

GPS e sistemi di riferimento



Sistemi di riferimento e reti geodetiche

- Il posizionamento satellitare ha reso necessario l'istituzione di sistemi di riferimento mondiali, la cui definizione è stata possibile dalla stessa geodesia satellitare
- Questi sistemi sono quindi globali, geocentrici e tridimensionali
- Rimane comunque fondamentale il ruolo del geoide
- Le reti geodetiche mantengono il loro ruolo concettuale e pratico, ma cambiano le metodologie di misura e la tipologia di rete :
 - reti tradizionali (passive)
 - reti di stazioni permanenti (attive)

Definizione di un sistema di riferimento

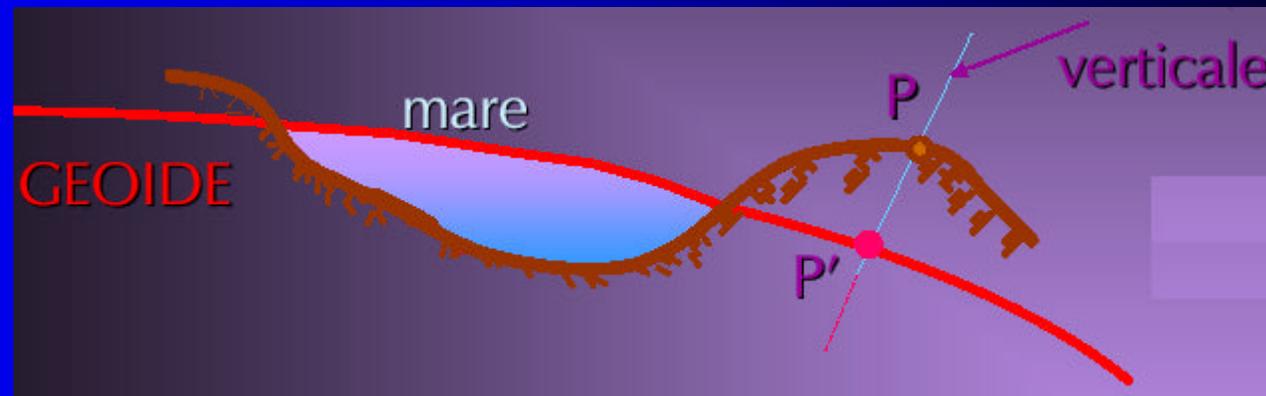
- La posizione di un punto nello spazio è identificata tramite un sistema di riferimento
- Un sistema di riferimento nello spazio 3D è definito da 3 assi ortogonali (X,Y,Z) vincolando i 6 gradi di libertà:
 - posizione dell'origine degli assi (3 coordinate)
 - 2 direzioni per un asse (2 rotazioni)
 - 1 direzione per uno dei due assi rimanenti (1 rotazione)

Materializzazione di un sistema di riferimento

- Un sistema di riferimento è un' entità astratta espressa con formule matematiche
- Per materializzare un sistema di riferimento basta collocare sulla superficie terrestre dei **punti** le cui coordinate sono riferite a quel sistema (**Reti Geodetiche**)

Forma della terra

- La terra ha una forma irregolare detta "Geoide"
- Ogni punto sulla terra è soggetto alla forza di gravità:
la gravità costituisce un campo di forze "Il campo gravitazionale"
- Le linee di forza gravitazionale sono linee curve dette verticali



- La tangente alla loro direzione in un punto è fornita dal filo a piombo

Forma della terra

Geoide ed Ellissoide

- La forma geometrica che meglio la rappresenta la terra è un **ellissoide** di rotazione con i seguenti semiassi $a = 6378137 \text{ m}$
 $b = 6356152 \text{ m}$

