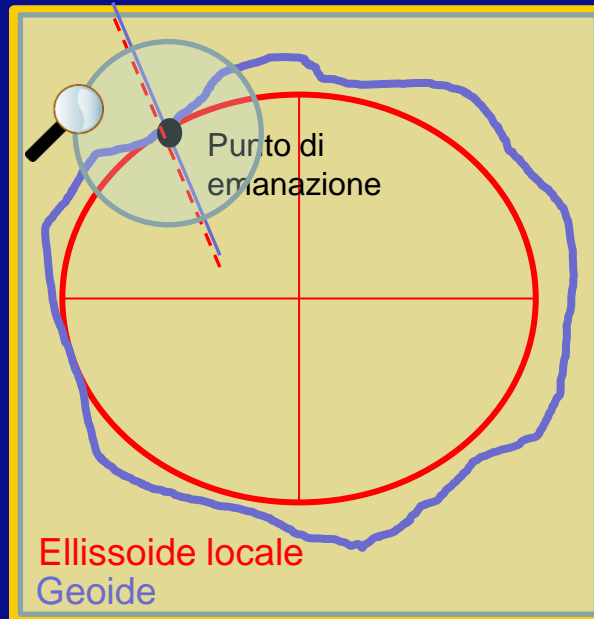
### Orientamento debole (medio)

non coincidenza tra verticale geoidica e normale ellissoidica



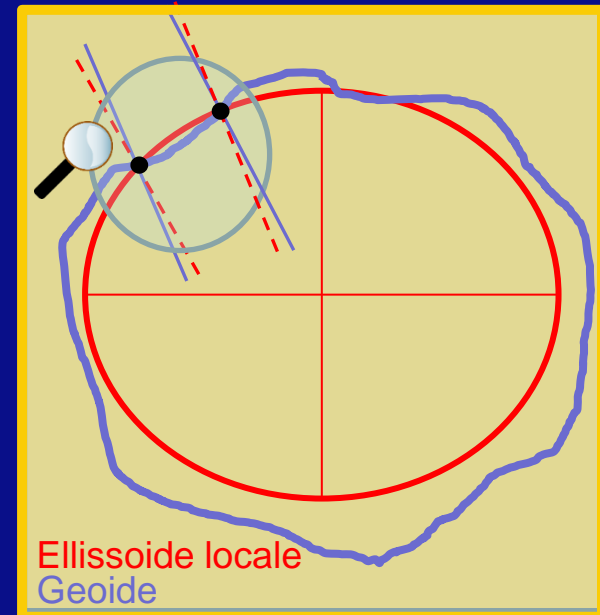
## ORIENTAMENTO DELL' ELLISSOIDE LOCALE

Orientamento forte



La cartografia della porzione di superficie ellissoidica risulterà particolarmente affidabile per tutto il territorio circostante il punto di tangenza.

Orientamento debole (medio)



La cartografia della porzione di superficie ellissoidica risulterà sufficientemente affidabile per un vasto territorio circostante il/i punto/i di contatto, pur non avendo le caratteristiche di precisione tipiche di un sistema geodetico locale con orientamento forte.

## QUALE ELLISSOIDE SI UTILIZZA



### Ellissoide globale

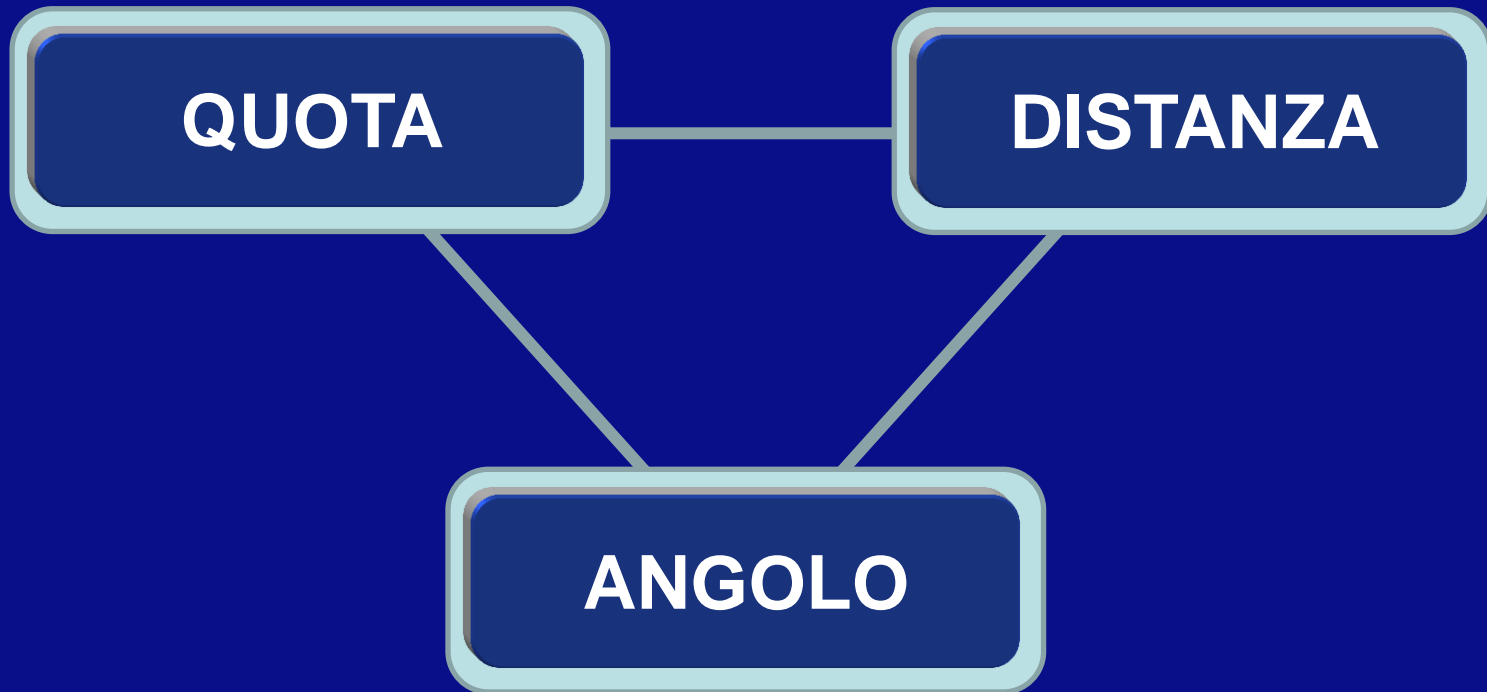
Per sistemi di riferimento globale, si utilizza l'ellissoide geocentrico che approssima globalmente il geode ed è quindi utilizzabile nello stesso modo per l'intera superficie terrestre

### Ellissoide locale

Per sistemi di riferimento locale, quando occorre operare con notevole precisione, si sceglie l'ellissoide con orientamento locale che meglio approssima il geode

# TOPOGRAFIA

**Grandezze oggetto di misure**





**Grandezze oggetto di misure**

**QUOTA**

A diagram consisting of a downward-pointing triangle with a light blue outline. A callout box, which is a rounded rectangle with a dark blue background and a light blue border, is attached to the top-left vertex of the triangle. The word "QUOTA" is written in white, bold, uppercase letters inside the callout box.

