

---

*Borgogno Mondino 2023*

**GEOMATICA**  
*Borgogno Mondino 2023*

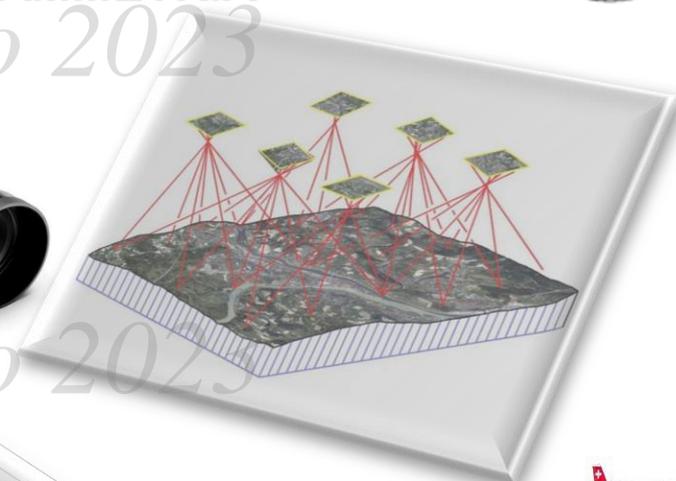
**A.A. 2023-24**

*Borgogno Mondino 2023*

*Borgogno Mondino 2023*

## FOTOGRAMMETRIA

## CARTOGRAFIA DIGITALE



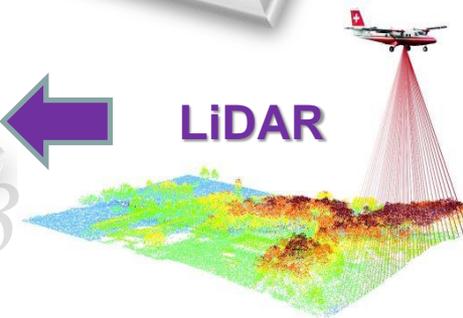
## TELERILEVAMENTO



## GIS



## LIDAR



## RILIEVO



## GNSS



## *Borgogno Mondino 2023*

La **superficie fisica terrestre** e gli oggetti che la ricoprono definiscono una geometria irregolare e discontinua impossibile da definire analiticamente.



## *Borgogno Mondino 2023*

Impossibile stabilire la posizione relativa o assoluta di punti, calcolare aree o misurare distanze e angoli direttamente sulla superficie terrestre



## *Borgogno Mondino 2023*

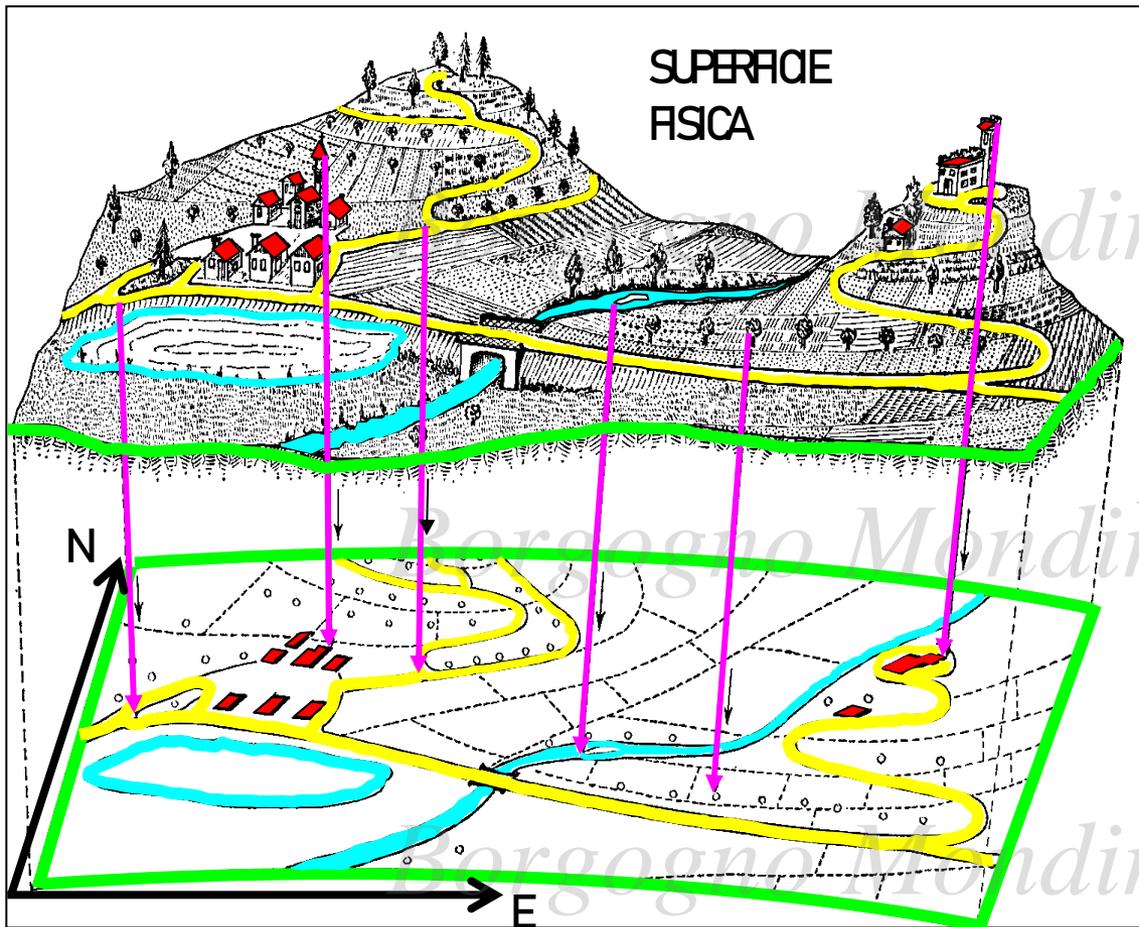
superficie di riferimento: approssimazione comoda per la formalizzazione matematica dei problemi di misura



## *Borgogno Mondino 2023*

La superficie di riferimento deve poi poter essere sviluppata sul piano per darne rappresentazione grafica → CARTE

## Borgogno Mondino 2023



I passaggi sono i seguenti:

- Dalla superficie fisica ad una superficie geometrica di riferimento, descrivibile matematicamente e sulla quale muoversi con una geometria nota (**GEODESIA**)
- Dalla superficie geometrica di riferimento alla sua rappresentazione nel piano (**CARTOGRAFIA**)

Tutto funziona se la geometria è inserita all'interno di opportuni **sistemi di coordinate**!!

## Borgogno Mondino 2023

**Geoida:** definisce la forma fisica della superficie terrestre come sarebbe se interamente ricoperta dalle acque. È la superficie equipotenziale del campo gravitazionale (le linee del campo terrestre, la verticale, sono perpendicolare punto per punto a tale superficie). È il riferimento per le QUOTE (altimetria).

## Borgogno Mondino 2023

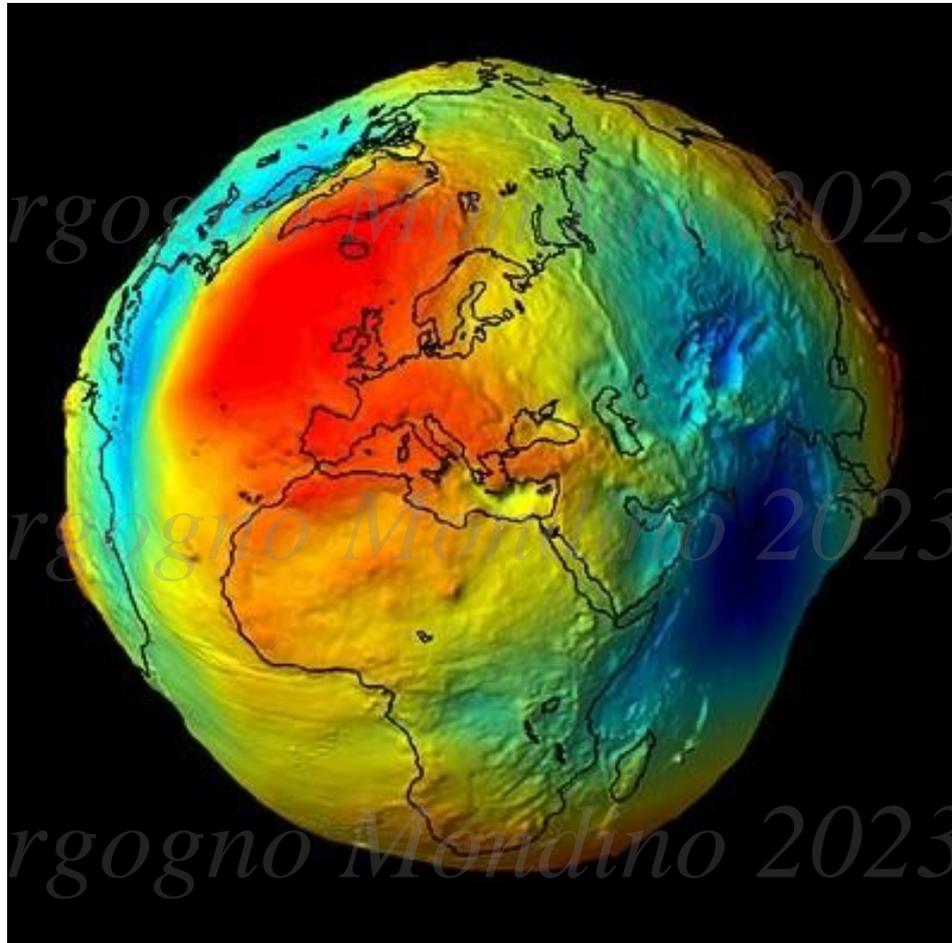
**Ellissoide:** definisce la forma geometrica, analiticamente formalizzabile (ellissoide di rotazione), della superficie terrestre (ne è, dunque, una approssimazione).

**DATUM** un particolare posizionamento dell'ellissoide nello spazio, definisce un DATUM. Pertanto DATUM diversi possono riferirsi allo stesso ellissoide (vedi seguito). Tale posizionamento è operato dai diversi sistemi nazionali in modo da minimizzare la distanza tra superficie fisica (Geoida) e superficie analitica (ellissoide) sul proprio territorio nazionale.

## Borgogno Mondino 2023

**Proiezione:** è il processo attraverso il quale una superficie tridimensionale (ellissoide), non sviluppabile nel piano senza deformazioni, viene proiettata su un piano (quello del foglio). Esistono diversi approcci e modelli proiettivi che definiscono altrettanti sistemi di riferimento piani.

# CENNI DI GEODESIA



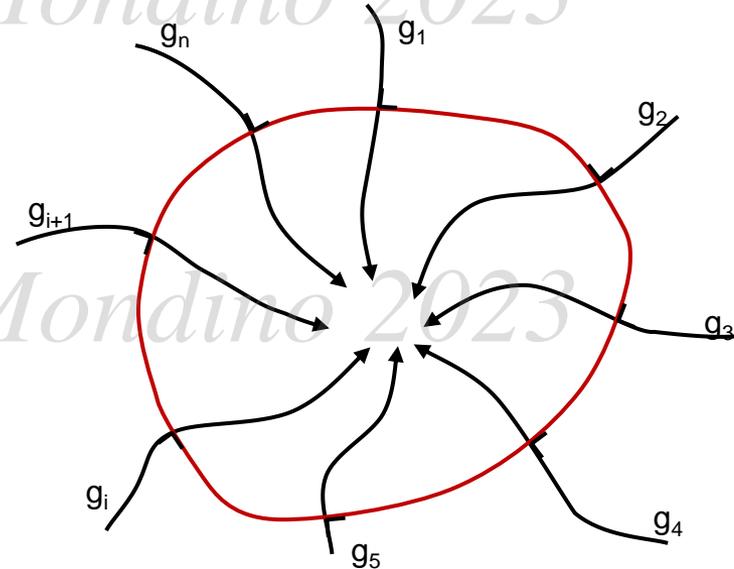
La superficie geometrica assunta come riferimento è detta **GEOIDE**

IL GEOIDE è definito come:

“la superficie che in ogni punto è normale (perpendicolare) alla direzione della verticale fisica e coinciderebbe con la superficie dei mari, opportunamente prolungata sotto le terre emerse, qualora l'acqua avesse la stessa temperatura, la stessa densità e non esistessero le perturbazioni dovute alle correnti, ai venti e alle maree”

oppure

“una superficie equipotenziale del campo gravitazionale passante per un determinato punto a cui viene attribuita quota nulla. Questo punto è definito in modo assoluto da un mareografo”



In ogni punto del geoide si realizzerà un valore di

**forza di gravità  $g(X_p, Y_p, Z_p)$** , diverso sia in modulo che in direzione e verso. La distribuzione spaziale seguita da tutti i vettori gravità ( $g$ ) definisce un CAMPO di FORZE (GRAVITAZIONALE).

**CAMPO di FORZE:** rappresentazione vettoriale che descrive direzione e modulo della forza in ogni punto dello spazio. Le linee di forza curve definiscono la VERTICALE in un punto.