Rispetto all' ellissoide il Geoide ha scostamenti massimi di 100 m

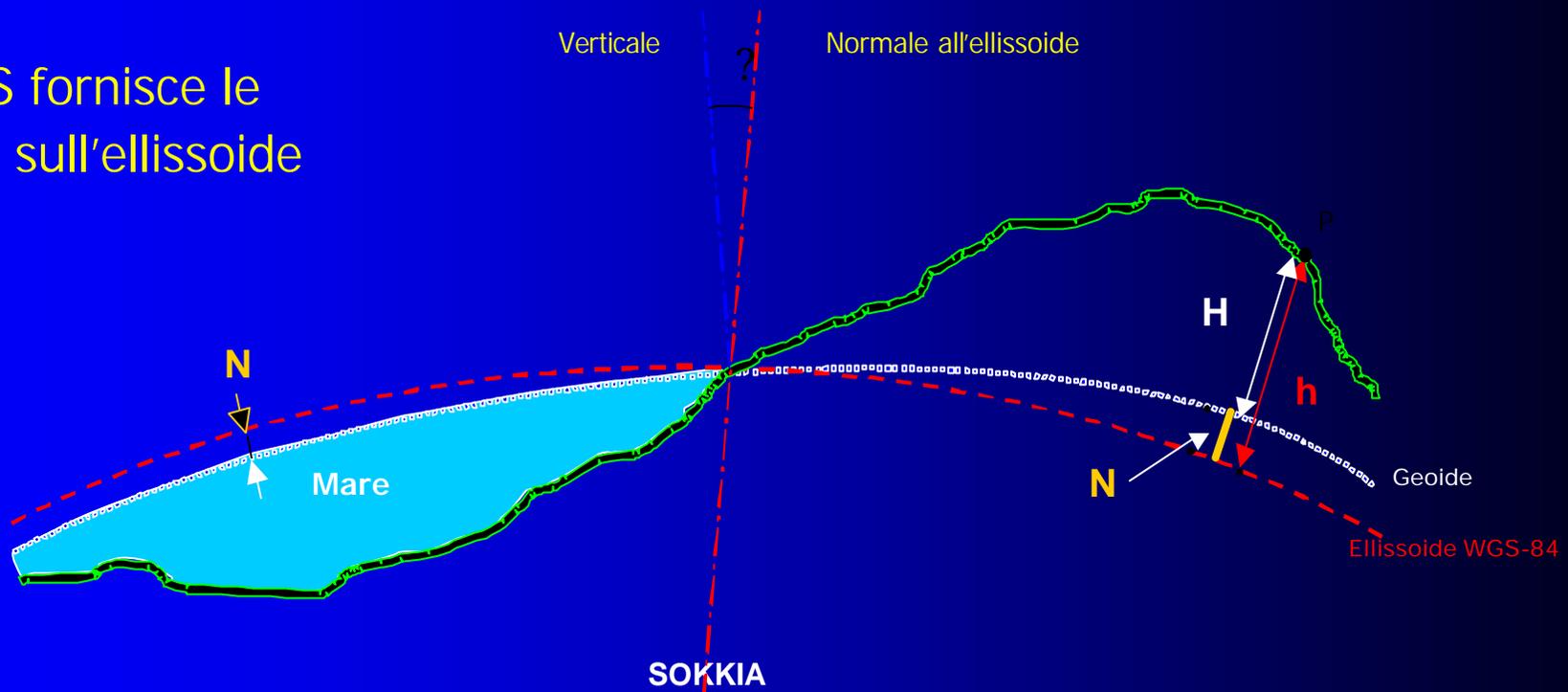
Un ellissoide nello spazio è caratterizzato dai seguenti elementi:

- dimensione: semiasse equatoriale, schiacciamento (2 elementi)
- sistema di riferimento: posizione del centro nello spazio (3 coordinate)
orientamento nello spazio, rotazioni attorno agli assi (3 rotazioni angolari)

Geoide ed ellissoide

- **Geoide:** superficie equipotenziale della Terra (superficie con uguale forza gravitazionale)
- **Ellissoide:** modello matematico della Terra, rappresenta in modo semplificato la superficie terrestre
- La distanza tra Ellissoide e Geoide (N) viene detta **ONDULAZIONE**: l'altezza di un punto sull' ellissoide (h) è diversa dalla quota sul Geoide (H).