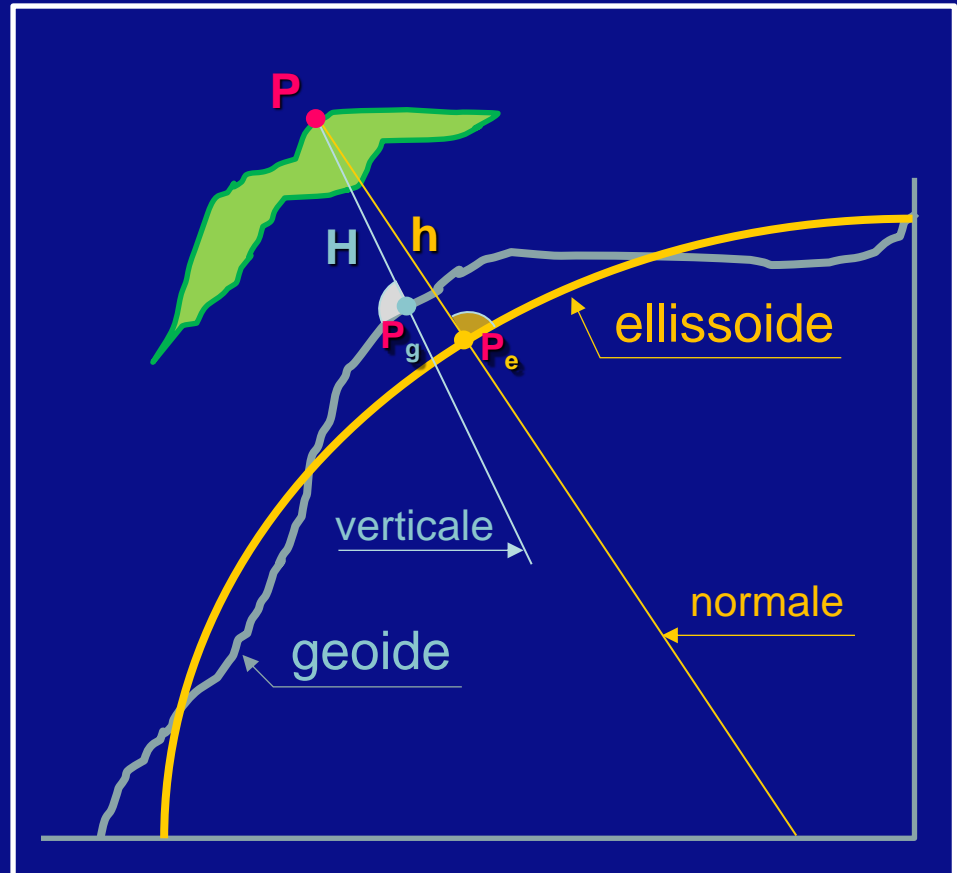
## QUOTA DI UN PUNTO

La quota rappresenta la lunghezza del segmento misurato lungo la verticale/normale al geode/ellissoide fra un punto **P** della superficie terrestre ed il suo punto proiezione sulla superficie di riferimento (geode o ellissoide).

Di un determinato punto **P**, quindi, si avranno due quote:

- Quota **geoidica H**
- Quota (o altezza) **ellissoidica h**

La quota di un punto viene sempre riferita al geode; essa prende il nome di quota **ortometrica** o **assoluta** o sul livello medio del mare (quota **s.l.m.**).



## IL PROBLEMA DELLA QUOTA

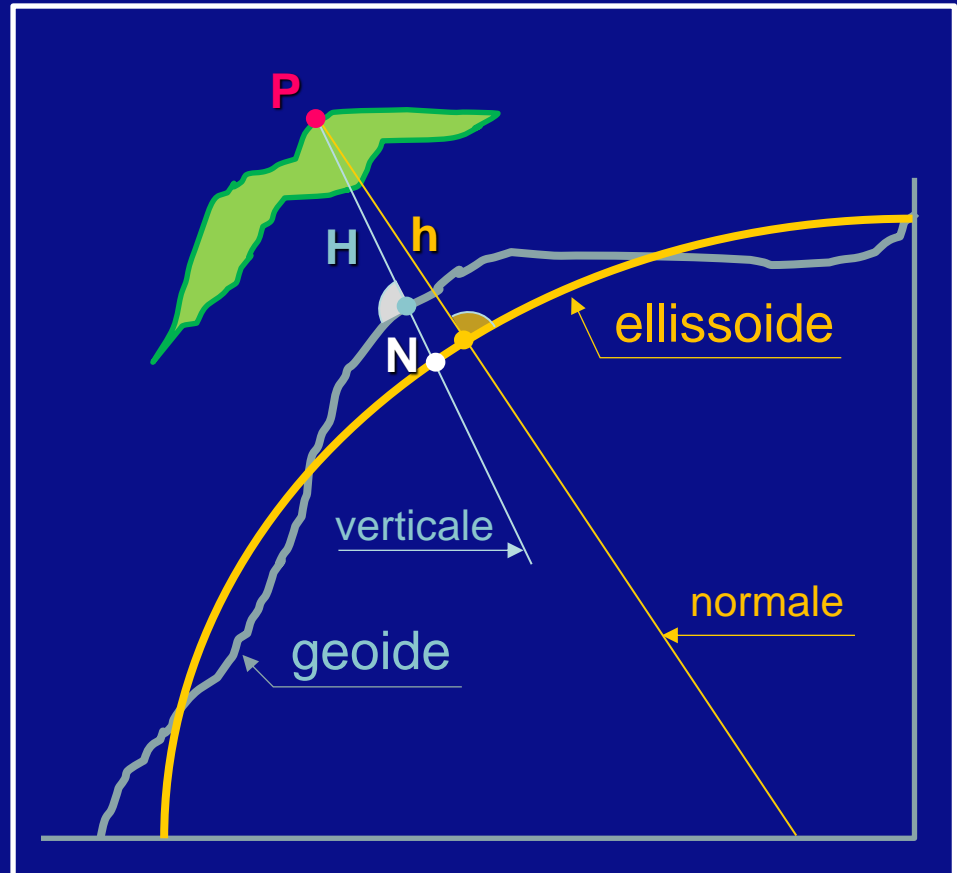
La differenza di quota **N** tra l'ellissoide e il geode rappresenta l'ondulazione del geode (o separazione geodetica o scostamento) e può essere sia positiva che negativa.