Poiché il GEOIDE rappresenta una superficie nello spazio tridimensionale  $V(X, Y, Z)$ , l'equazione che lo descrive fa riferimento ad un sistema di coordinate cartesiane  $(X, Y, Z)$ , dette coordinate **GEOCENTRICHE CARTESIANE**, che convenzionalmente è così definito:

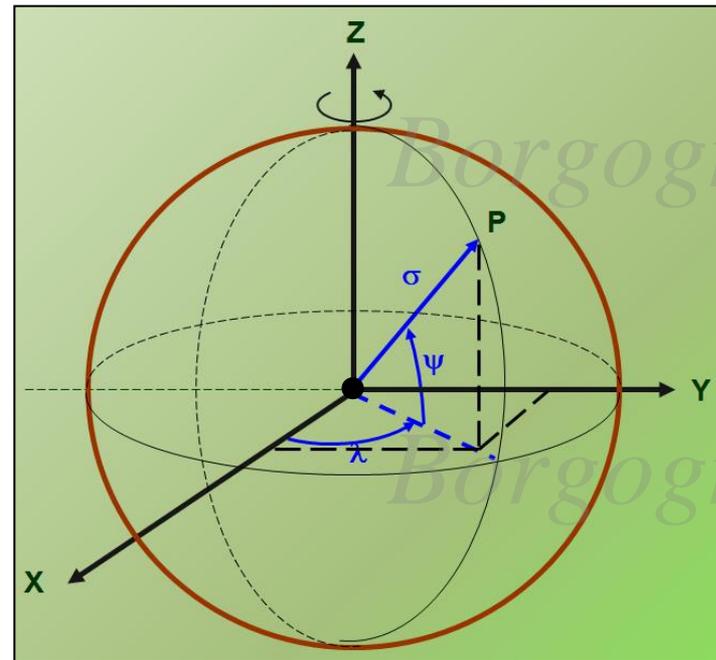
- asse **Z** = asse principale d'inerzia (asse di rotazione terrestre)
- asse **X** = meridiano convenzionale di riferimento (Greenwich)
- asse **Y** a formare una terna destrorsa

Esiste anche la possibilità di definire la posizione di un punto P, secondo una terna di **COORDINATE GEOCENTRICHE POLARI**  $G(\sigma, \psi, \lambda)$  ottenibili da quelle cartesiane nel seguente modo:

$$X = \sigma \cos \psi \cos \lambda$$

$$Y = \sigma \cos \psi \sin \lambda$$

$$Z = \sigma \sin \psi$$



Il GEOIDE è il luogo dei punti per cui il potenziale del campo gravitazionale è costante

Poiché la determinazione di  $V(x,y,z)$  passa attraverso la soluzione di un integrale triplo in cui una delle incognite è la densità terrestre ( $\rho$ ) il cui valore cambia all'interno della Terra da punto a punto in modo non conoscibile, l'integrale risulta irrisolvibile.

$$V(X,Y,Z) = \iiint \frac{\rho(x,y,z) dx dy dz}{\sqrt{[(X_p - a)^2 + (Y_p - b)^2 + (Z_p - c)^2]}}$$

Pertanto bisogna rinunciare all'utilizzo del GEOIDE come superficie di riferimento perché non siamo in grado di definirne la formulazione matematica con sufficiente precisione.

*Borgogno Mondino 2023*

$$\frac{X^2 + Y^2}{a^2} + \frac{Z^2}{b^2} = 1$$

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$$

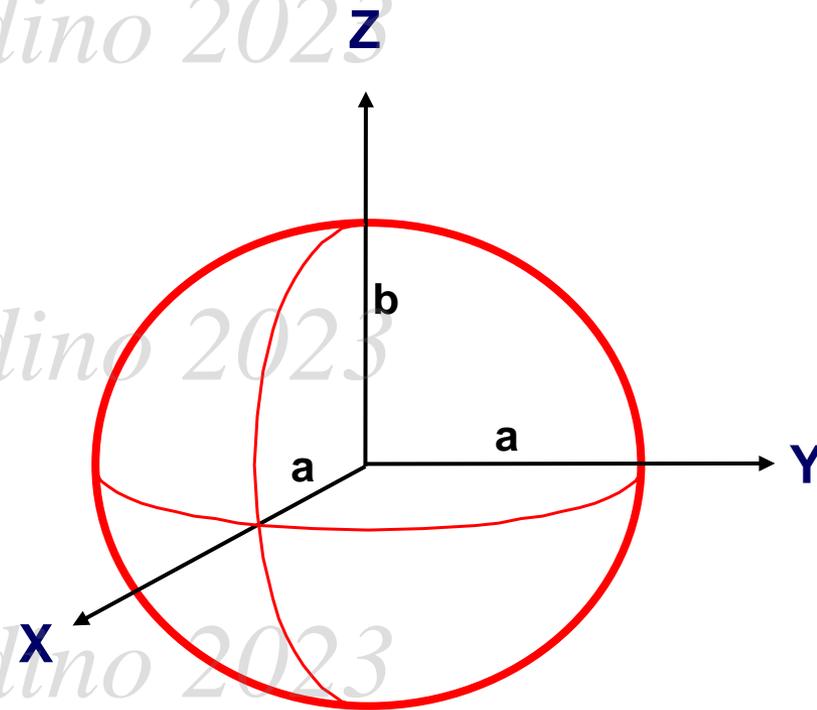
Il parametro  $\alpha$  si dice  
schiacciamento

$a$  = semiasse equatoriale

$b$  = semiasse polare

La cartografia italiana ufficiale ha fatto riferimento a tre  
ellissoidi differenti nel corso della sua storia:

- **BESSEL 1841** ( $a=6377397.15$ ,  $b=6356082.17$ )
- **HAYFORD 1924** ( $a=6378388$ ,  $b=6356911.95$ )
- **WGS - 84** ( $a=6378137.00$ ,  $b=6356752.31$ )



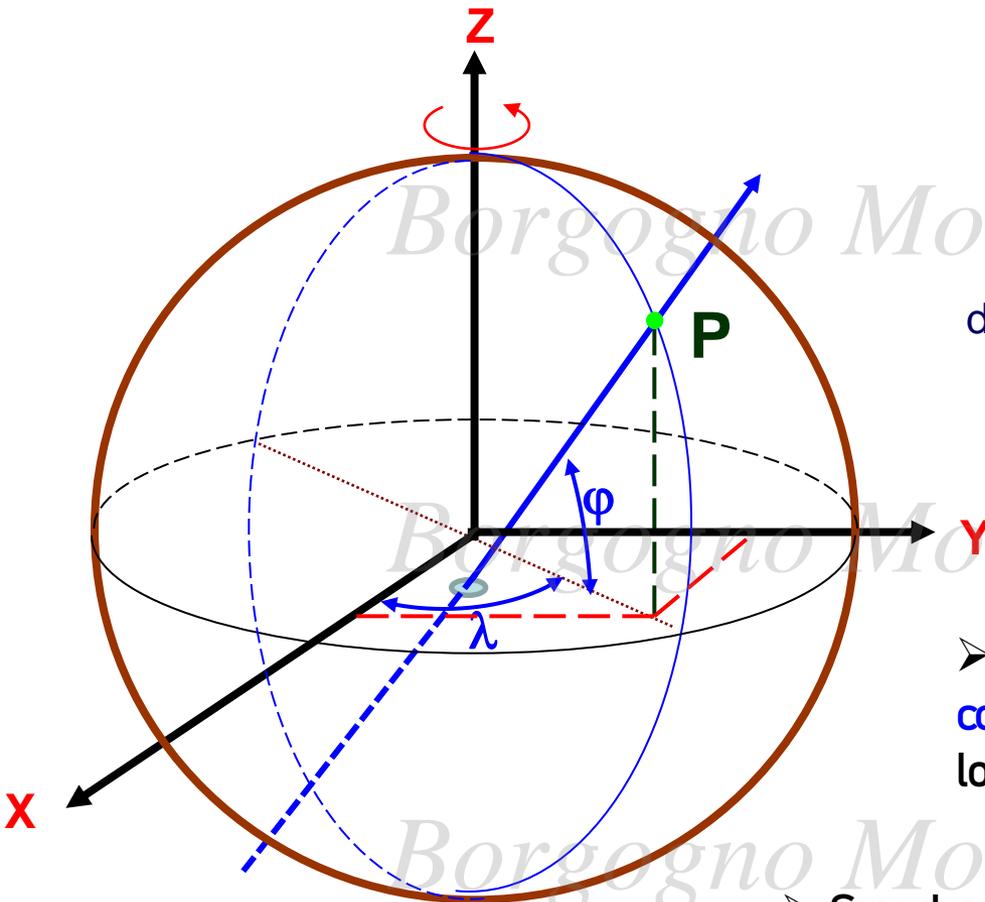
## EQUAZIONI PARAMETRICHE

$$\begin{cases} X = \frac{a \cos \varphi \cos \lambda}{W} = X(\varphi, \lambda) \\ Y = \frac{a \cos \varphi \sin \lambda}{W} = Y(\varphi, \lambda) \\ Z = \frac{a(1 - e^2) \sin \varphi}{W} = Z(\varphi, \lambda) \end{cases}$$

dove:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} = 1 - \frac{b^2}{a^2} \quad \text{Eccentricità}$$

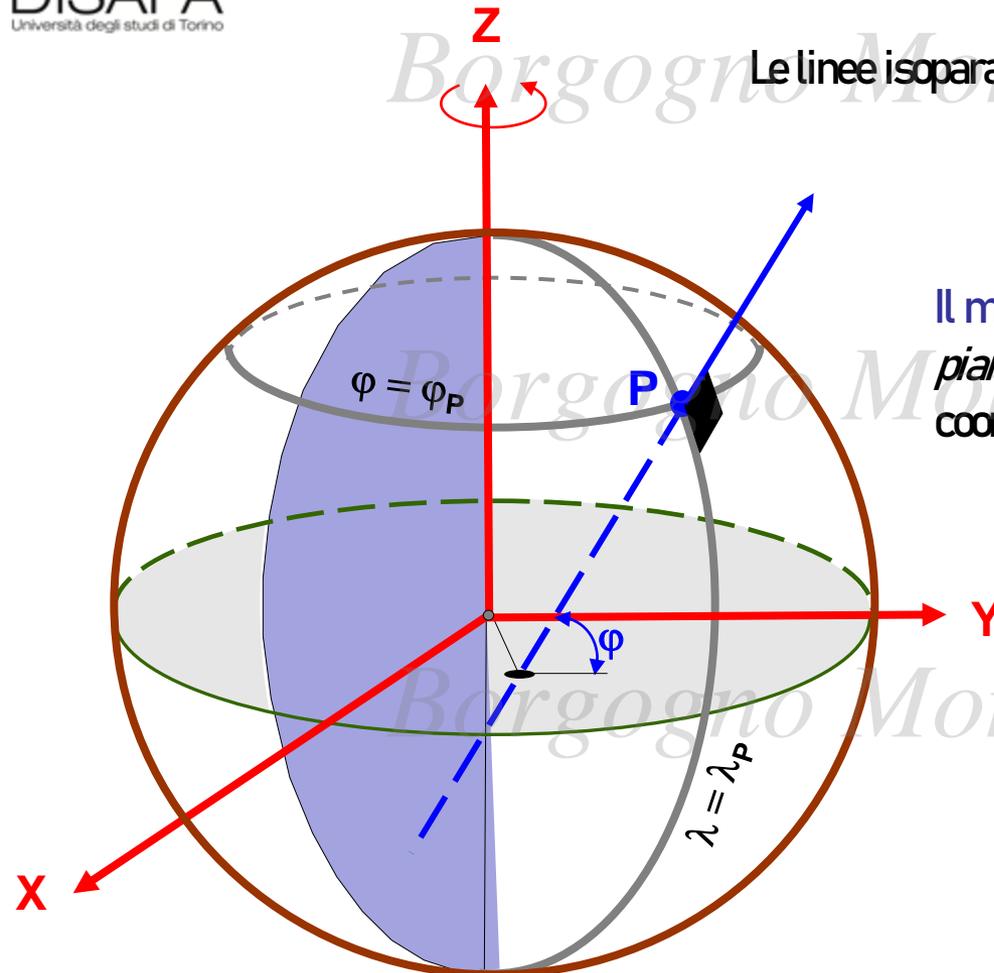
$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$



➤ Le coordinate parametriche  $\varphi, \lambda$  si chiamano **coordinate GEOGRAFICHE ellissoidiche** (latitudine e longitudine)

➤ Sono due valori angolari che definiscono la direzione, nello spazio, della **normale all'ellissoide** nel punto considerato