Il GPS fornisce le
altezze sull'ellissoide



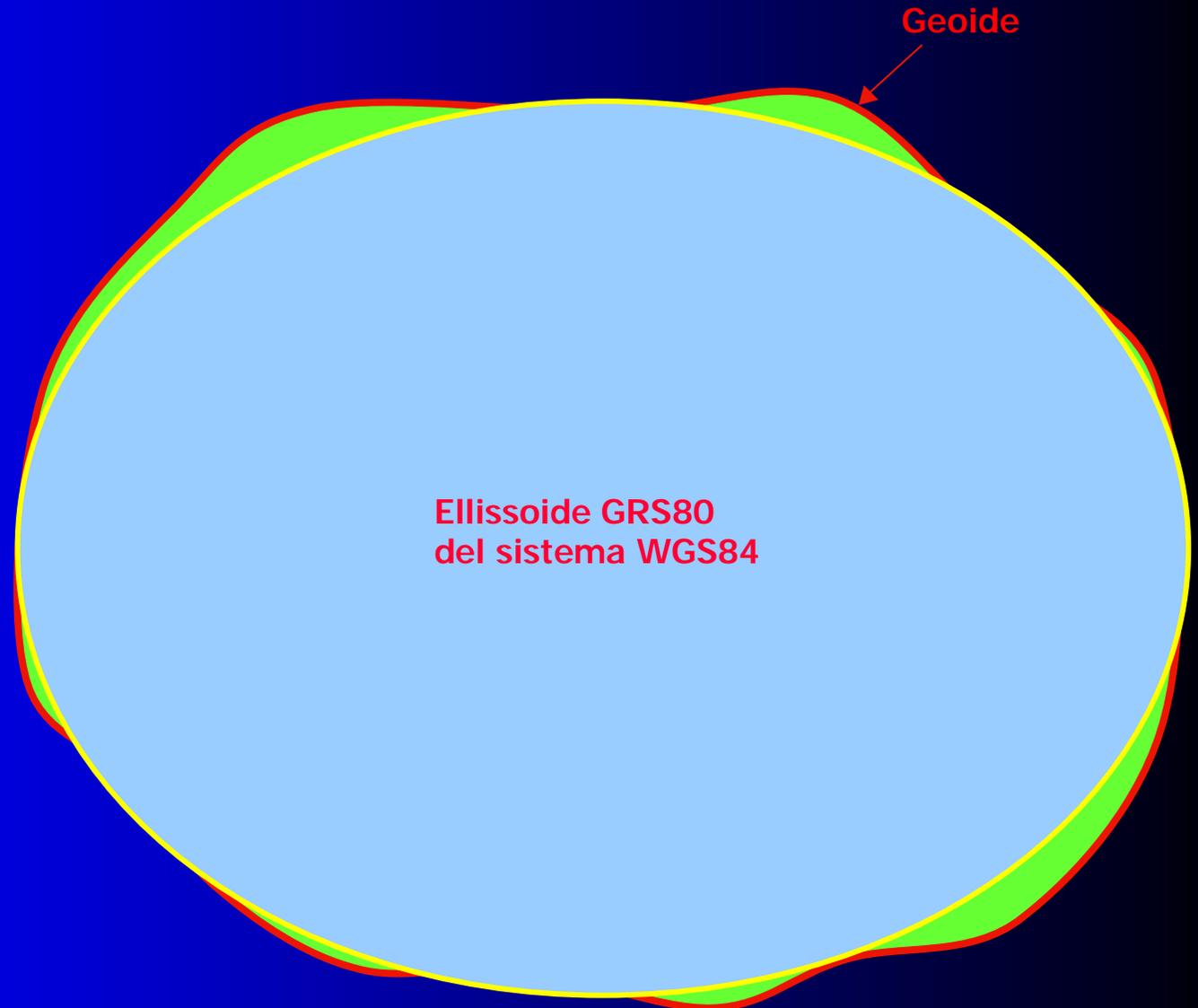
Sistema di riferimento WGS84

Il sistema **WGS84** è stato introdotto con il GPS:

utilizza l'**ellissoide geocentrico GRS80** per rappresentare la forma della terra.

Il GPS fornisce la posizione rispetto a questo sistema.

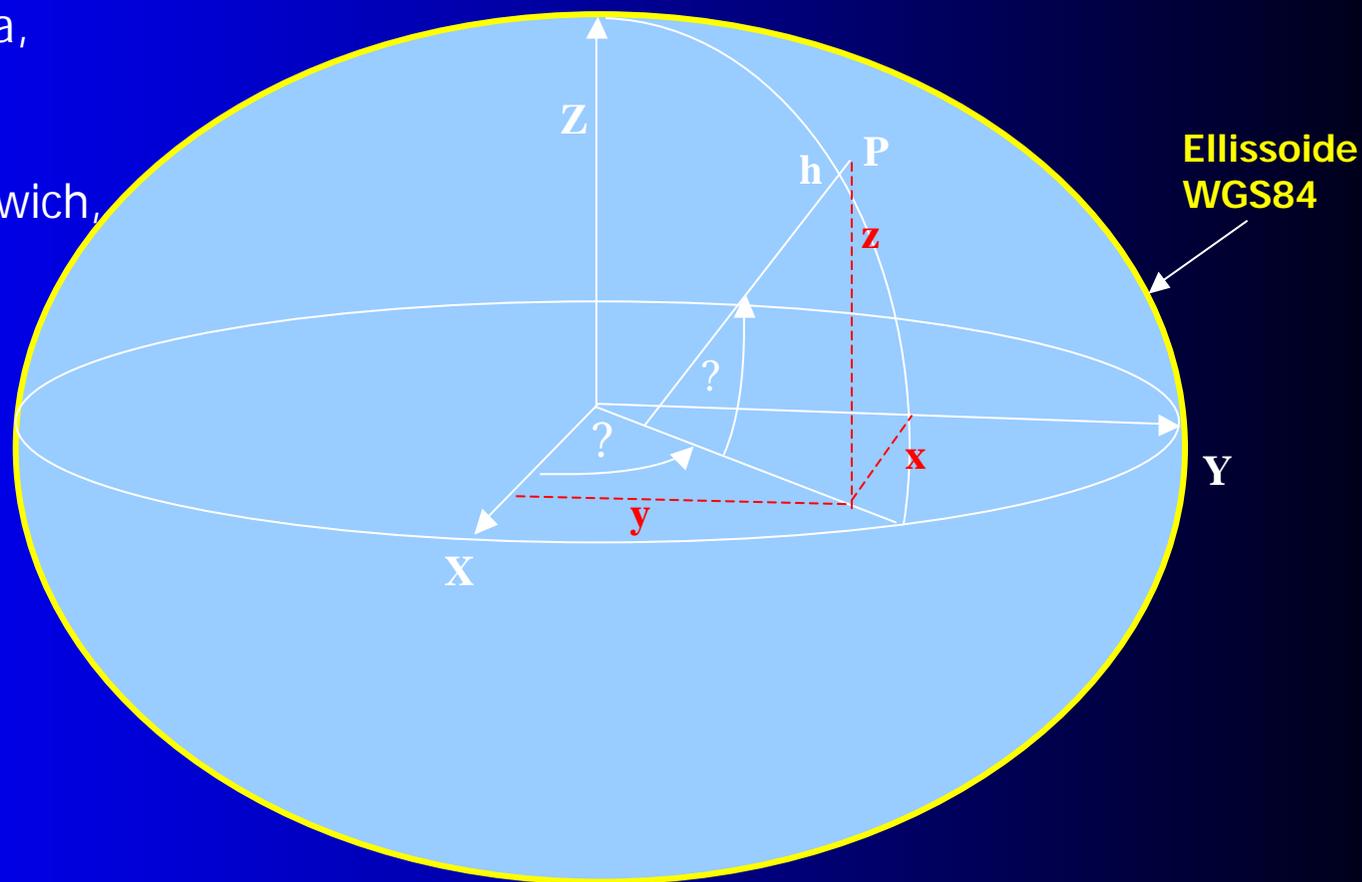
Il sistema ha validità mondiale.