La quota (altezza) ellissoidica è utilizzata nella geodesia satellitare (GPS e sistemi satellitari analoghi <sup>[\*]</sup>).

La quota geoidica viene in genere ricavata dalla quota ellissoidica attraverso la conoscenza delle ondulazioni **N** del geode di riferimento.

$$H = h - N$$

[\*] Trattati in apposito capitolo



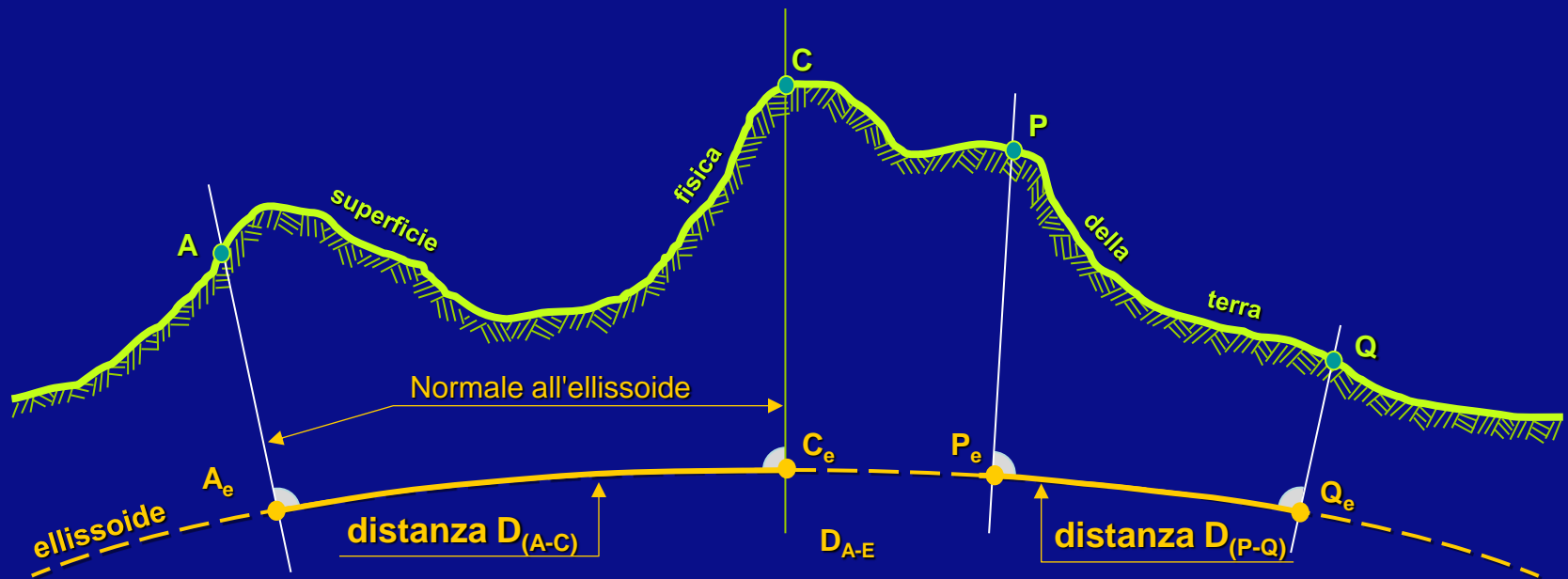
## Grandezze oggetto di misure



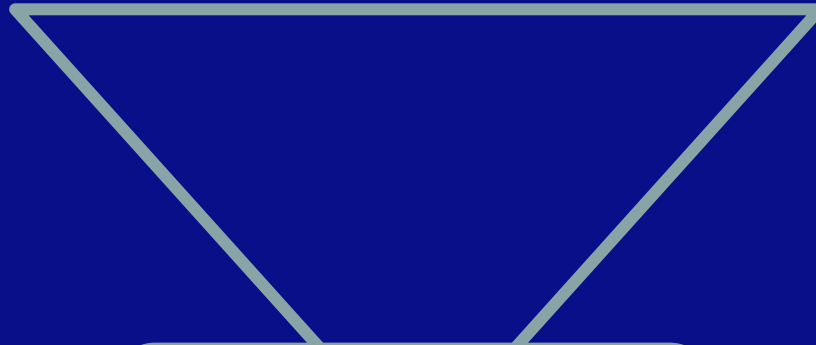
**DISTANZA**

## DISTANZA TRA DUE PUNTI

La **distanza  $D$  tra due punti** è data dalla lunghezza della linea di minimo percorso che collega sulla superficie dell'ellissoide i punti proiezione dei punti reali della superficie terrestre, condotti lungo la normale all'ellissoide medesima.



**Grandezze oggetto di misure**

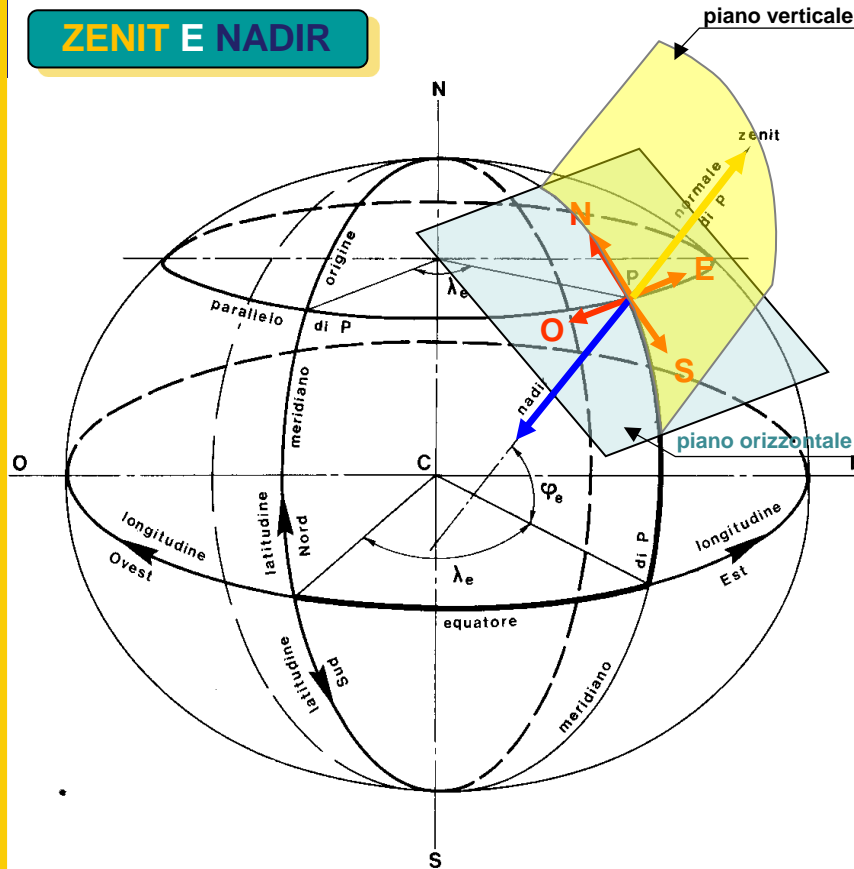


**ANGOLO**

# TOPOGRAFIA

**IN TOPOGRAFIA SI MISURANO ANGOLI  
SIA SUL PIANO ORIZZONTALE CHE SU PIANI VERTICALI**

## ZENIT E NADIR



La verticale passante per un punto  $P$  del geode presenta due direzioni: una tende verso l'esterno della terra a un punto detto **zenit** e l'altra verso l'interno a un punto detto **nadir**.