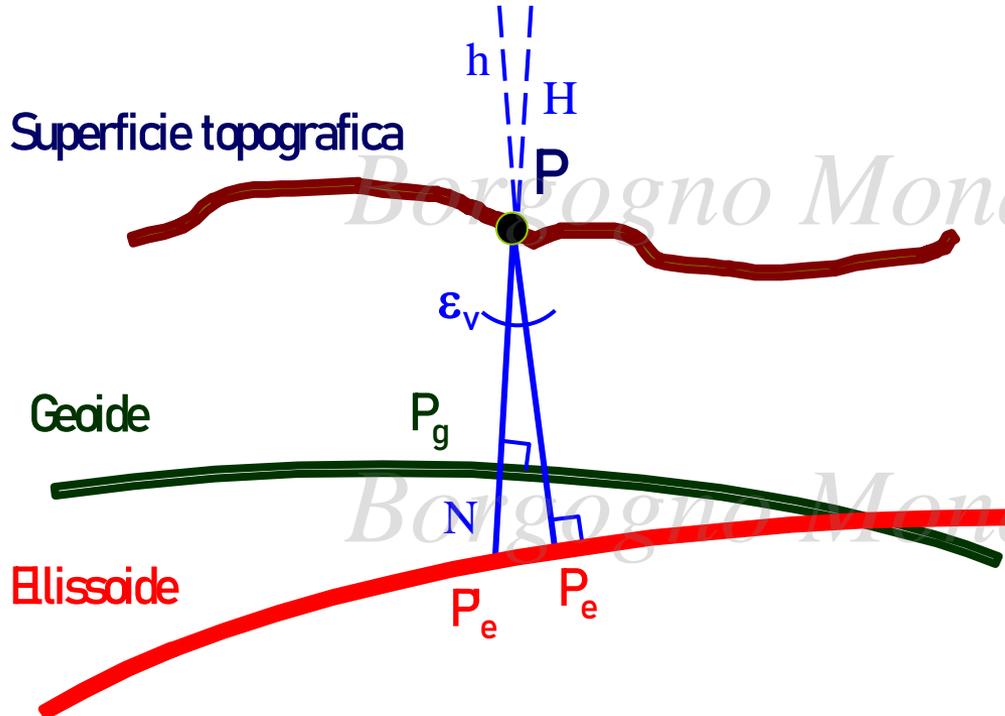
Le linee isoparametriche ( $\lambda$  e  $\varphi = \text{cost}$ ): PARALLELI EMERIDIAN



Il meridiano ( $\lambda = \text{cost}$ ) è definito dalla intersezione fra il *piano meridiano* che forma un angolo  $l$  con il piano coordinato XZ, e l'ellissoide. È un semi-ellisse.

Il parallelo ( $\varphi = \text{cost}$ ) è definito dall'intersezione fra il **cono** di semiapertura  $\pi/2 - \varphi$  e l'ellissoide. È una circonferenza!

## ONDULAZIONE DEL GEOIDE (N)



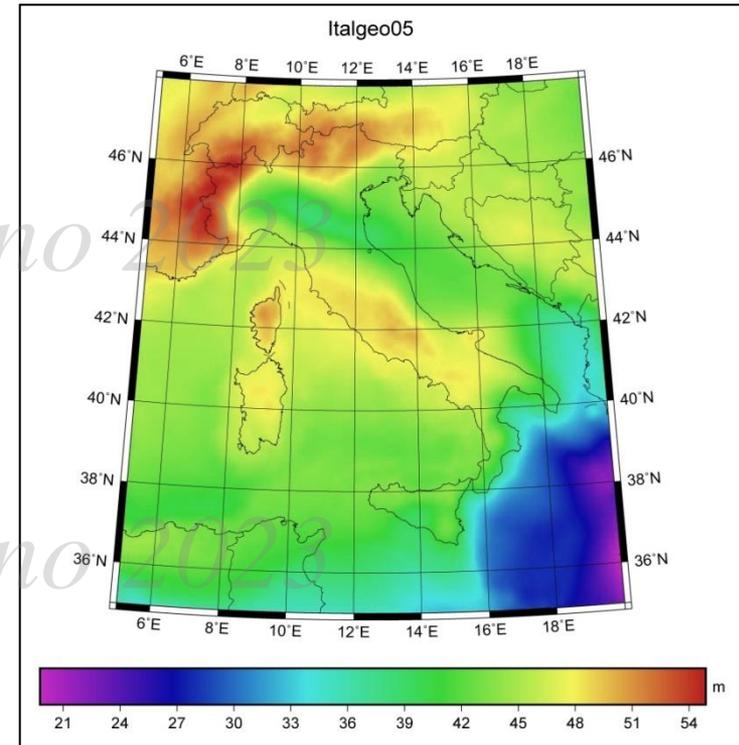
$h$  = quota ellissoidica

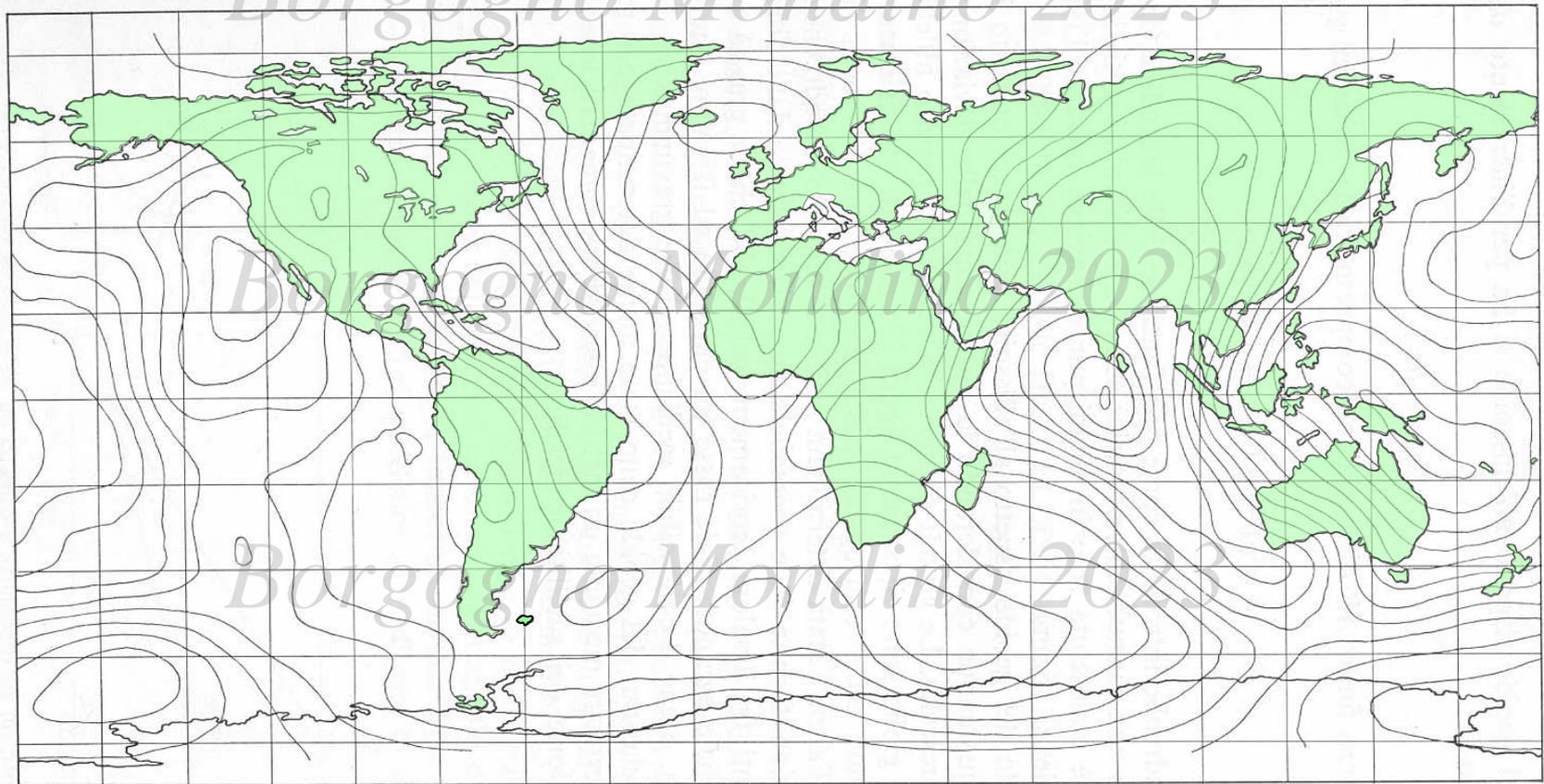
$H$  = quota ortometrica

$N$  = Ondulazione del Geoid

$\varepsilon_v$  = Deviazione della verticale

$$N \approx h - H$$





Le curve di livello rappresentano gli iso-scostamenti fra ellissoide e geoidi (equidistanza 10 m)