Sistema di riferimento WGS84

Terna cartesiana destrorsa,
geocentrica:

asse X orientato su Greenwich,
asse Z verso il Polo medio
terrestre nel 1984



La posizione di un punto sulla terra nel sistema **WGS84** è data dalle:

- **coordinate geografiche** Latitudine, Longitudine e Altezza (h)
- **coordinate geocentriche** X, Y, Z

Materializzazione del sistema WGS84

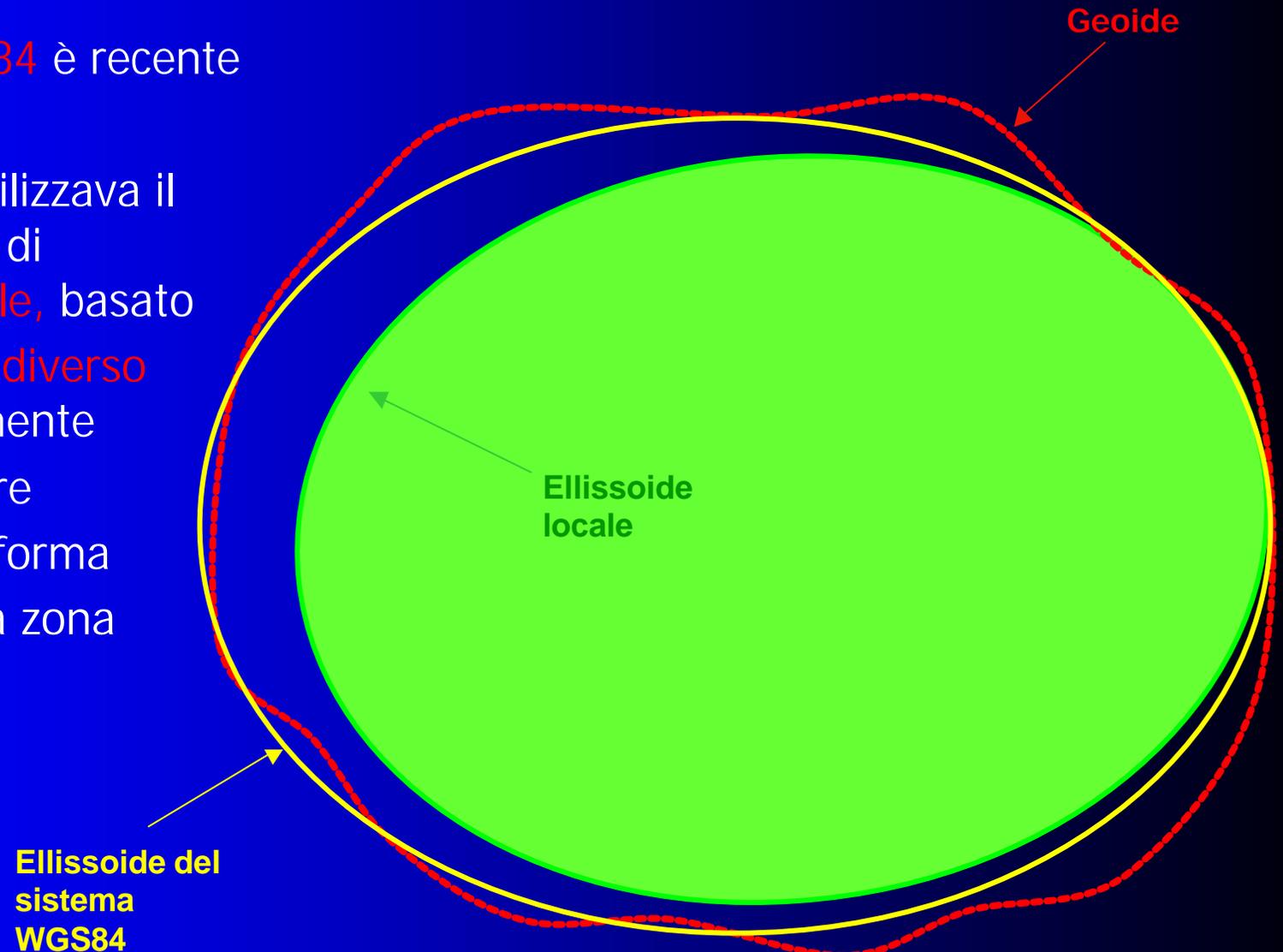
- Il sistema **WGS84** è materializzato dalle 10 stazioni di controllo permanenti del **NIMA**
- Il sistema di riferimento è l' **ITRS_{yy}** simile al WGS84:
terna cartesiana destrorsa, geocentrica, con asse X orientato verso Greenwich e l' asse Z verso il Polo medio terrestre al (1984.0)
- La sua materializzazione denominata **ITRF** è data da stazioni permanenti GPS, realizzazione **ITRF88** (1988.0) : informazioni sul sistema di riferimento, coordinate delle stazioni permanenti, effemeridi precise dei satelliti GPS