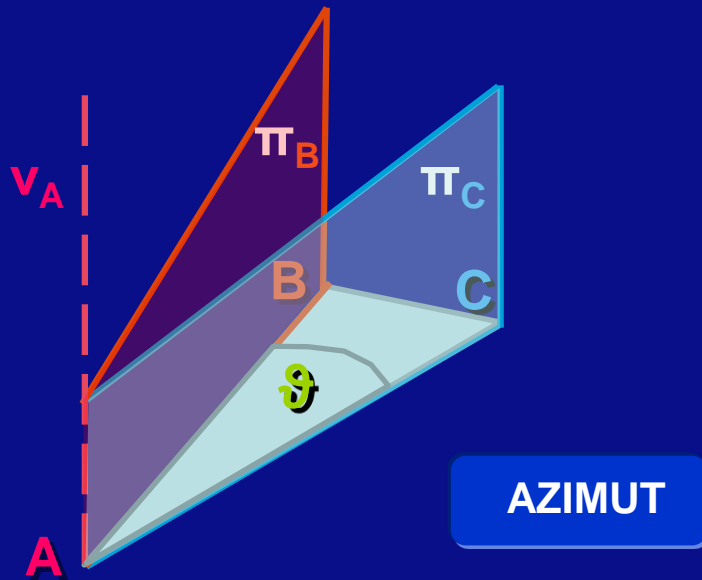
Il piano tangente al geode nel punto  $P$  viene definito **orizzonte** o **piano orizzontale** (di colore azzurro nella figura).

Gli infiniti piani passanti per la normale in  $P$  al geode ovvero all'ellissoide vengono definiti **piani verticali** (di colore giallo nella figura).

# TOPOGRAFIA

## ANGOLO

### SUL PIANO ORIZZONTALE

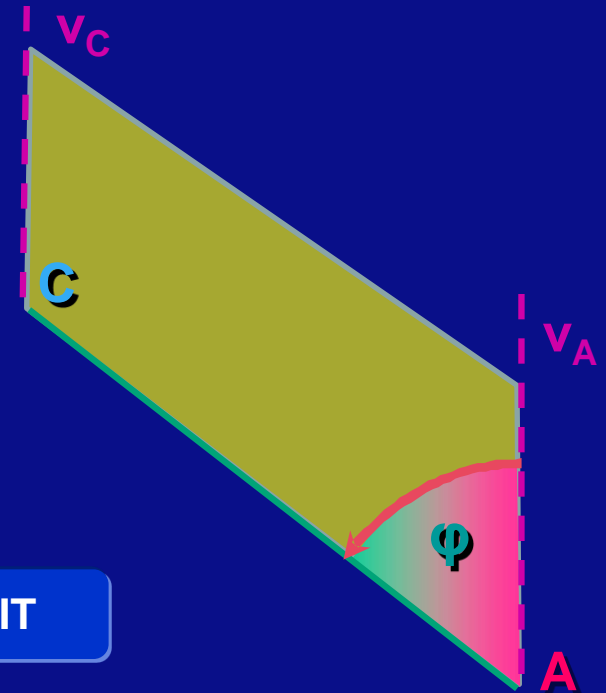


AZIMUT

$\vartheta$  = angolo azimutale

angolo diedro formato dai piani  $\pi_B$  e  $\pi_C$

### SU UN PIANO VERTICALE



ZENIT

$\varphi$  = angolo zenitale

angolo formato da  $v_A$  e dalla congiungente AC

$v_A$  = verticale passante per A;  $v_C$  = verticale passante per C

$\pi_B$  = piano formato da  $v_A$  e dalla congiungente AB;  $\pi_C$  = piano formato da  $v_A$  e dalla congiungente AC