# PROIEZIONI

## Rappresentazione piana dell'ellissoide

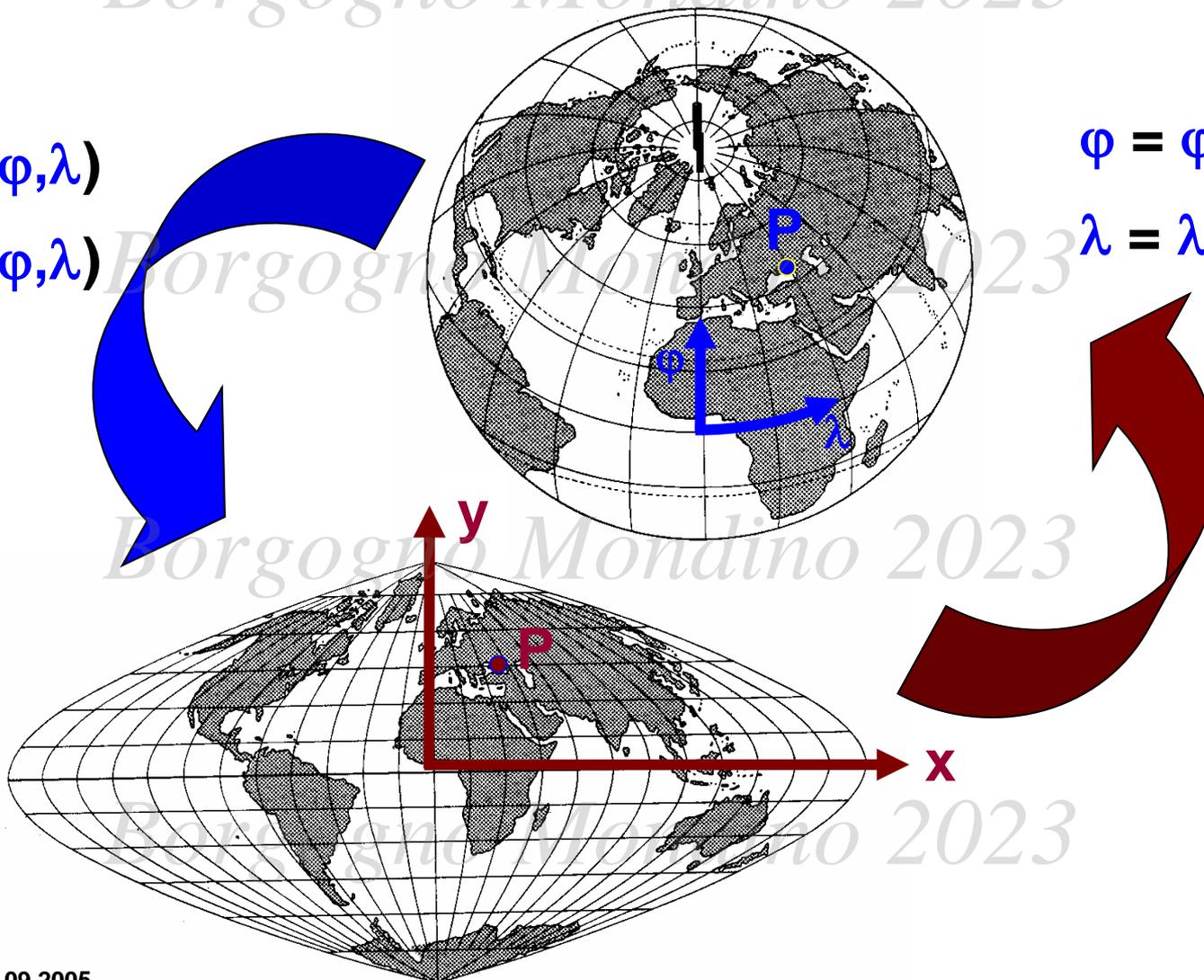
*Borgogno Mondino 2023*

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

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

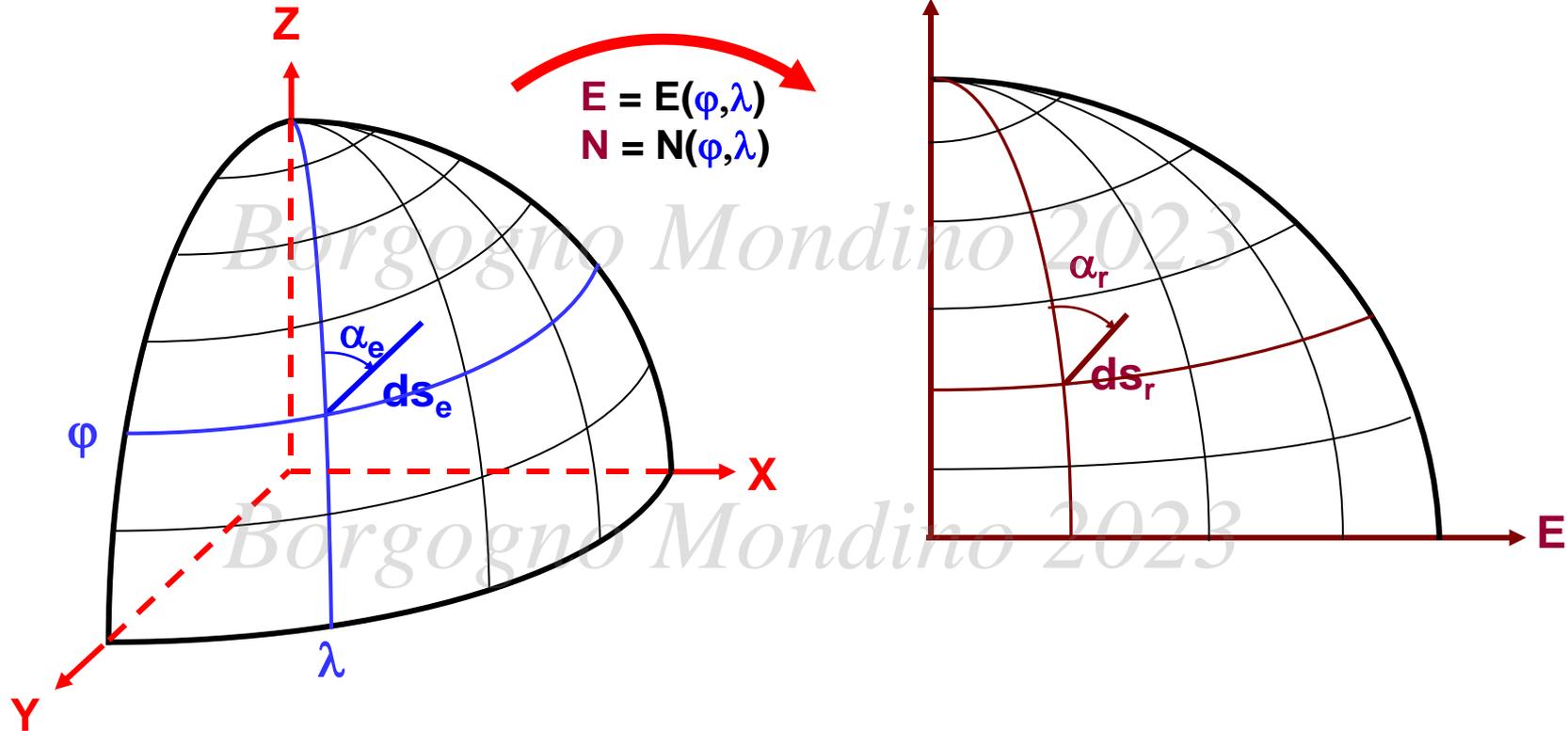
$$\varphi = \varphi(x, y)$$

$$\lambda = \lambda(x, y)$$

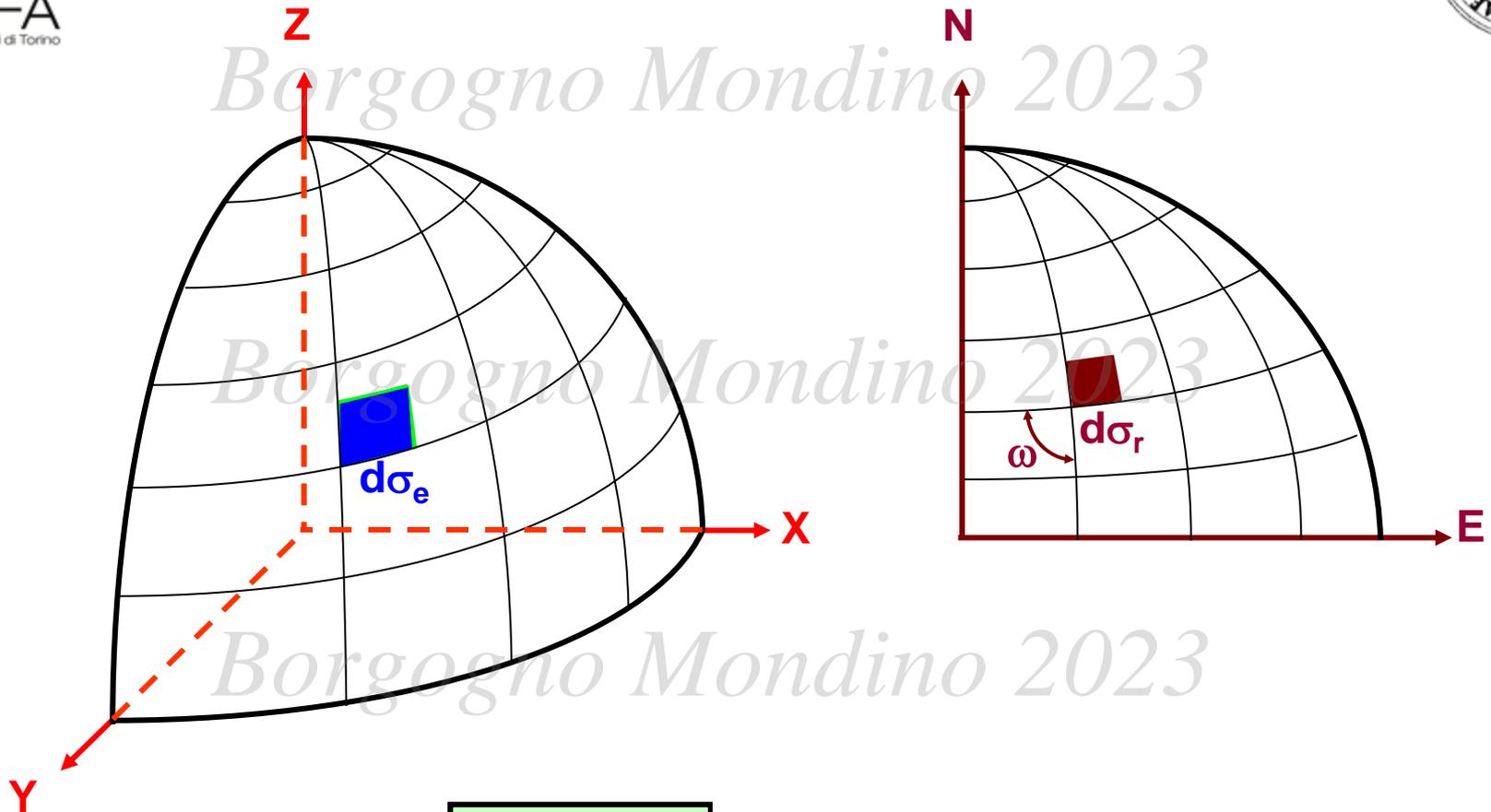


ELLISSOIDE (realtà)

CARTA

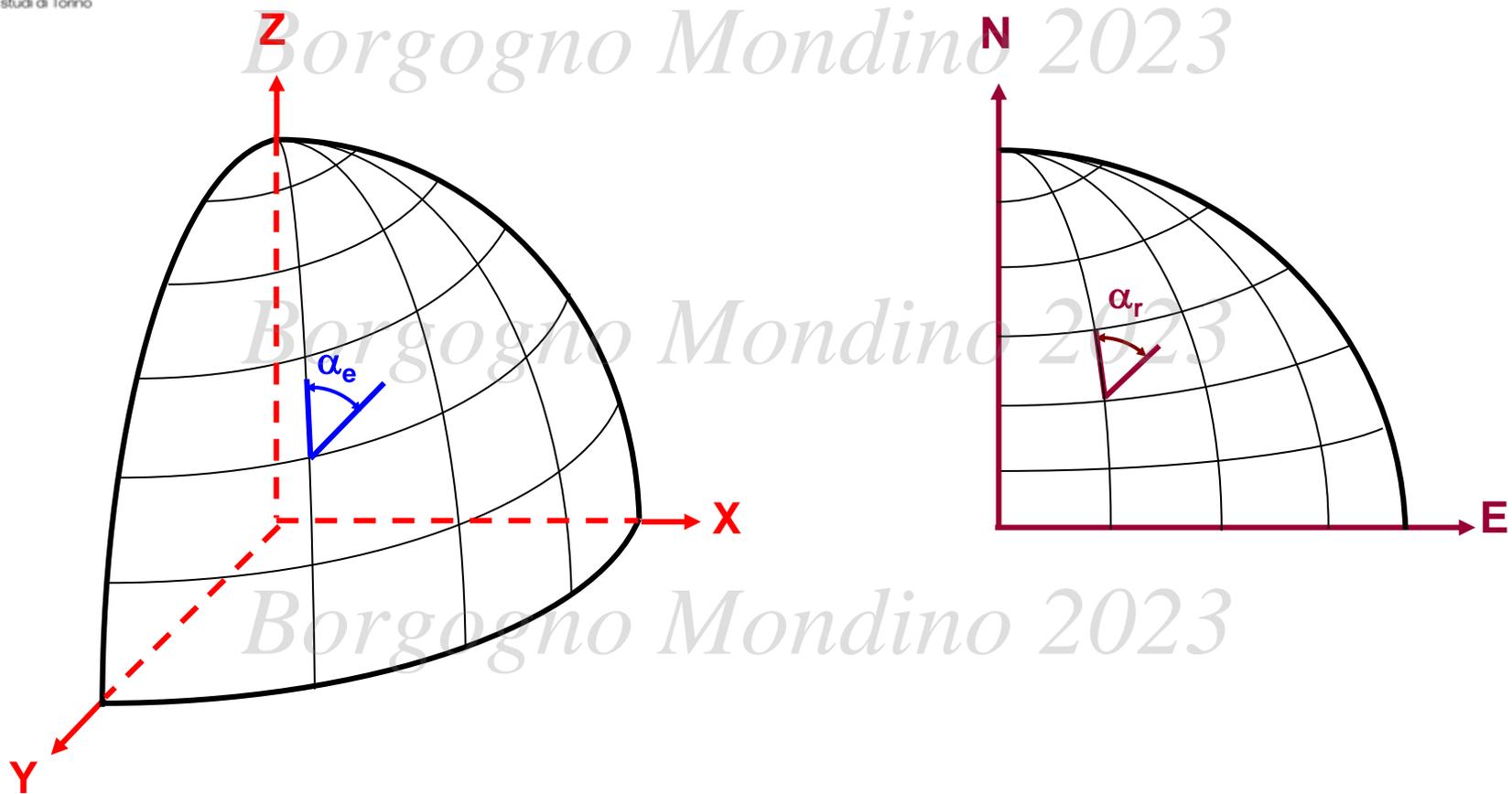


$$m = \frac{ds_r}{ds_e} \quad \text{modulo di deformazione lineare}$$



$$m_A = \frac{d\sigma_r}{d\sigma_e}$$

modulo di deformazione areale



$$\delta = \alpha_r - \alpha_e$$

Modulo di deformazione angolare

## *Borgogno Mondino 2023*

### ISOGONICHE O CONFORMI:

gli angoli non si deformano ( $\delta = 0$ ) in tutti i punti della carta

il **modulo di deformazione lineare**  $m$  varia da punto a punto, non con la direzione

## *Borgogno Mondino 2023*

### EQUVALENTI:

le aree non si deformano, ossia  $m_A = 1$  in ogni punto della carta

### EQUDISTANTI:

non deformano le distanze ( $m=1$  in ogni punto). **Non esistono!**

## *Borgogno Mondino 2023*

### AFLATTICHE

sono una soluzione di compromesso: non deformano troppo né gli angoli, né le aree

## *Borgogno Mondino 2023*

PROIEZIONI SU SUPERFICI PIANE O SVILUPPABILI:

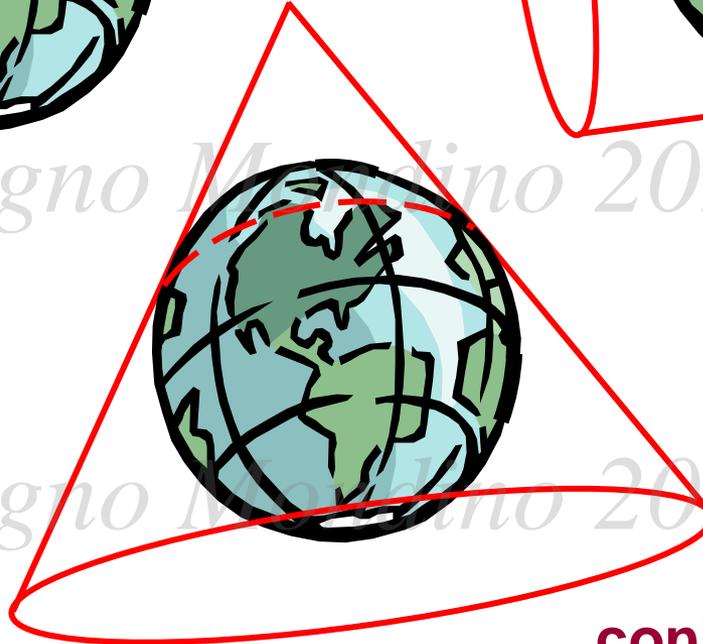
**piana**



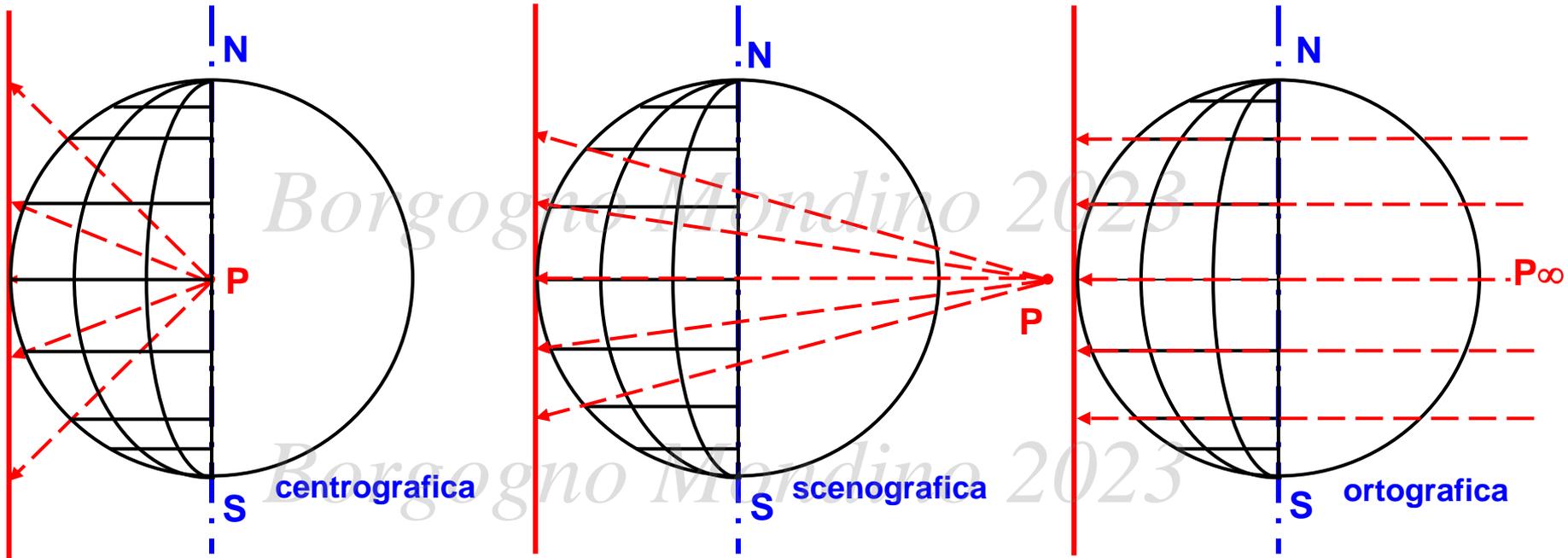
**cilindrica**



**conica**



*Borgogno Mondino 2023*



*Borgogno Mondino 2023*

Sistema di riferimento =  $f$ (Datum, Proiezione)

## Coordinate Geografiche

Coordinate riferite ad un DATUM (ellissoide orientato)

$\varphi$  = latitudine (gradi)

$\lambda$  = longitudine

$h$  = quota ellissoidica

## Coordinate Cartografiche/chilometriche/piane

Coordinate riferite ad un sistema cartesiano piano

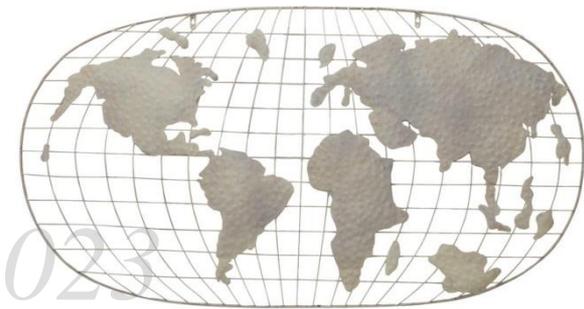
$E$  = Est (metri)

$N$  = Nord

$H$  = quota ortometrica



La cartografia ITALIANA moderna (catasto escluso) utilizza 2 ellissoidi e 3 DATUM



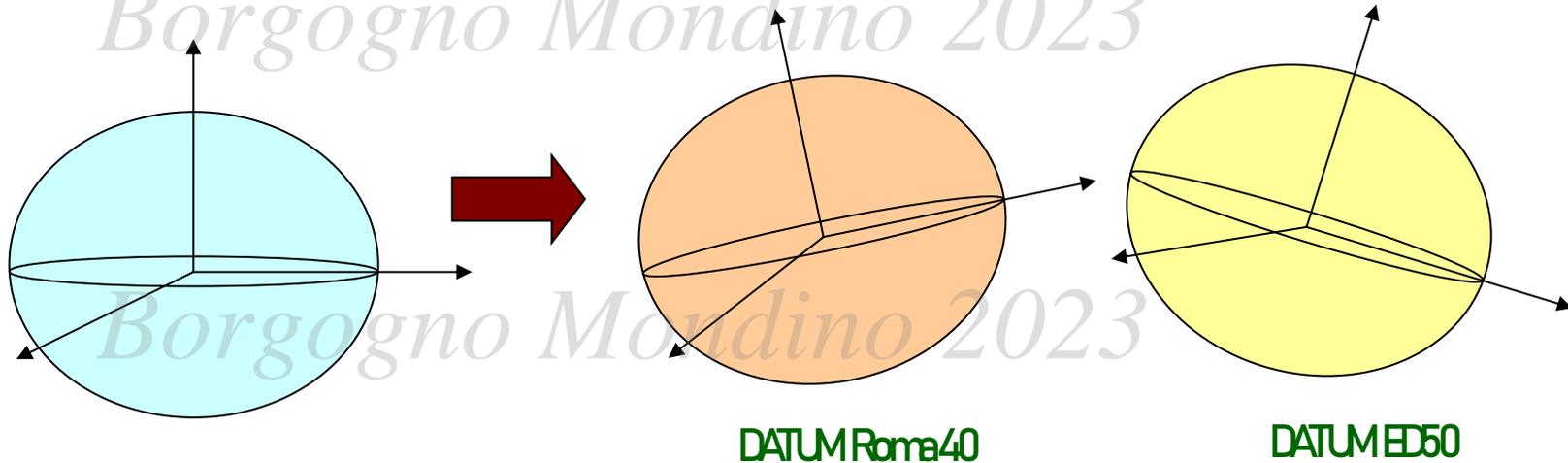
- Internazionale di Hayford

→ Datum Roma40 (annullamento della deviazione della verticale a Roma Monte Mario),

→ Datum ED50 (orientamento medio europeo)

- WGS-84 → Datum WGS-84 (anche detto ETRS89/ETRS2000, etc. a seconda delle cosiddette MATERIALIZZAZIONI; gli stessi punti (vertici materializzati sotto forma di pilastri/dischi metallici di coordinate note, si muovono nel tempo per effetto delle deformazioni/spostamenti della crosta terrestre (qualche mm/anno)

ELLISSOIDE  
(Hayford)



Ogni DATUM definisce una sua tema di coordinate geografiche

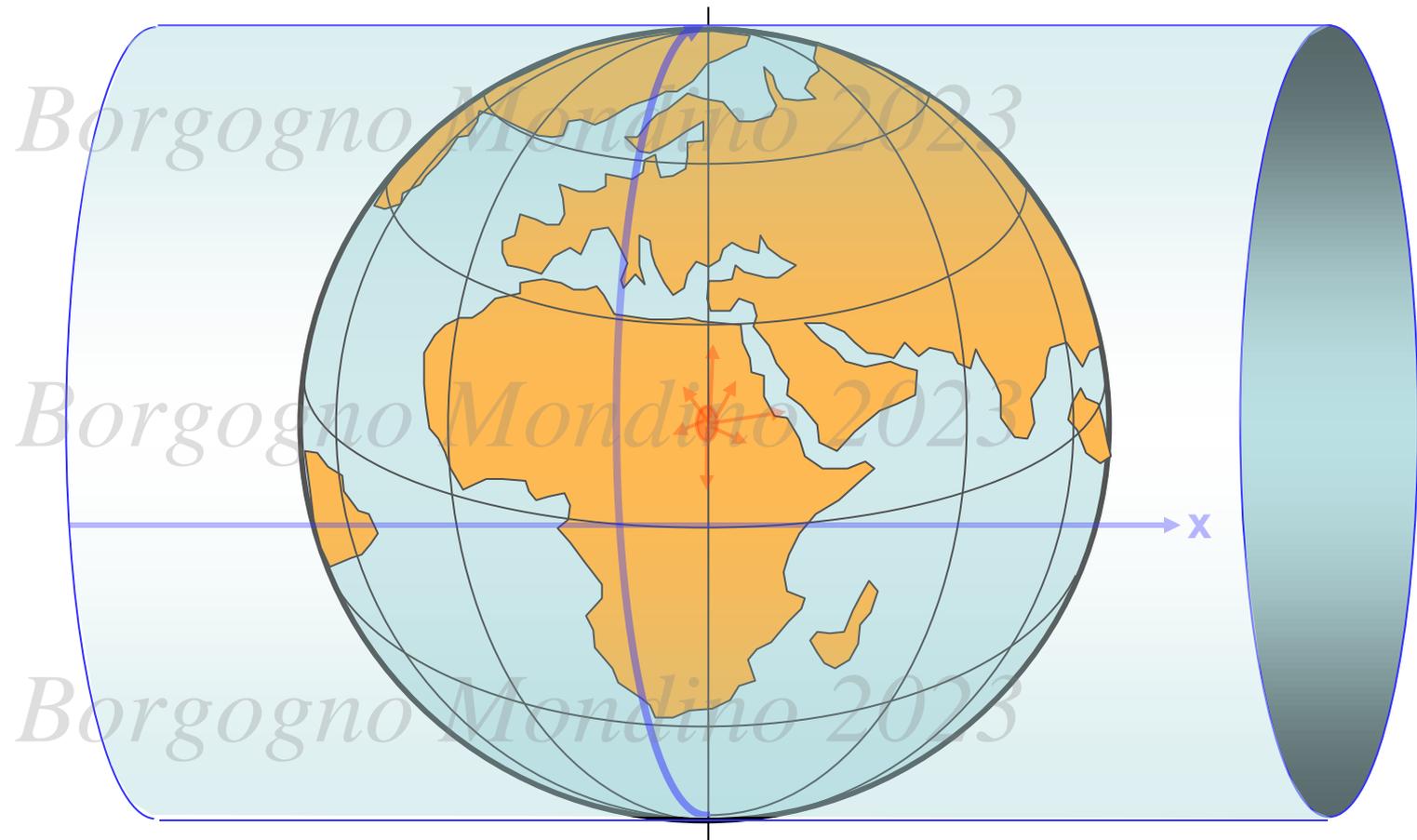
Possono pertanto essere definite delle

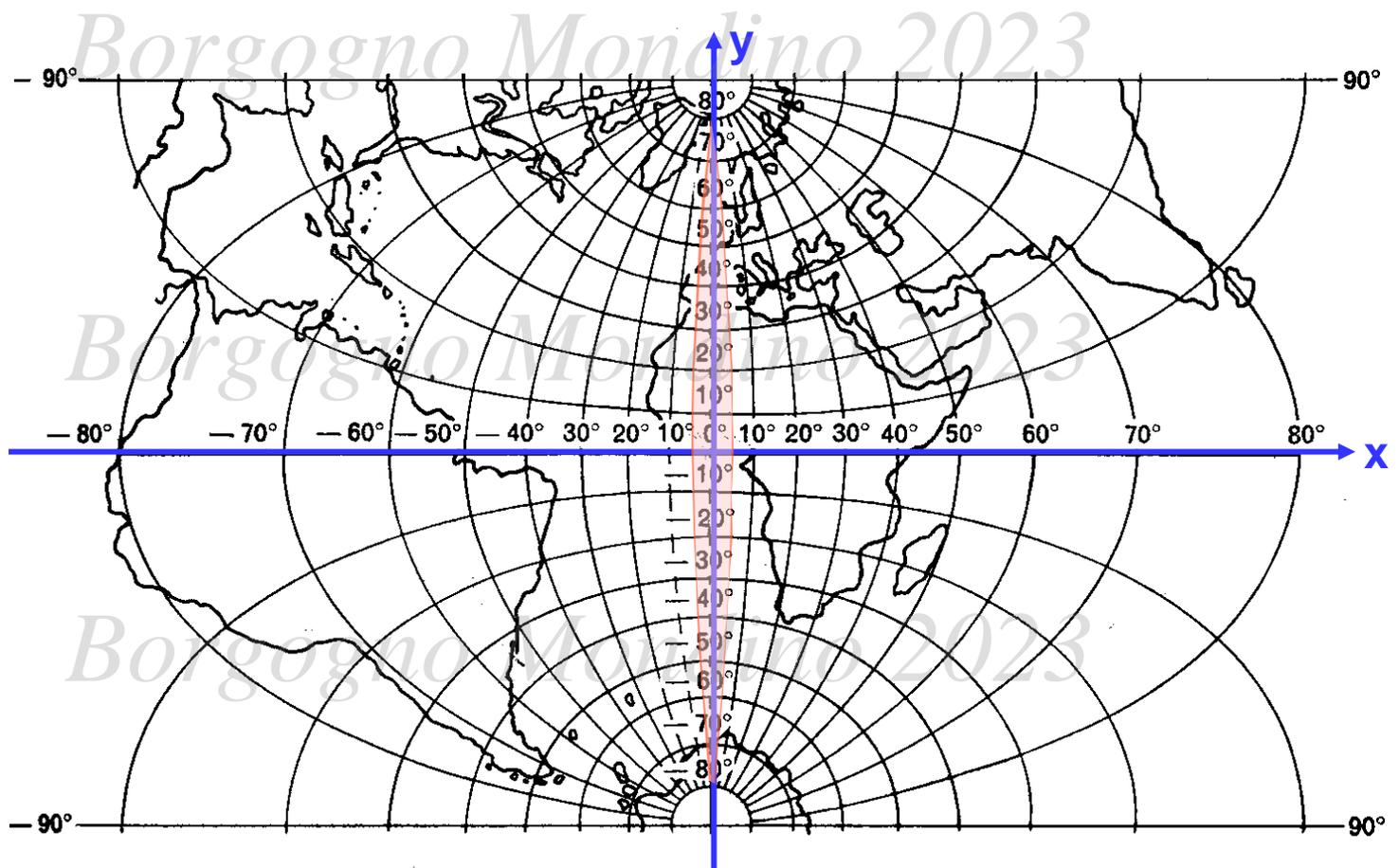
Coordinate geografiche ED50 (origine delle longitudini Greenwich)