Materializzazione del sistema WGS84

- Fa parte del sistema **ITRS** il sistema europeo **ETRS** (European Terrestrial Reference System): **ETRF89** fa parte dell' ITRF-89 (89.0)
è solidale con la placca euro-asiatica
- Al sistema **ETRS89** è stato associato l'ellissoide di riferimento **GRS80**
- La sua materializzazione denominata **ETRF_{yy}** è data dalle stazioni permanenti GPS della rete **EUREF**: realizzazione **ETRF89** (1989.0)

Sistemi di riferimento locali

- Il sistema **WGS84** è recente
- Ogni nazione utilizzava il proprio sistema di riferimento **locale**, basato su un **ellissoide diverso** orientato localmente per approssimare meglio la reale forma della Terra nella zona

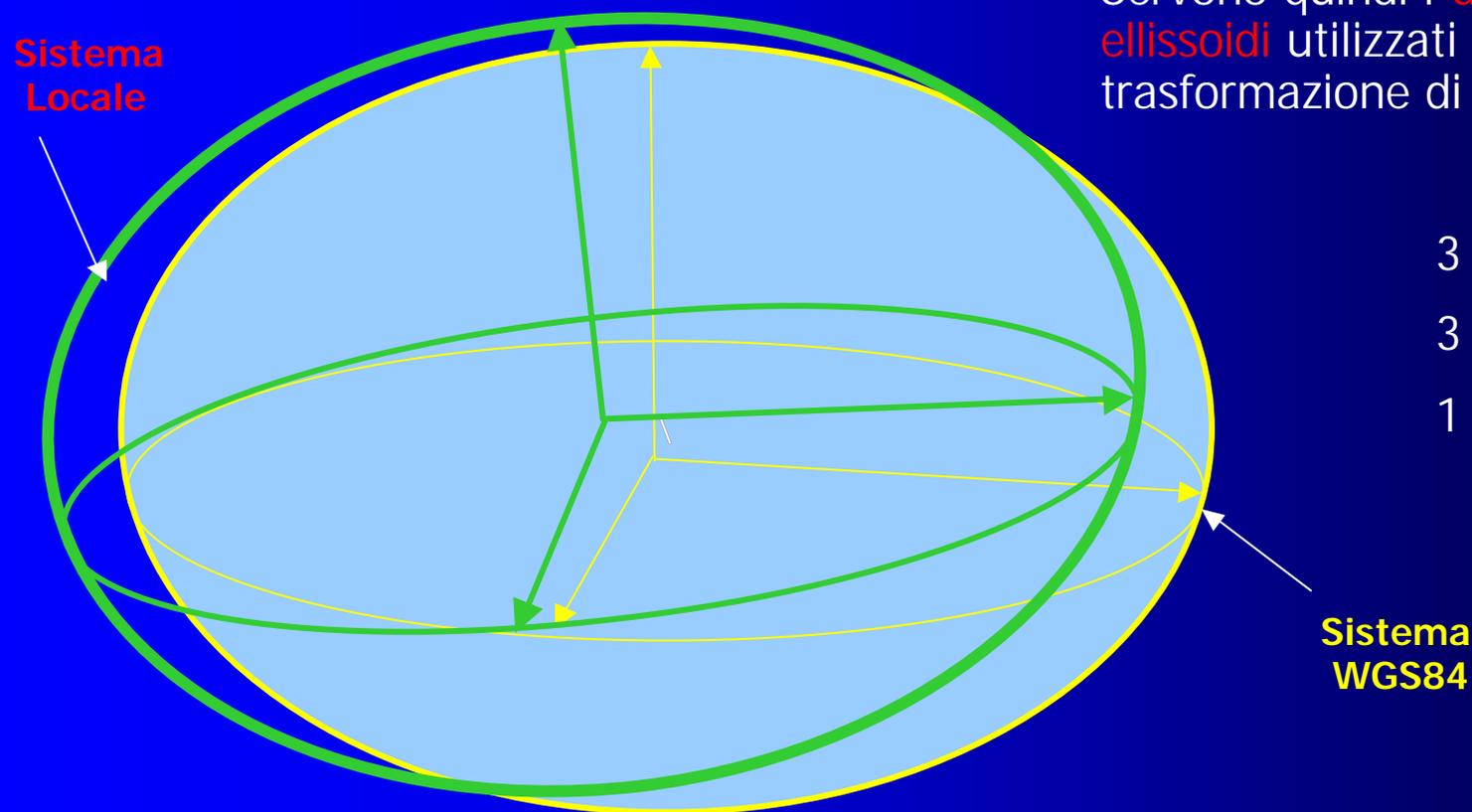


Trasformazione di coordinate tra sistemi ellissoidici

Dati i diversi sistemi di riferimento a cui sono riferite le coordinate GPS "WGS84" e Nazionali "Roma40", occorre disporre dei dati di trasformazione per passare da un sistema all'altro.