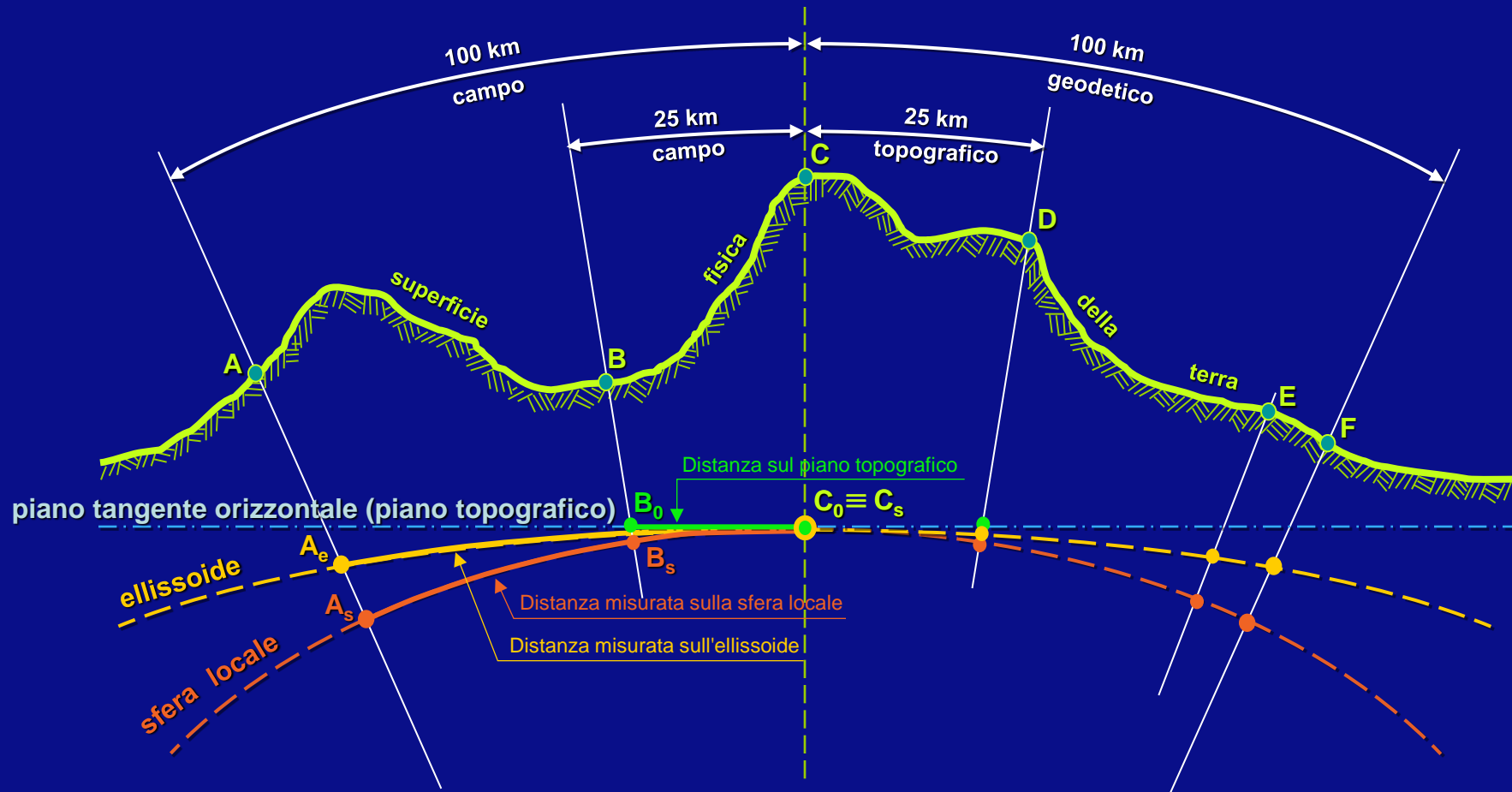


## CAMPO GEODETICO E CAMPO TOPOGRAFICO

Poiché l'ellissoide terrestre presenta uno schiacciamento minimo, è dimostrato che in una porzione di ellissoide di raggio pari a 100 km intorno a un punto  $C$ , la superficie ellissoidica può essere sostituita da una sfera tangente l'ellissoide in  $C$ , in quanto l'errore planimetrico massimo sulla distanza risulta pari a circa 27 mm; tale sfera prende il nome di sfera locale. Considerando il solo aspetto planimetrico, tale zona estesa per un raggio di 100 km, in cui è possibile sostituire all'ellissoide terrestre la sfera locale, viene definita campo geodetico.

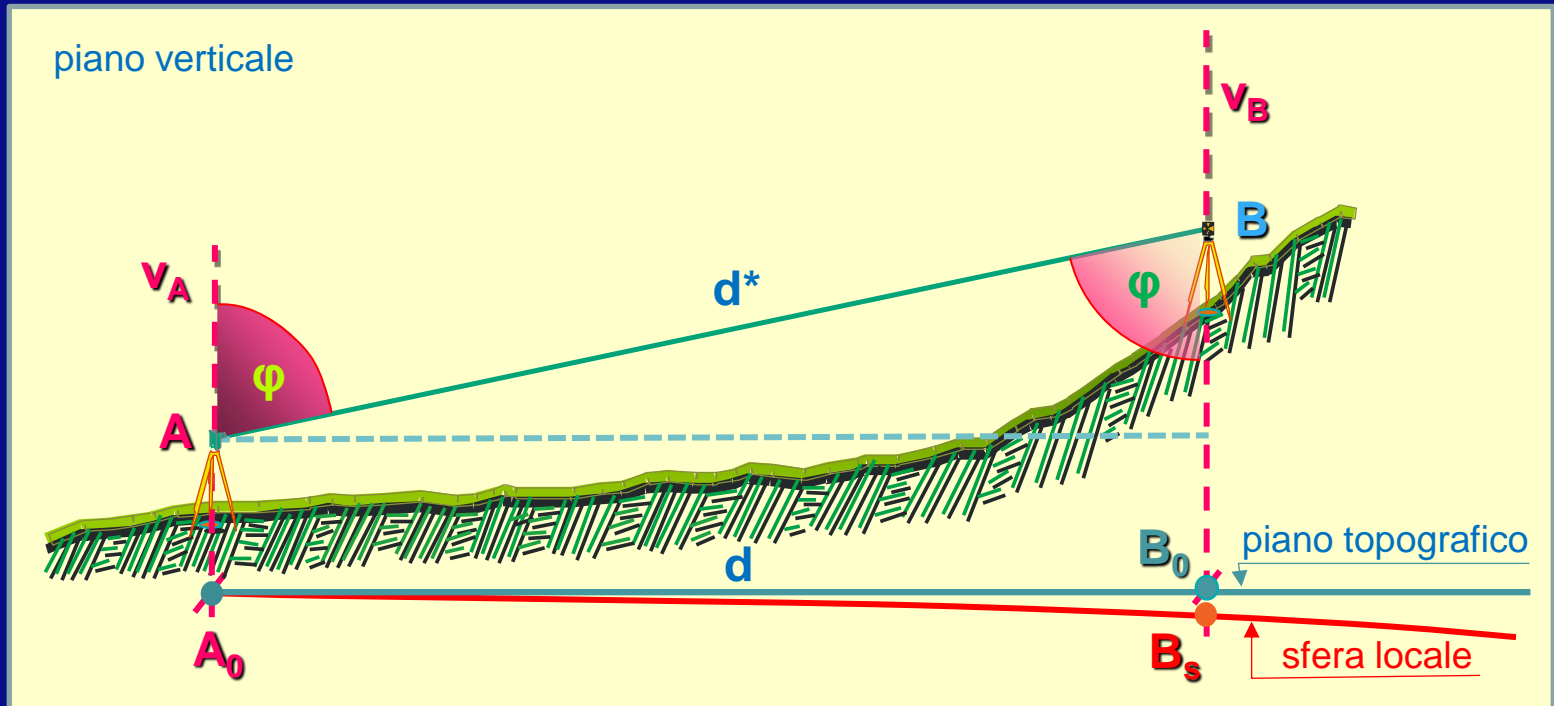
È stato altresì dimostrato che, entro determinati limiti, nei calcoli topografici è possibile sostituire alla sfera locale in un punto il piano ad essa tangente nel punto stesso; l'estensione di tale piano intorno al punto considerato viene definita campo topografico. Il campo topografico può essere esteso entro un raggio di 25 km intorno a un punto  $C$ , per ottenere una precisione relativa di  $1/200.000$  nelle misure planimetriche.