Coordinate geografiche Roma40 (origine delle longitudini Roma Monte Mario)

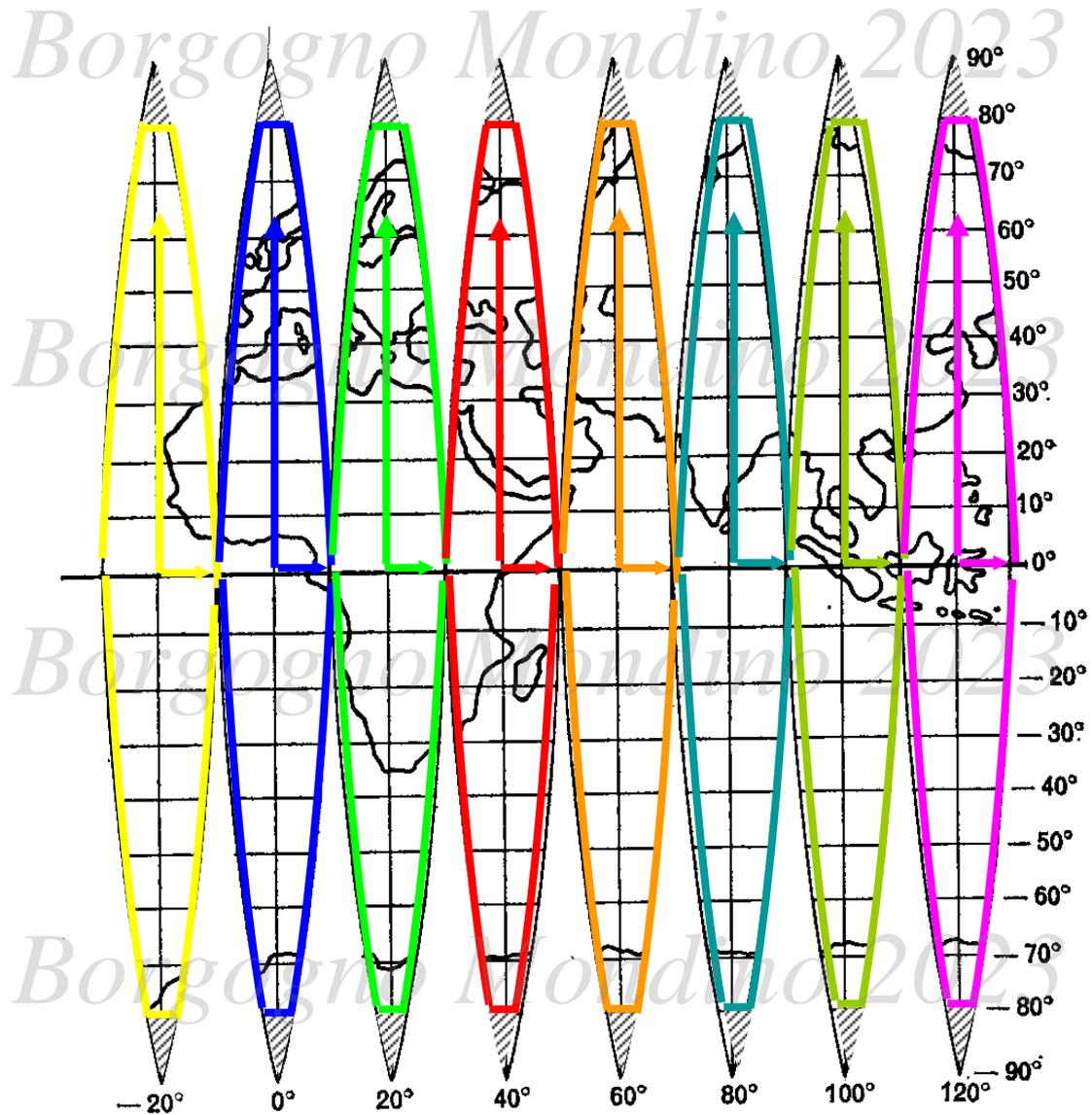
Coordinate geografiche WGS-84 (origine delle longitudini Greenwich)

# *Borgogno Mondino 2023*





*Borgogno Mondino 2023*



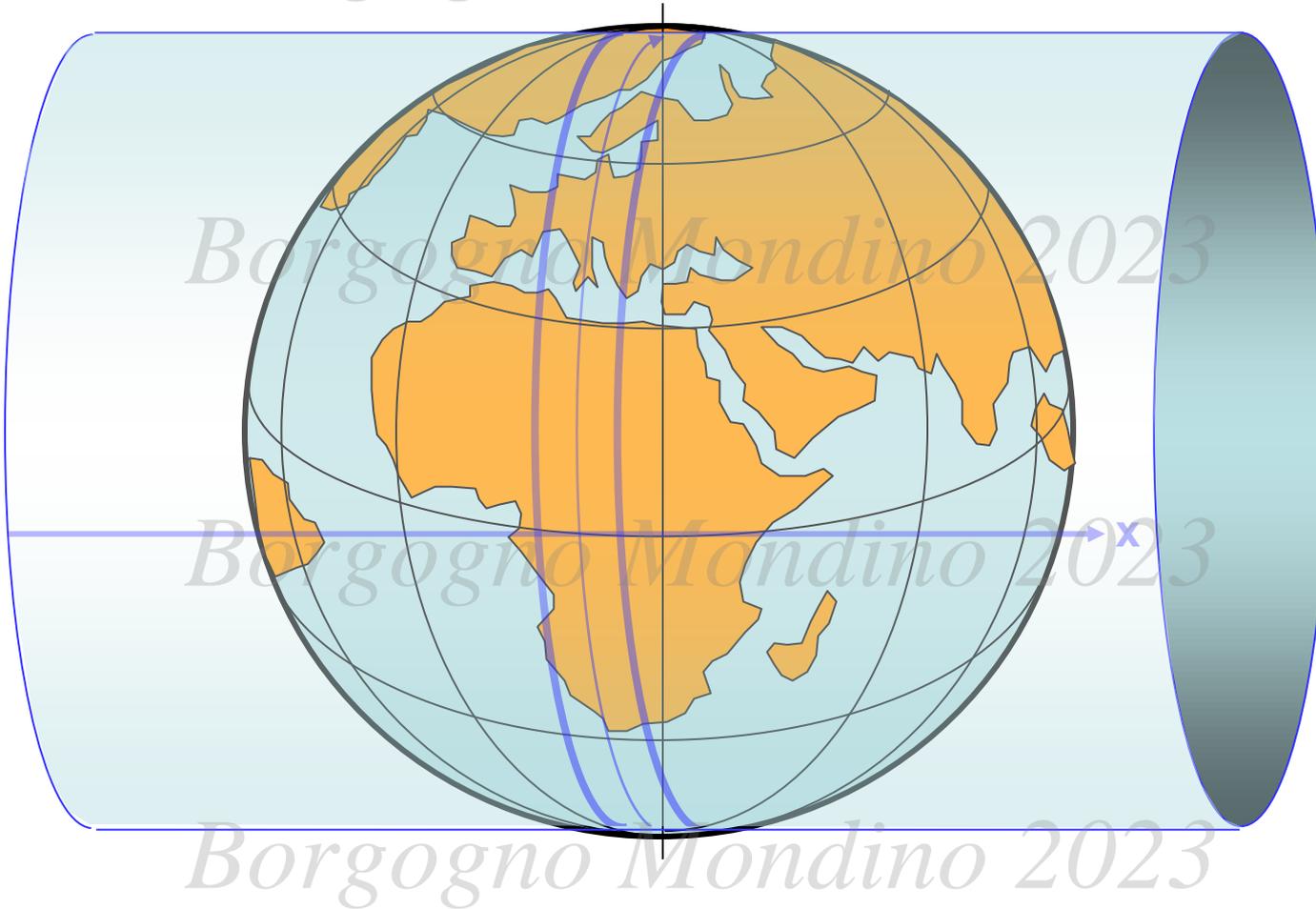
Borgognò Mondino 2023

Borgognò Mondino 2023

Borgognò Mondino 2023

Borgognò Mondino 2023

# *Borgogno Mondino 2023*



# LA CARTA DI GAUSS

## significato analitico dei parametri

La proiezione conforme di Gauss ci consente di definire analiticamente le relazioni tra **coordinate geografiche** e le corrispondenti **cartografiche piane**.

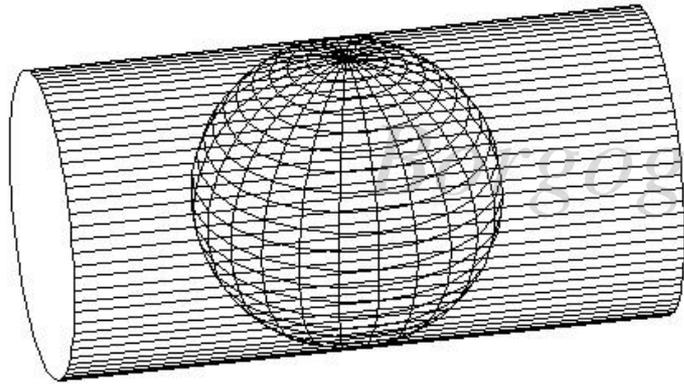


Fig. 8: cilindro tangente a un meridiano

$$E = f_1 (\varphi, \lambda, h, \lambda_0, E_0, s)$$

$$N = f_2 (\varphi, \lambda, h, \lambda_0, N_0, s)$$

$$H = h - N$$

$\lambda_0$  Longitudine del meridiano di proiezione (centrale)

$E_0, N_0$  : falsa origine della coordinata Est e Nbrd. Garantisce positività delle coordinate

$s$  : fattore di contrazione o di scala (0.9996)

Applicando la stessa proiezione (quella di GAUSS) a DATUM diversi si ottengono differenti sistemi di coordinate cartografiche. In Italia

1. UTM ED50

2. UTM WGS-84

3. Gauss-Boaga

Come si calcola ( $m$ ) per la carta di Gauss

### Formula semplificata

vale nell'intorno (10 km circa) del punto di cui si dichiara la coordinata EST (1) oppure la LONGITUDINE (2)