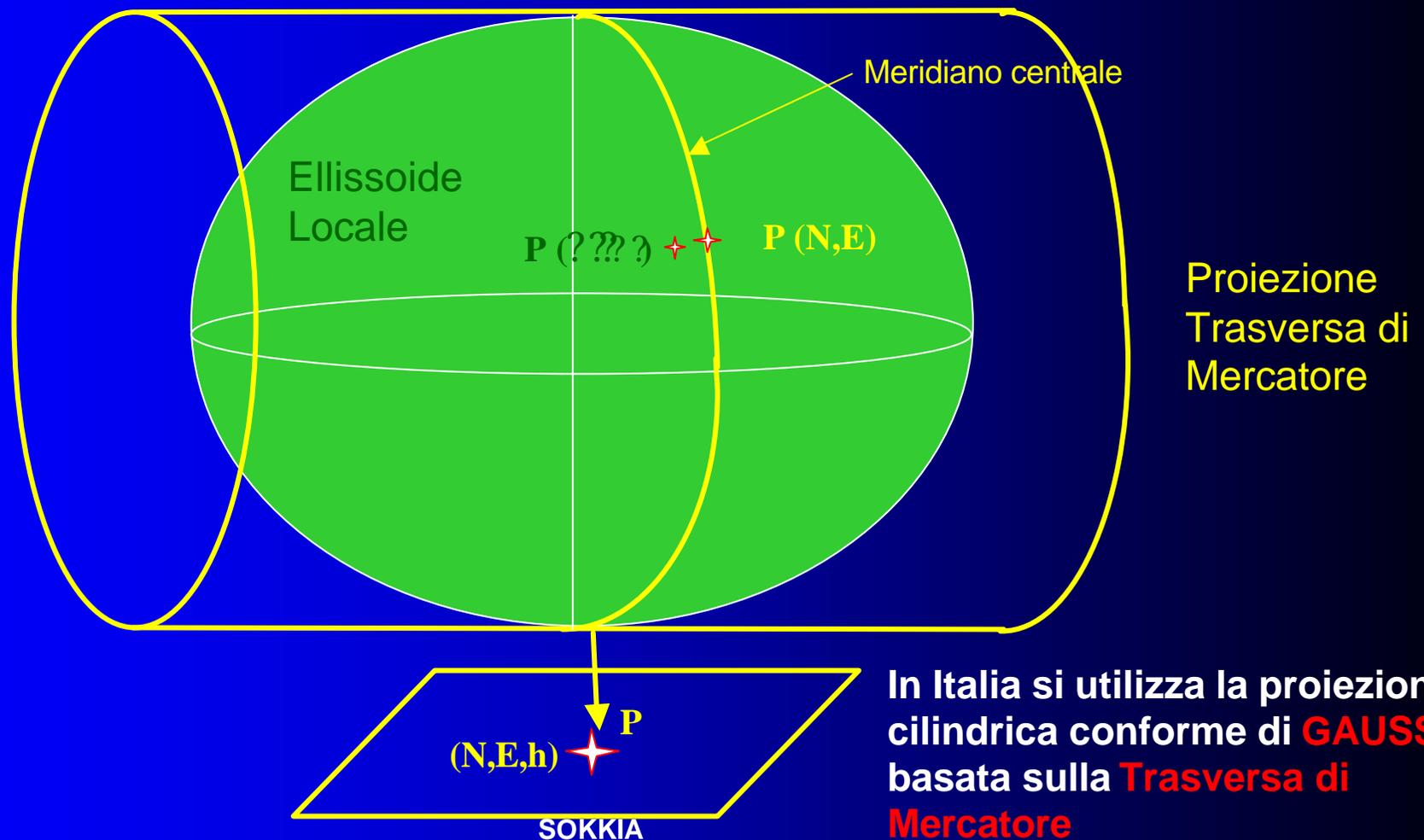
Servono quindi i **dati geometrici** degli **ellipsoidi** utilizzati e **7 parametri** di trasformazione di **DATUM** :

3 traslazioni: T_x, T_y, T_z ,
3 rotazioni: R_x, R_y, R_z
1 fattore di scala: K



Riduzione delle coordinate: ellissoidiche => piane

Le coordinate ellissoidiche nel sistema "Roma40" sono convertibili in coordinate piane
Le **coordinate ellissoidiche** di un punto (???) proiettate su un cilindro diventano **coordinate piane (N, E)**. La proiezione utilizzata è detta **Trasversa di Mercatore**



Rappresentazione cartografica di Gauss cartografia nazionale



Fuso ovest UTM32
Long. da 6° a 12°

Fuso ovest UTM33
Long. da 12° a 18°

Fuso ovest UTM34
Long. da 18° a 24°

Suddivisione dell'Italia in 3 fusi:
✍ Ampiezza dei fusi 6°

✍ Meridiani centrali:
Fuso ovest: 9° Long. Est Greenwich
-3°27' 08,400" da Monte Mario
Fuso est 15° Long. Est Greenwich
2°32'51,600" da Monte Mario

✍ Fuso ovest: falsa est 1500 Km
✍ Fuso est: falsa est 2520 Km
✍ Coeff. riduz. 0,9996