## CAMPO GEODETICO E CAMPO TOPOGRAFICO DISTANZA FRA DUE PUNTI



# TOPOGRAFIA

## DISTANZA SUL PIANO TOPOGRAFICO



$d$  = distanza topografica

$$d = d^* \sin \varphi$$

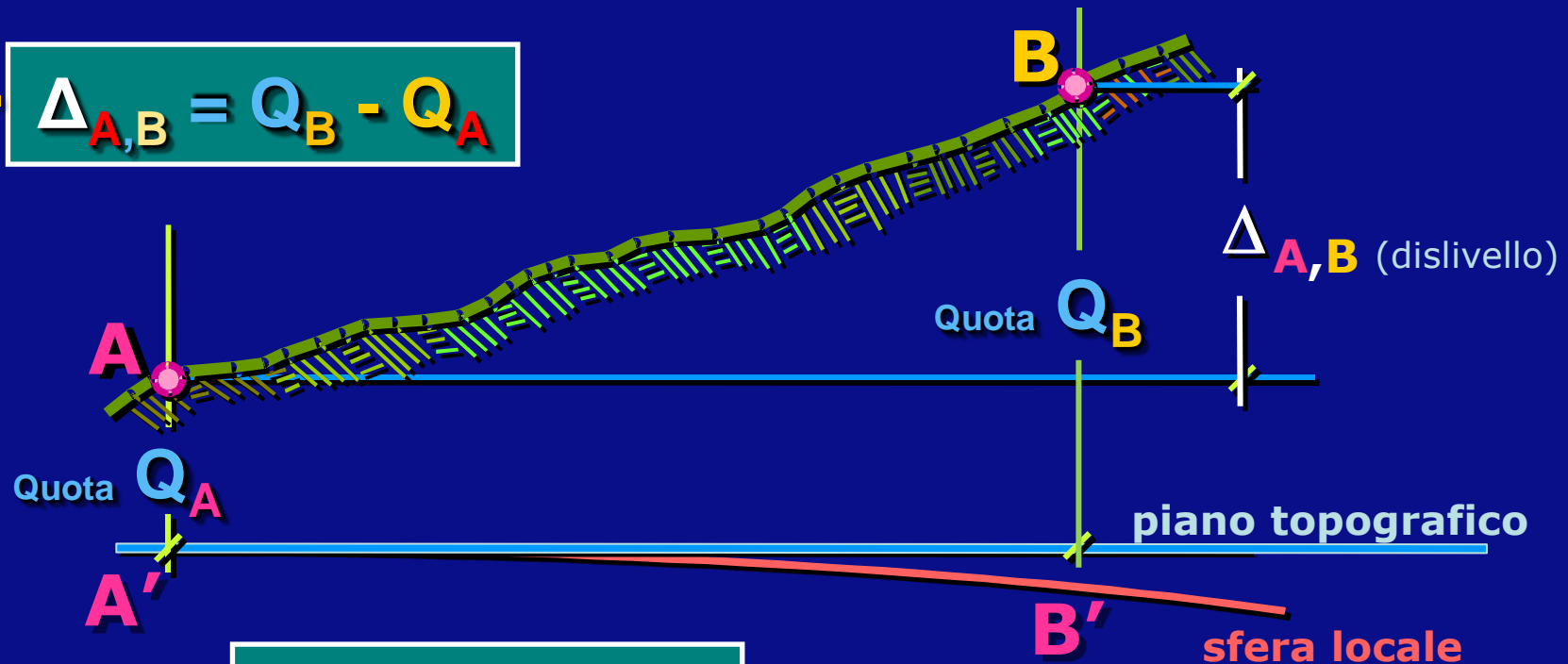
$d^*$  = congiungente  $AB$

$\varphi$  = angolo zenitale

## QUOTA RELATIVA (DISLIVELLO FRA DUE PUNTI)

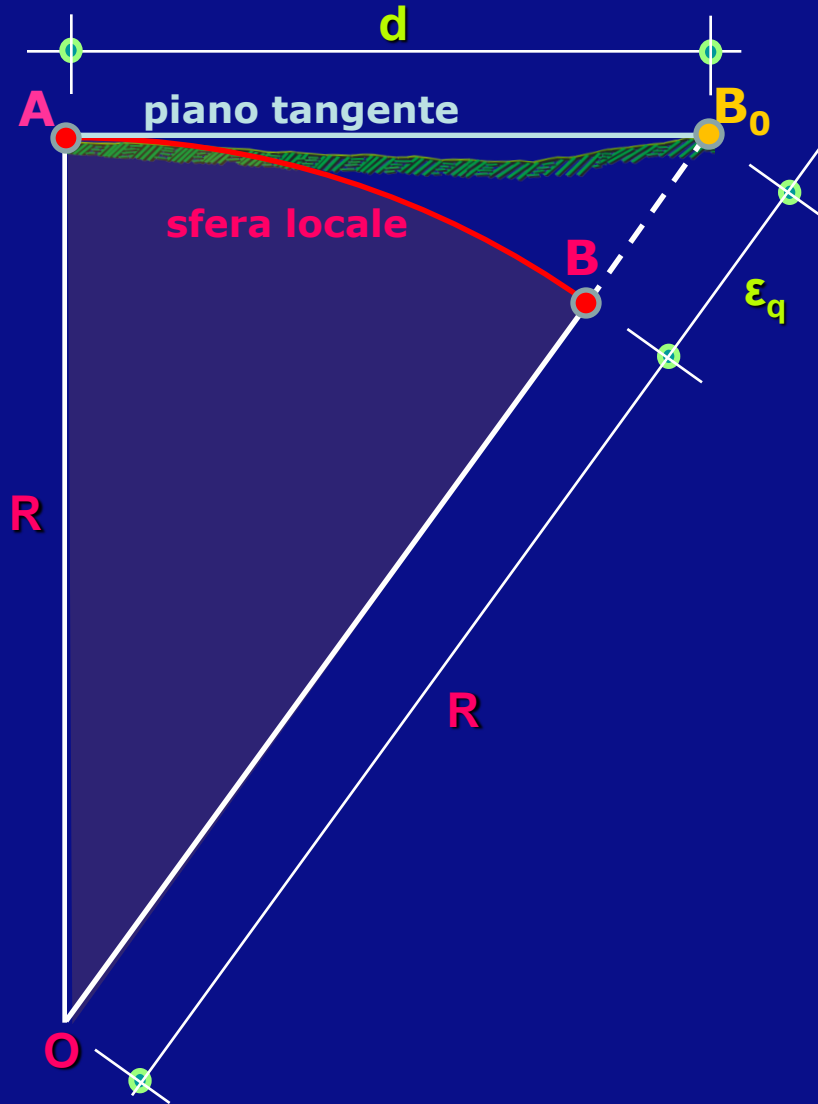
Si definisce come dislivello  $\Delta_{A,B}$  (quota relativa) tra due punti la differenza tra le rispettive quote

$$\Delta_{A,B} = Q_B - Q_A$$



$$\begin{aligned} \Delta_{A,B} > 0 & \text{ se } Q_B > Q_A \\ \Delta_{A,B} = 0 & \text{ se } Q_B = Q_A \\ \Delta_{A,B} < 0 & \text{ se } Q_B < Q_A \end{aligned}$$