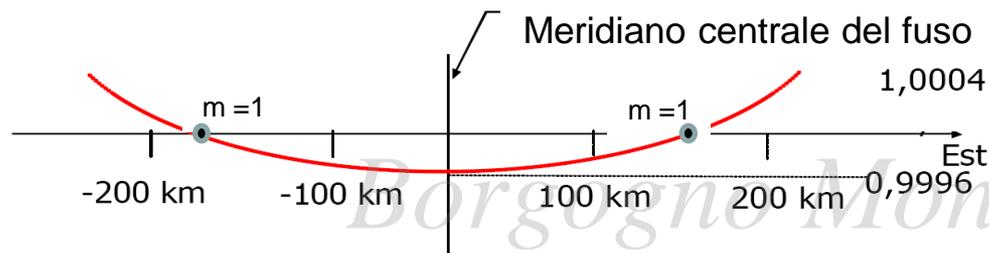
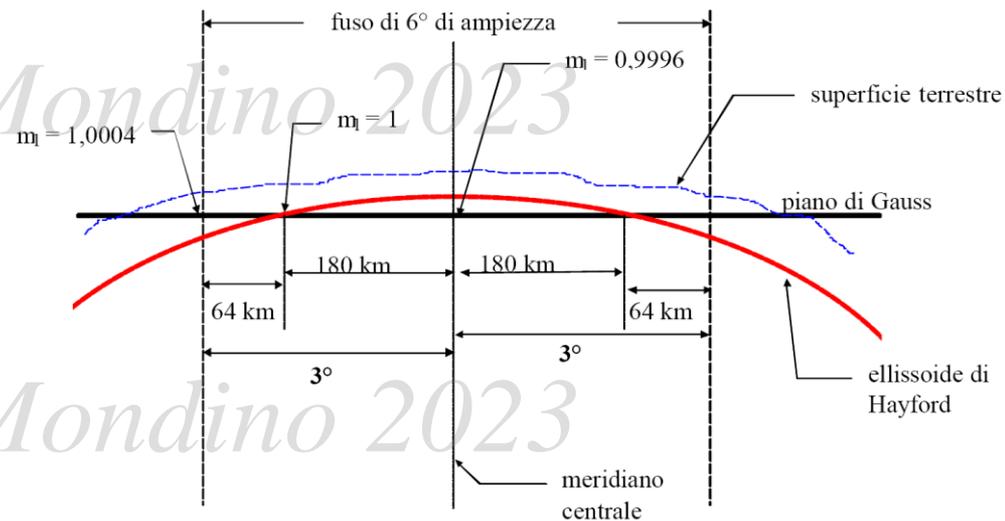
$$m_l = 0,9996 \cdot \left( 1 + \frac{(E - E_0)^2}{2 \cdot \rho \cdot N \cdot 0,9996^2} \right) \quad (1)$$

$$m_l = 0,9996 \cdot \left( 1 + \frac{1}{2} \cdot \lambda^2 \cdot \cos^2 \varphi \right) \quad (2)$$

### Formula completa

vale nell'intorno per qualunque distanza che separi 2 punti di coordinata EST (o  $\lambda$ ) note

$$m_l = 0,9996 \cdot \left( 1 + \frac{(E_1 - E_0)^2 + (E_1 - E_0) \cdot (E_2 - E_0) + (E_2 - E_0)^2}{6 \cdot \rho_m \cdot N_m \cdot 0,9996^2} \right)$$



$a$  = semi-asse maggiore

$$e^2 = \frac{a^2 - c^2}{a^2}$$

$$W = \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}$$

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{W^3}$$

$$N = \frac{a}{W}$$

$$R = \sqrt{\rho N}$$

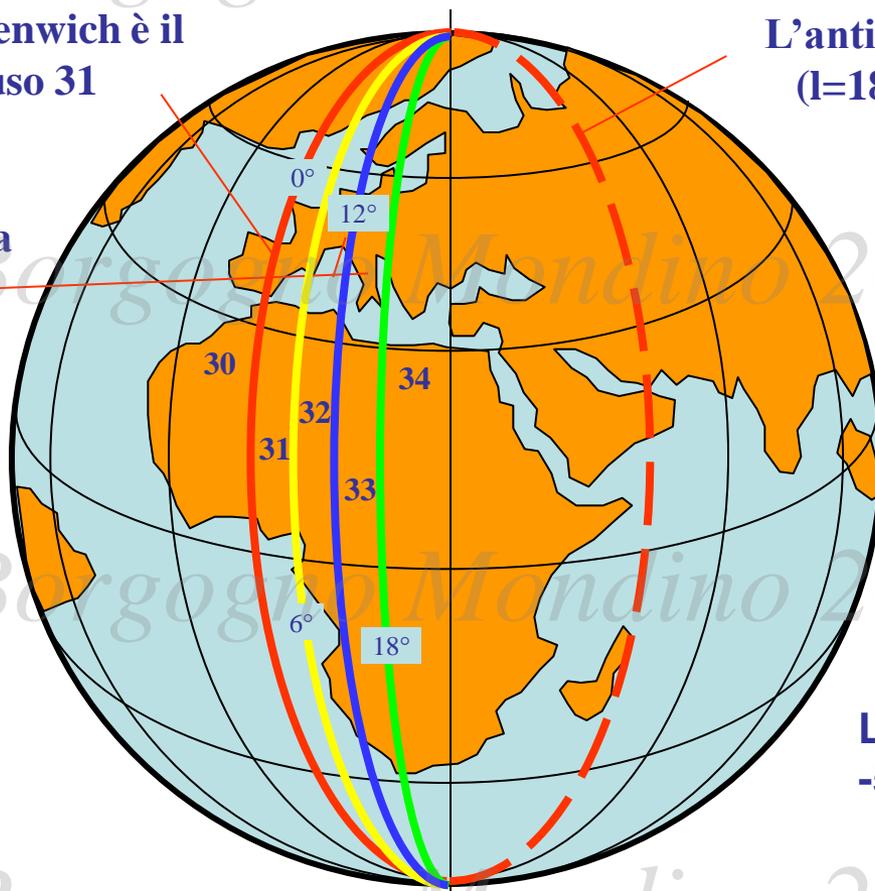
*Borgogno Mondino 2023*

Il meridiano di Greenwich è il  
bordo sinistro del fuso 31

L'antimeridiano di Greenwich  
( $l=180^\circ$ ) è il bordo del fuso 1

L'Italia è interessata  
dai fusi 32 e 33

In totale ci sono 60  
fusi ( $6^\circ \times 60 = 360$ )



La falsa origine E è a  
-500 km per tutti i fusi

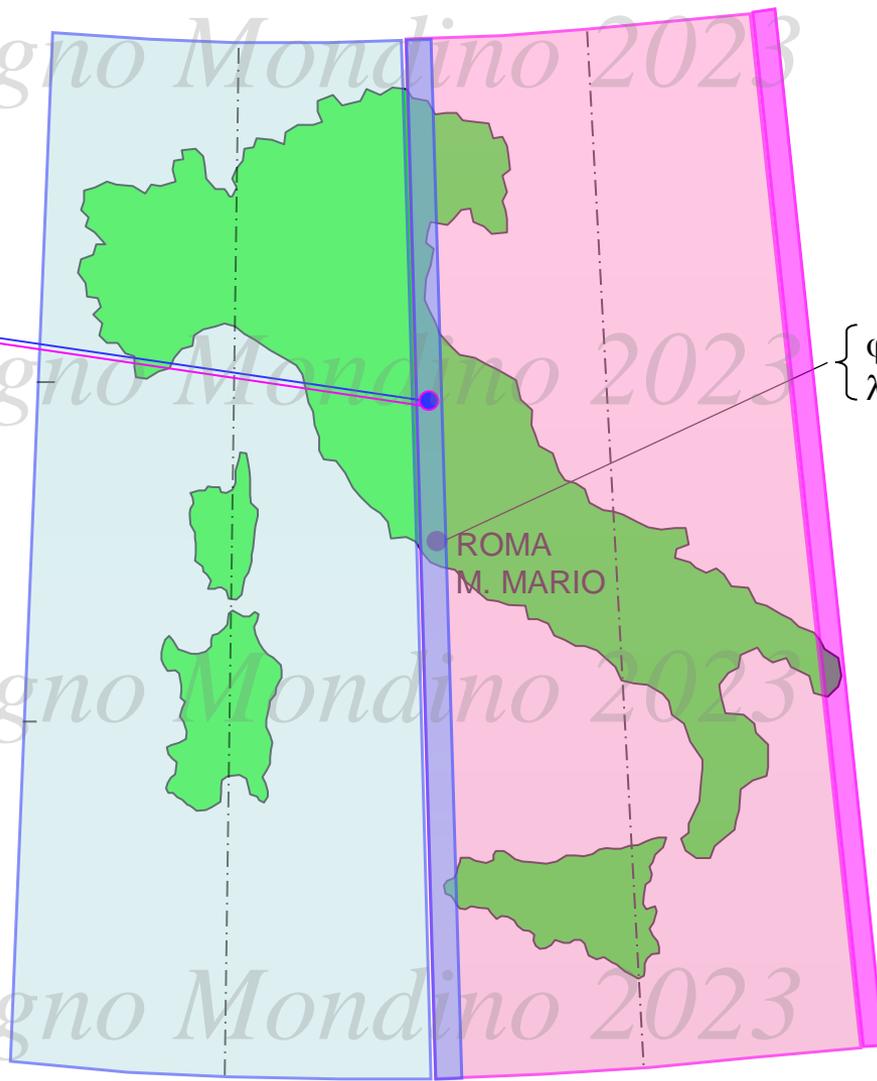
*Borgogno Mondino 2023*

L'Italia è interessata  
dai fusi 32 e 33  
modificati: **FUSO**  
**OVEST** e **FUSO EST**

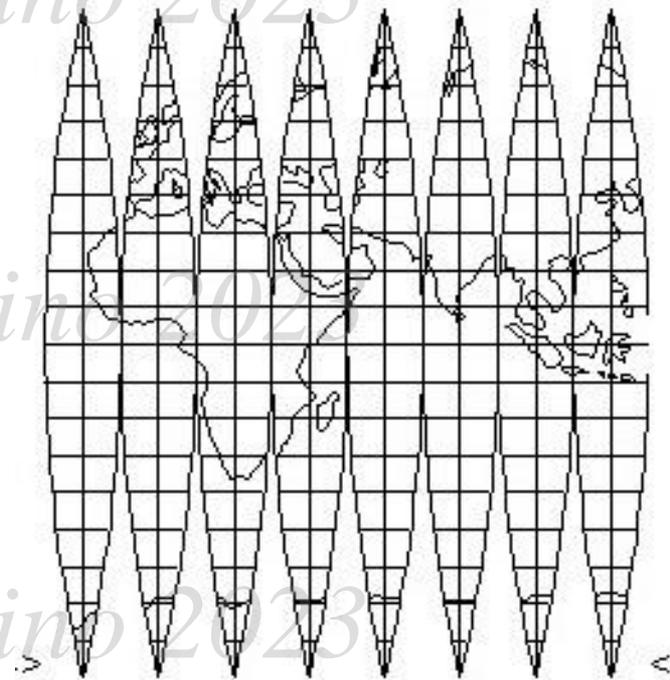
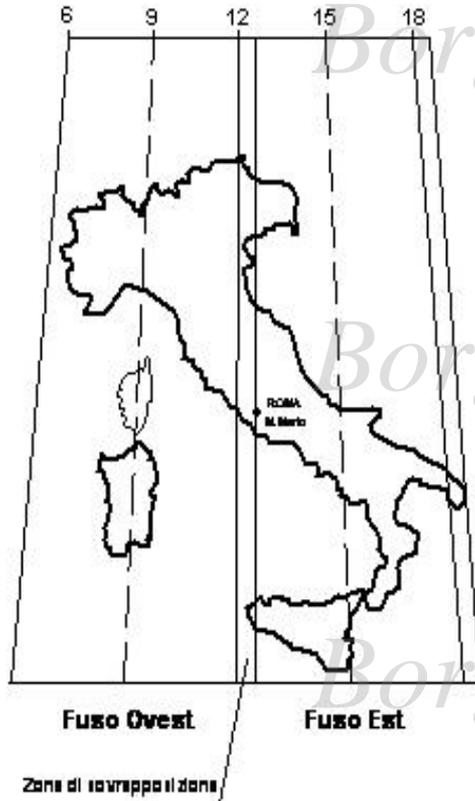
**ZONA DI**  
**SOVRAPPOSIZIONE**

L'ellissoide è  
orientato a ROMA  
M. MARIO (Roma40)

La "falsa origine" E  
è a **-1500 km** per il  
**FUSO OVEST**  
e a **-2520 km** per il  
**FUSO EST**



$\varphi = 41^{\circ}55'25'',5$  N  
 $\lambda = 12^{\circ}27'08'',4$  EG



## Fusi Gauss-Boaga (Est,Ovest)

$E_0 = 1500 \text{ km}, 2520 \text{ km}$

$N_0 = 0$

$s = 0,9996$

$\lambda_0 = 9^\circ, 15^\circ$

**E 1393468**

**N 5004101**

**Fuso 1**

**E 2393468**

**N 5004101**

**Fuso 2**

## Fusi UTM $\rightarrow$ 32N, 33N

$E_0 = 500 \text{ km}, 500 \text{ km}$

$N_0 = 0$

$s = 0,9996$

$\phi_0 = 9^\circ, 15^\circ$

**E 393443**

**N 5004132**

**32N T**

Il comitato **European Petroleum Survey Group** ha assegnato dei codici per identificare in modo univoco i sistemi di riferimento geodetici adottati nelle varie realtà nazionali, detti codici EPSG. Tali codici sono molto utilizzati all'interno dei GIS per l'individuazione univoca dei sistemi di coordinate da assegnare ai dati.