Sistema WGS84 e sistemi locali

- In pratica un punto sulla superficie terrestre può avere coordinate diverse perchè riferito a sistemi diversi:

Il sistema GPS **WGS84** basato sull' ellissoide **GRS80** è l'unico sistema a validità mondiale

La cartografia Europea **UTM** è riferita al sistema **ED50** e utilizza l'ellissoide **Internazionale 1924** (ellissoide di Hyford) orientato su Postdam

La cartografia Italiana **Gauss Boaga** è riferita al sistema **Roma 40** e utilizza l'ellissoide **Internazionale 1924** orientato su Roma M.Mario

Materializzazione del sistema Gauss-Boaga

- Il sistema italiano **Gauss-Boaga** era materializzato dalla rete di triangolazione fondamentale IGM 1°, 2° e 3° ordine (rete compensata a blocchi 1908-1919)
- Con l'avvento del GPS tali vertici sono risultati inadatti perché imprecisi (2-3 cm su scala locale, fino a 1m su scala nazionale), come se l'ellissoide presentasse graduali e continue deformazioni
- L' IGM ha creato una nuova rete di vertici trigonometrici di "ordine zero" realizzata con misure GPS **Rete IGM 95** inquadrata nel sistema ETRS in quanto alcuni punti della rete appartengono alla rete EUREF

Trasformazione tra sistema WGS84 e Gauss

Boaga: “il progetto IGM 95”

- Per effettuare le operazioni dette in precedenza e reperire i dati di trasformazione si utilizzano i punti IGM95
- Il progetto IGM 95 è la realizzazione sul territorio nazionale di una rete geometrica corretta per consentire all'utenza tecnica di utilizzare per fini topografici le metodologie GPS
- Ha consentito la determinazione delle relazioni tra i sistemi geodetici locali (Roma40, IGM 83, E50) ed il WGS84, con cui è stata stabilita una metodologia per il passaggio fra i vari sistemi in modo univoco e senza ambiguità
- E' stata inoltre migliorata la definizione del Geoide locale con misure di:
 - dislivelli ellissoidici fra caposaldi di livellazione
 - deviazione della verticale sui vertici della rete

RETE IGM95

- La rete è formata da oltre 1230 vertici tridimensionali di elevata precisione di cui:
 - 9 punti coincidenti con la rete EUREF
 - 641 coincidenti con i trigonometrici o irradiati
 - 423 livellati (Geotrav)
- I vertici detti "IGM 95" materializzano al meglio il sistema italiano Gauss-Boaga, considerando il fatto di dover inserire le misure GPS nella cartografia esistente
- La distanza media tra i vertici della rete IGM95 di circa 20 km, ossia un punto ogni 300 km², 4 vertici su ogni foglio in scala 1:100 000



Trasformazione tra sistema WGS84 e Gauss Boaga: “il progetto IGM 95”

- La monografia di un punto “IGM 95” riporta:
 - le coordinate Geografiche e Piane WGS84
 - le coordinate Geografiche e Piane (Roma40)
 - i 7 parametri di trasformazione per passare dal sistema WGS84 a quello nazionale (non più utilizzati)
- la quota ellissoidica (h)
- la quota ortometrica (sul livello del mare) (H)
(la loro differenza fornisce l'ondulazione del Geoide sull'Ellissoide) per la trasformazione approssimata delle quote GPS in quella zona