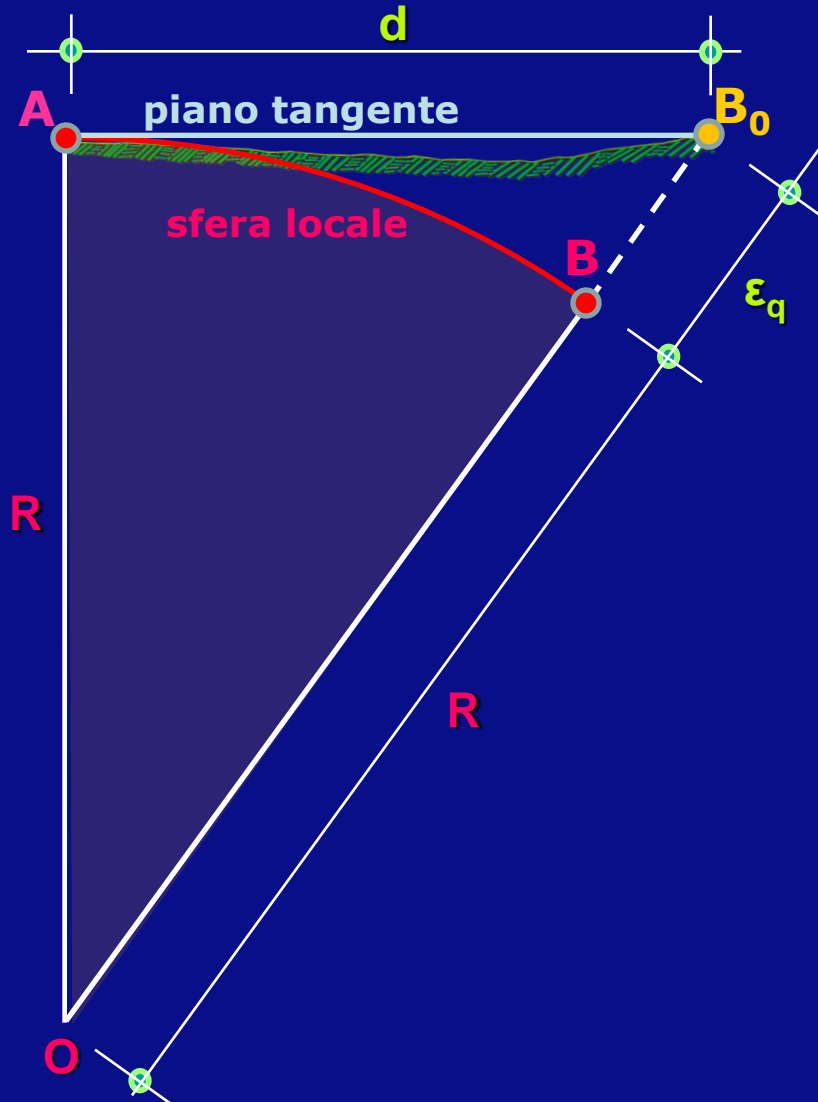
## ERRORI NELLA MISURA DEI DISLIVELLI



Consideriamo la sezione della sfera locale passante per i punti **A** e **B** della superficie terrestre; detti punti, nel campo geodetico, appartengono alla medesima sfera locale e pertanto hanno la medesima quota, per cui il loro dislivello è nullo.

Nel campo topografico, invece, lo stesso punto **B**, proiettato sul piano tangente in **A** alla sfera locale, appare in **B<sub>0</sub>** e quindi rispetto alla sfera locale determina un dislivello  $\Delta$  pari a **BB<sub>0</sub>**. Tale valore rappresenta l'errore  $\epsilon_q$  nella misura del dislivello, commesso nel passaggio dalla sfera locale nel campo geodetico, al piano tangente nel campo topografico.

## ERRORI NELLA MISURA DEI DISLIVELLI



Applicando il teorema di Pitagora al triangolo  $OAB_0$ , si ottiene:

$$\overline{OA}^2 + \overline{AB_0}^2 = \overline{OB_0}^2$$

$$R^2 + d^2 = (R + \varepsilon_q)^2$$

$$R^2 + d^2 = R^2 + 2R\varepsilon_q + \varepsilon_q^2$$

Dividendo ambo i membri per  $2R$ :

$$\frac{d^2}{2R} = \varepsilon_q + \frac{\varepsilon_q^2}{2R}$$

Il termine  $\varepsilon_q$  è molto piccolo rispetto a  $2R$  e la frazione può essere trascurata, per cui si ha:

$$\varepsilon_q \cong \frac{d^2}{2R}$$

che rappresenta l'errore di sfericità della Terra. Tale errore risulta quindi proporzionale al quadrato della distanza.

## ERRORI NELLA MISURA DEI DISLIVELLI

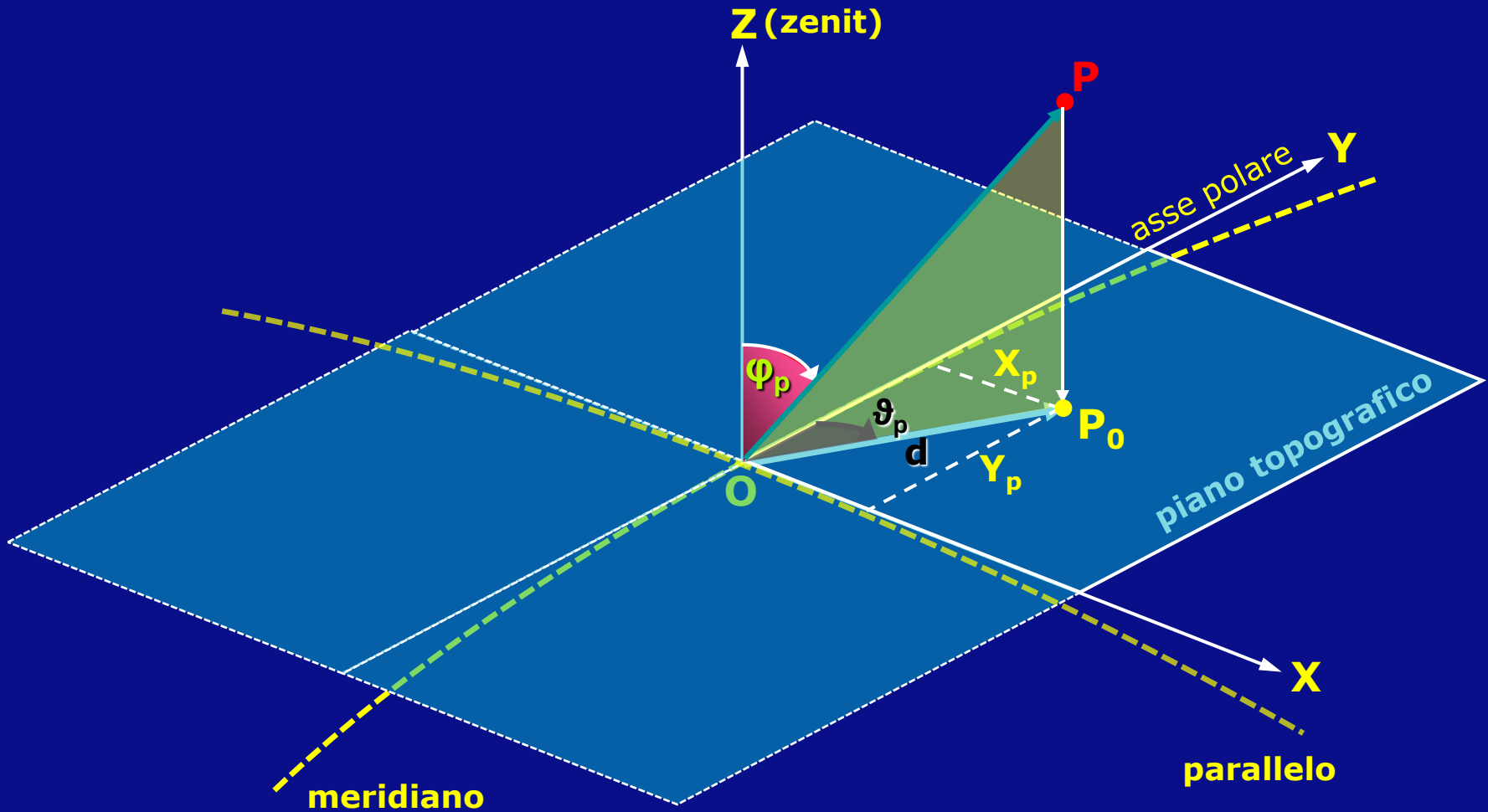
Applicando la formula precedente, per distanze  $d$  gradualmente crescenti e assumendo il raggio della sfera locale pari a  $R = 6377000$  m, l'errore  $\varepsilon_q$  di sfericità che si commette nel calcolo dei dislivelli assume i valori di seguito riportati:

D [m]	100	200	300	400	500	1000
$\varepsilon_q$ [cm]	0,078	0,314	0,706	1,254	1,960	7,841

Ne consegue che nel calcolo dei dislivelli, volendo ottenere una precisione con tolleranza massima di **errore inferiore al millimetro**, il campo topografico può estendersi per un raggio non superiore a **100 m**, mentre, accettando una tolleranza **intorno al centimetro**, il campo topografico può estendersi per un raggio di poco inferiore a **400 m**.

# TOPOGRAFIA

## INDIVIDUAZIONE DEI PUNTI NELLO SPAZIO E SUL PIANO TOPOGRAFICO (ORIZZONTALE)





## COORDINATE DI P SUL PIANO TOPOGRAFICO

COORDINATE POLARI ( $\vartheta_p, d$ )

COORDINATE CARTESIANE ( $X_P, Y_P$ )

Passaggio dalle coordinate polari a quelle cartesiane e viceversa

$$X_P = d \cdot \sin \theta_P$$

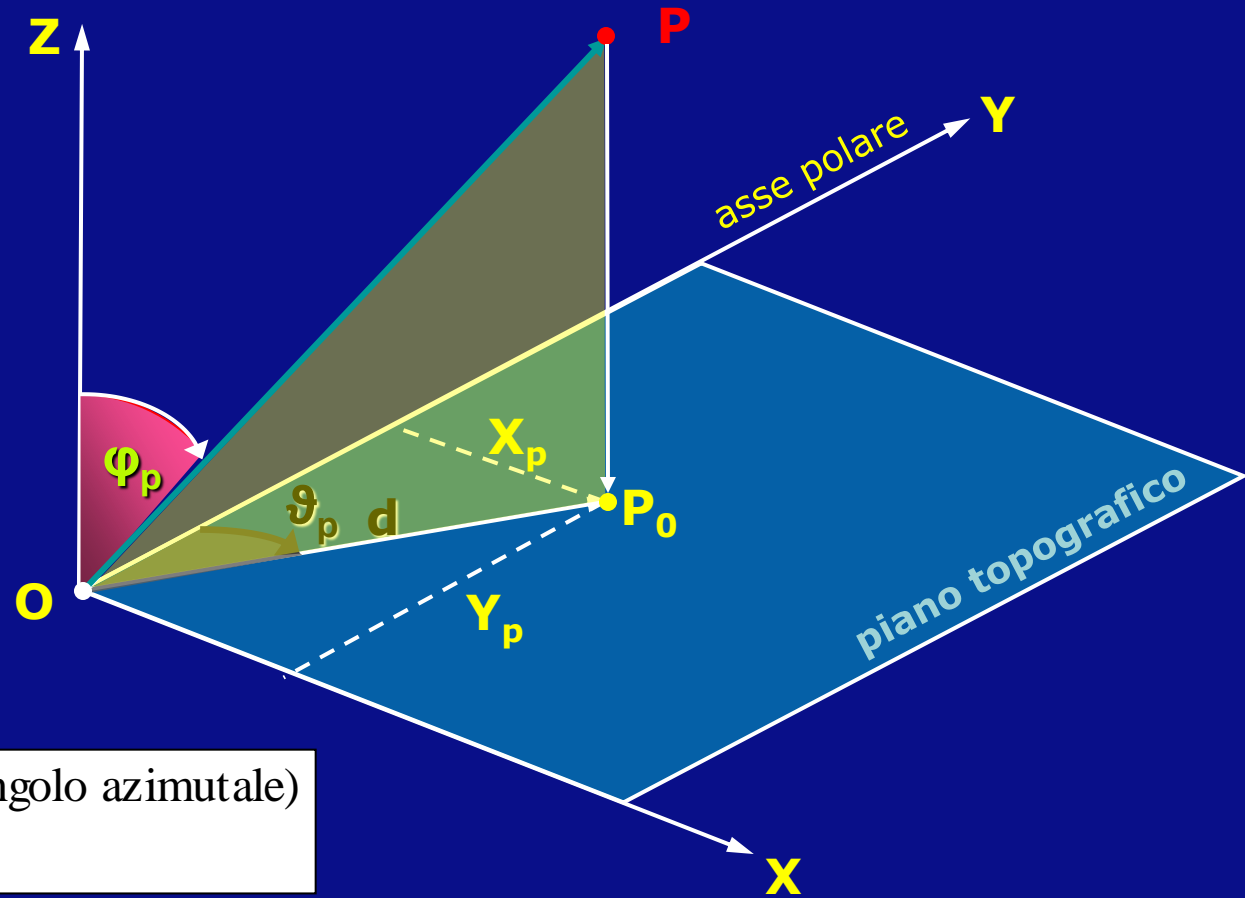
$$Y_P = d \cdot \cos \theta_P$$

$$d = \sqrt{X_P^2 + Y_P^2}$$

$$\theta_P = \operatorname{arctg} \frac{X_P}{Y_P}$$

$\theta_P$  – angolo di direzione (angolo azimutale)

$\varphi_P$  – angolo zenitale



**Fine**