Trasformazione delle coordinate dal sistema WGS84 al sistema Gauss Boaga

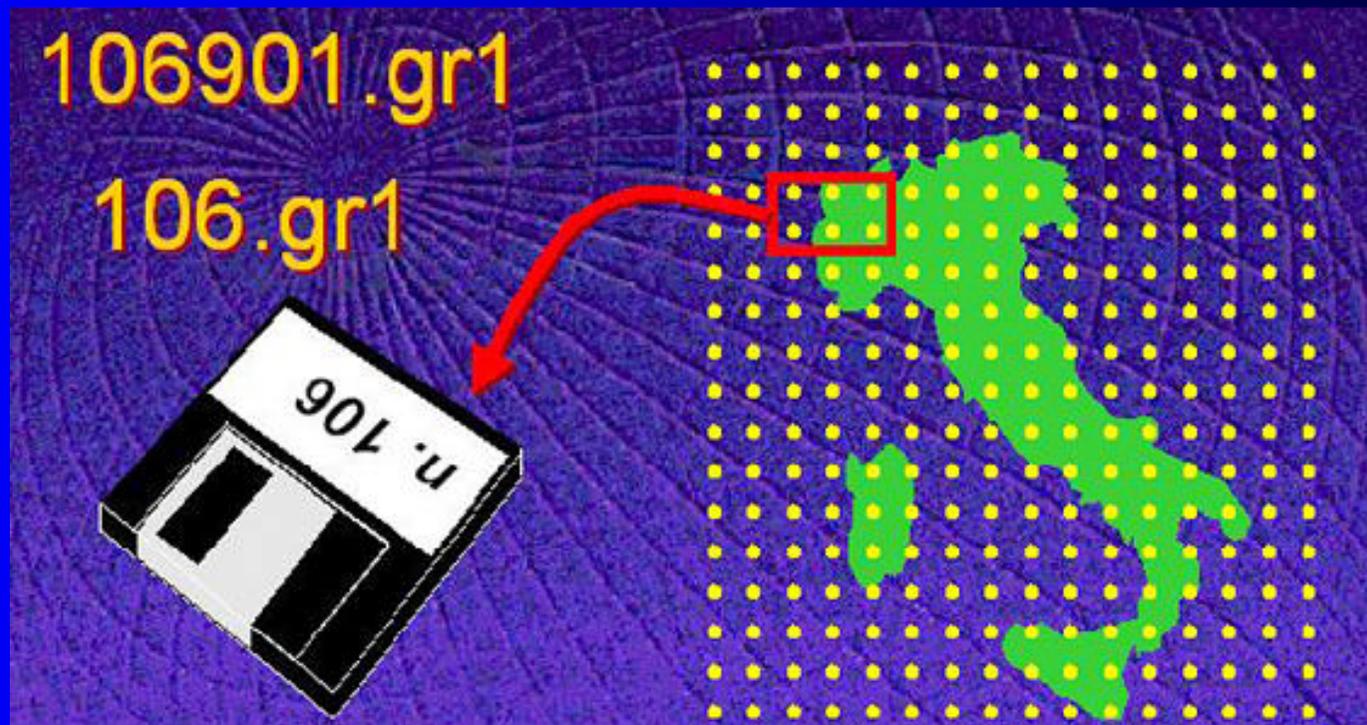
- I 7 parametri di un vertice IGM95 consentono di passare da coordinate WGS84 a coordinate Gauss Boaga nazionali
L' approssimazione di calcolo è centimetrica per punti entro 10 km dal vertice utilizzato
- L' utilizzo dei parametri di singoli vertici IGM95 genera differenze nel calcolo delle coordinate dei punti in zone di confine tra più vertici IGM
- Per uniformare la trasformazione, attualmente l' IGM fornisce dei grigliati di dati cartografici su file ed il software di gestione
- E' quindi possibile la trasformazione univoca tra sistemi planimetrici e la trasformazione delle quote ellissoidiche in geodetiche, tramite il modello di Geoide ITALGEO 99, ottenendo le quote sul livello del mare

Evoluzione del sistema IGM95 passaggio tra sistemi di riferimento

- Attraverso la definizione di una griglia a passo regolare delle differenze ?? e ?? fra i sistemi: ROMA 40 – ED50 e ROMA40 – WGS84 è stato messo a punto un nuovo metodo per il passaggio fra i sistemi ROMA40 – ED50 – WGS84 in modo univoco e senza ambiguità
- Nuovo metodo dei grigliati:
disponibile come servizio all'utenza e utilizzabile attraverso il software "VERTO"

Evoluzione dell' IGM95 passaggio tra sistemi di riferimento

la griglia è disponibile su porzioni di file



Evoluzione dell' IGM95 passaggio tra sistemi di riferimento

La griglia può essere interpolata con il software **VERTO2**

Viene fornito anche il modello di Geoide **Italgeo 99** per determinare le quote sul livello del mare

Verto2
versione 1.4 agosto 2003
Istituto Geografico Militare

Dal Sistema

- ROMA40 (Gauss-Boaga)
- ED50 (UTM)
- WGS84 (UTM)

Al Sistema

- ROMA40 (Gauss-Boaga)
- ED50 (UTM)
- WGS84 (UTM)

Da quote ellissoidiche → A quote geoidiche

Trasforma le quote

Input/Output

Da tastiera | Da file

Input/Output da tastiera
Input WGS84

- Geografiche
- Piane

$\varphi =$ 44° 43' 23.4560"
 $\lambda =$ 7° 13' 24.5690"
 $h =$ 128.234

Output Gauss-Boaga

- Geografiche
- Piane

N = 4 953 753.759
E = 1 359 337.641
H = 75.317

Zona di lavoro

c: [C:\Programmi\Verto2\Sarzana] | 045701.gr1
190.gr1
248.gr1

Foglio al 50.000 : 190

Long. da Roma -5° 31' -5° 05'
Long. da Greenwich 6° 56' 7° 22'

Limiti approssimativi della zona in cui è possibile operare

44° 50' | 44° 32'

Griglia ROMA40-ED50 2002 | Griglia ROMA40-WGS84 2002 | Griglia Geoide 1999 V.1

ESEGUI
ESCI

IGM - Servizio Geodetico - Renzo Maseroli

Trasformazione delle coordinate WGS84 in coordinate locali

Metodo di trasformazione da coordinate WGS84 in coordinate locali
(es. integrazione con GPS di rilievo esistente effettuato con stazione totale):

In post-processing

- identificare sul terreno almeno 2 o meglio 3/4 punti noti in coordinate piane locali
- misurare con il GPS i punti noti
- trasformare le coordinate da WGS84 a piane e poi effettuare una rototraslazione piana con il software di post-processing

In Real time

Nei rilievi **RTK** viene effettuata una procedura detta calibrazione:

- inserire le coordinate dei punti noti nel controller GPS
- misurare con il GPS i punti noti
- calcolare la trasformazione con il software del controller GPS

In questo modo si determinano:

i parametri di trasformazione tra coordinate GPS e locali
il piano d'interpolazione delle quote GPS