Per i sistemi più utilizzati in Italia

Gauss-Boaga Fuso Ovest	:	EPSG 3003
Gauss-Boaga Fuso Est	:	EPSG 3004
WGS84 UTM 32N	:	EPSG 32632
WGS84 UTM 33N	:	EPSG 32633
ED50 UTM 32N	:	EPSG 23032
ED50 UTM 32N	:	EPSG 23033

**Sistemi di riferimento mondiali**  Nascondi SR sconsigliati

Sistema di Riferimento delle Coordinate	ID dell'autorità
WGS 84 / UTM zone 2S	EPSG:32702
WGS 84 / UTM zone 30N	EPSG:32630
WGS 84 / UTM zone 30S	EPSG:32730
WGS 84 / UTM zone 31N	EPSG:32631
WGS 84 / UTM zone 31S	EPSG:32731
WGS 84 / UTM zone 32N	EPSG:32632
WGS 84 / UTM zone 32S	EPSG:32732

Le trasformazioni geometriche che permettono di trasportare una rappresentazione cartografica da un sistema di coordinate all'altro hanno valenza LOCALE, cioè l'entità della trasformazione dipende dalla POSIZIONE. Qualora la trasformazione sia RIGIDA e corrisponda (come nella maggioranza dei casi) ad una ROTO - TRASLAZIONE con VARIAZIONE DI SCALA (RST), il valore delle traslazioni (spostamenti X,Y), della rotazione nel piano XY e del fattore di scala cambiano a seconda della zona da trasformare (es. valori da applicare a TORINO sono diversi da quelli di NOVARA). In generale, affinché durante la trasformazione non si abbia decadimento significativo di precisione, i parametri della trasformazione dovrebbero essere aggiornati ogni 10-15 km

Con tali premesse, le STRATEGIE ADOTTABILI sono le seguenti:

A) Esistono software appositi per le conversioni di precisione rilasciati dagli Enti cartografici ufficiali (es. IGM). Il prodotto di riferimento è VERTOGIS → qualche mm

B) I GIS commerciali sono dotati di procedure di trasformazione approssimate (qualche metro)

Roto-Traslazione con Variazione di Scala (RST) locale  
(differente ellissoide)

UTMED50 ← → UTMWGS84

GAUSS-BOAGA ← → UTMWGS84

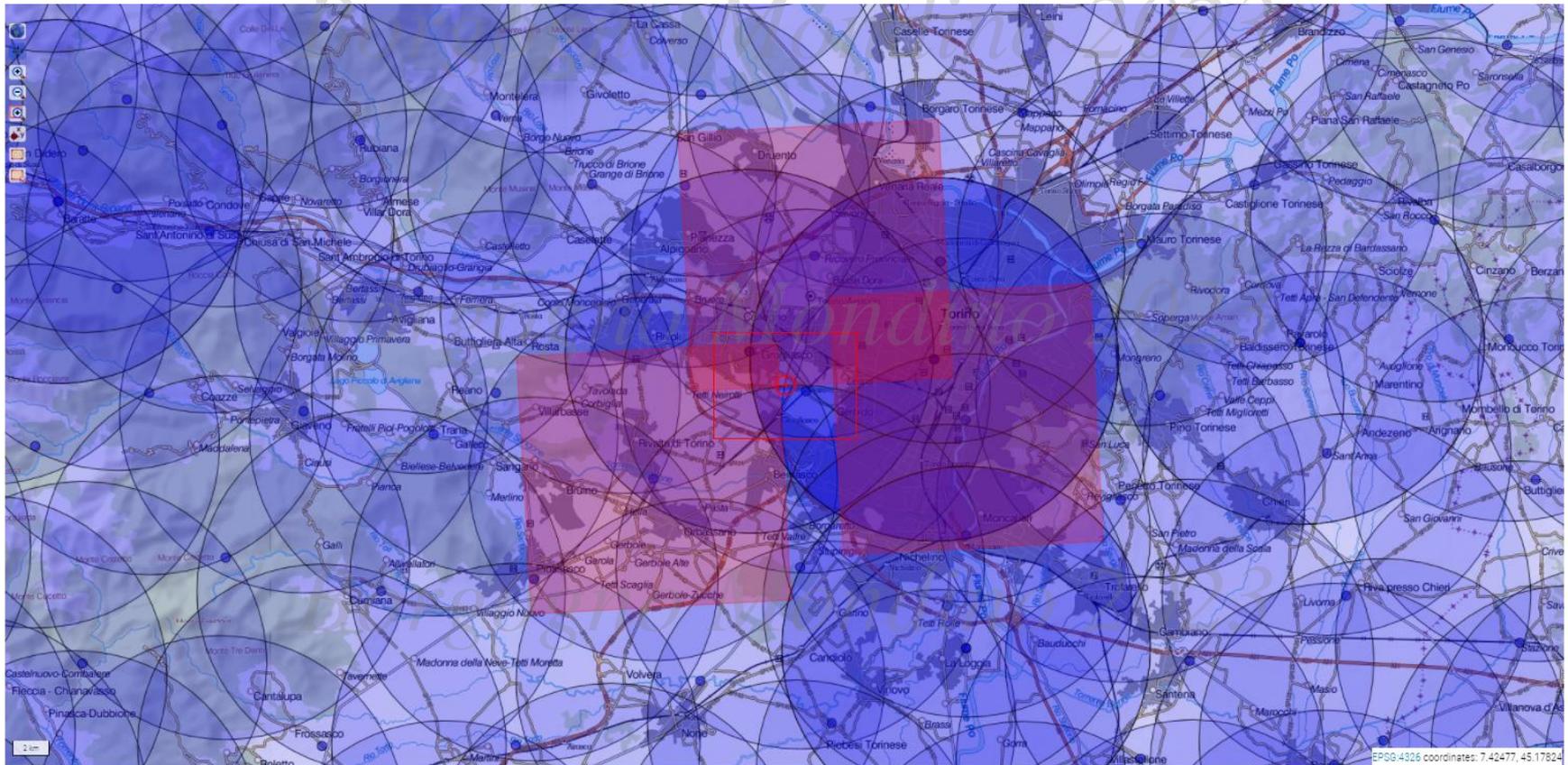
SEMPLICETRASLAZIONE LOCALE (stesso ellissoide)

UTMED50 ← → GAUSS-BOAGA

Valevole per un'area di circa 15 km di raggio

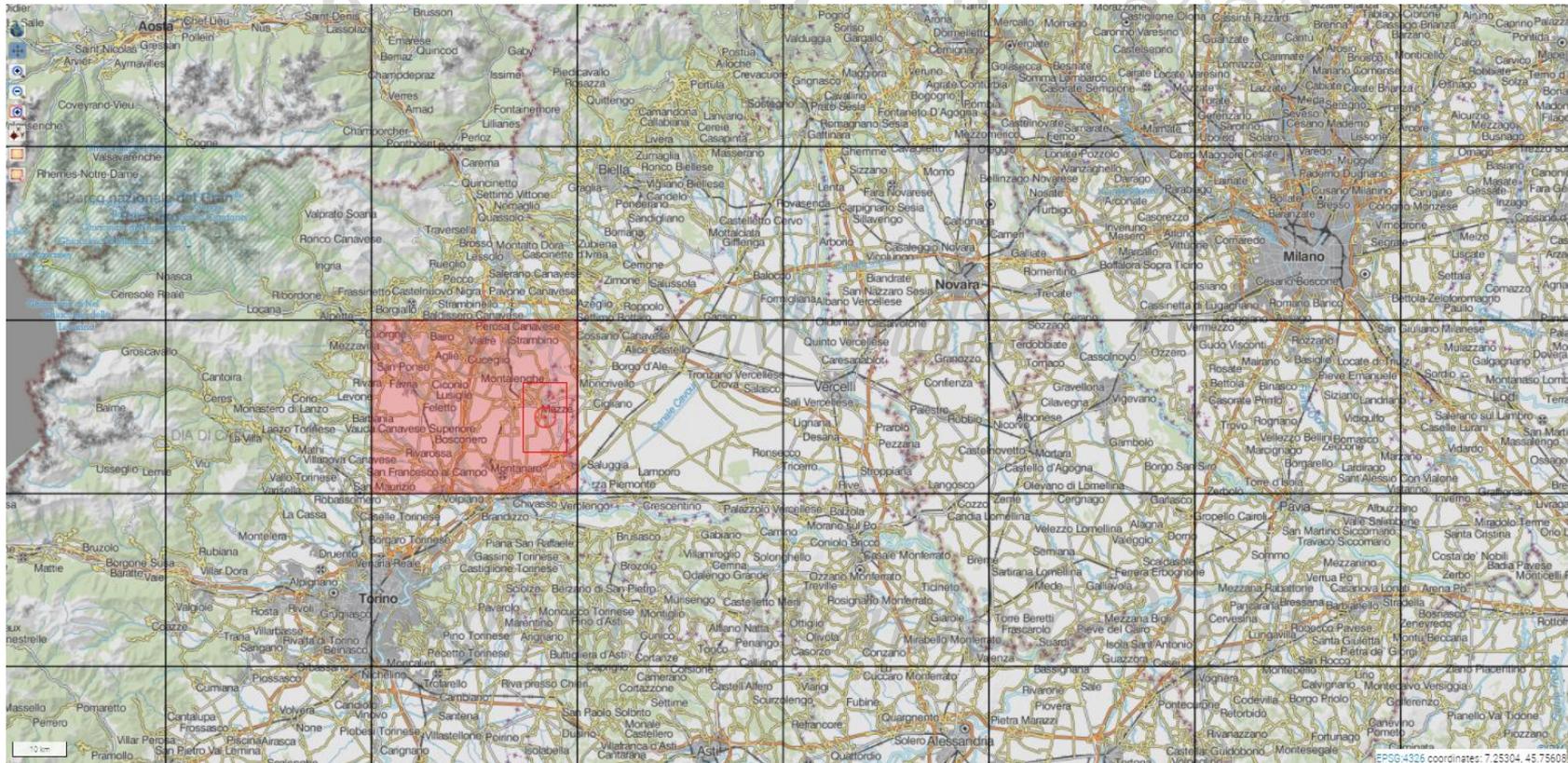
Grigliato GK1 (300 km<sup>2</sup>): copre un intorno 10 km di ciascun punto IGM95, con modello di geoidi ITALGEO99

Grigliato GK2 (300 km<sup>2</sup>): copre un intorno 10 km di ciascun punto IGM95, con modello di geoidi ITALGEO2005

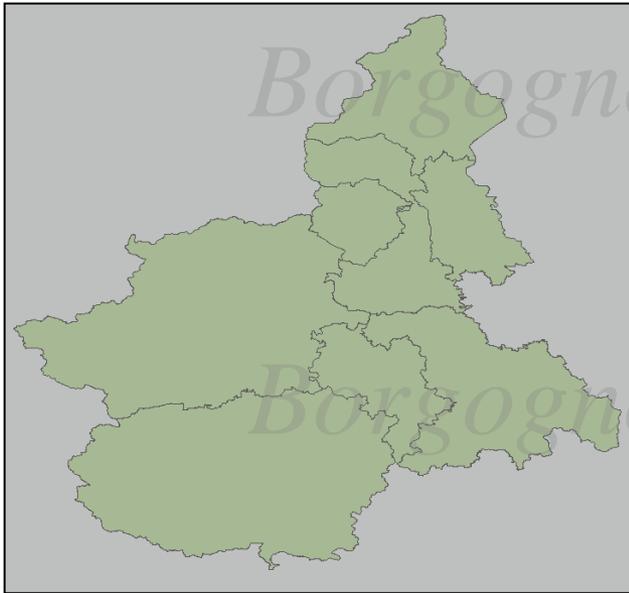


Grigliato GK1 (600 km<sup>2</sup>): copre ciascuno dei fogli della carta d'Italia 1:50.000, con modello di geoidi ITALGEO99

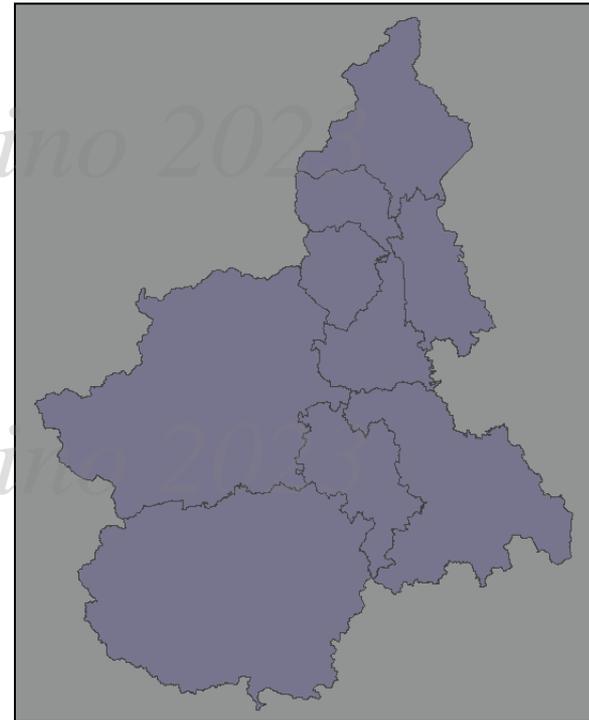
Grigliato GK2 (600 km<sup>2</sup>): copre di ciascuno dei fogli della carta d'Italia 1:50.000, con modello di geoidi ITALGEO2005



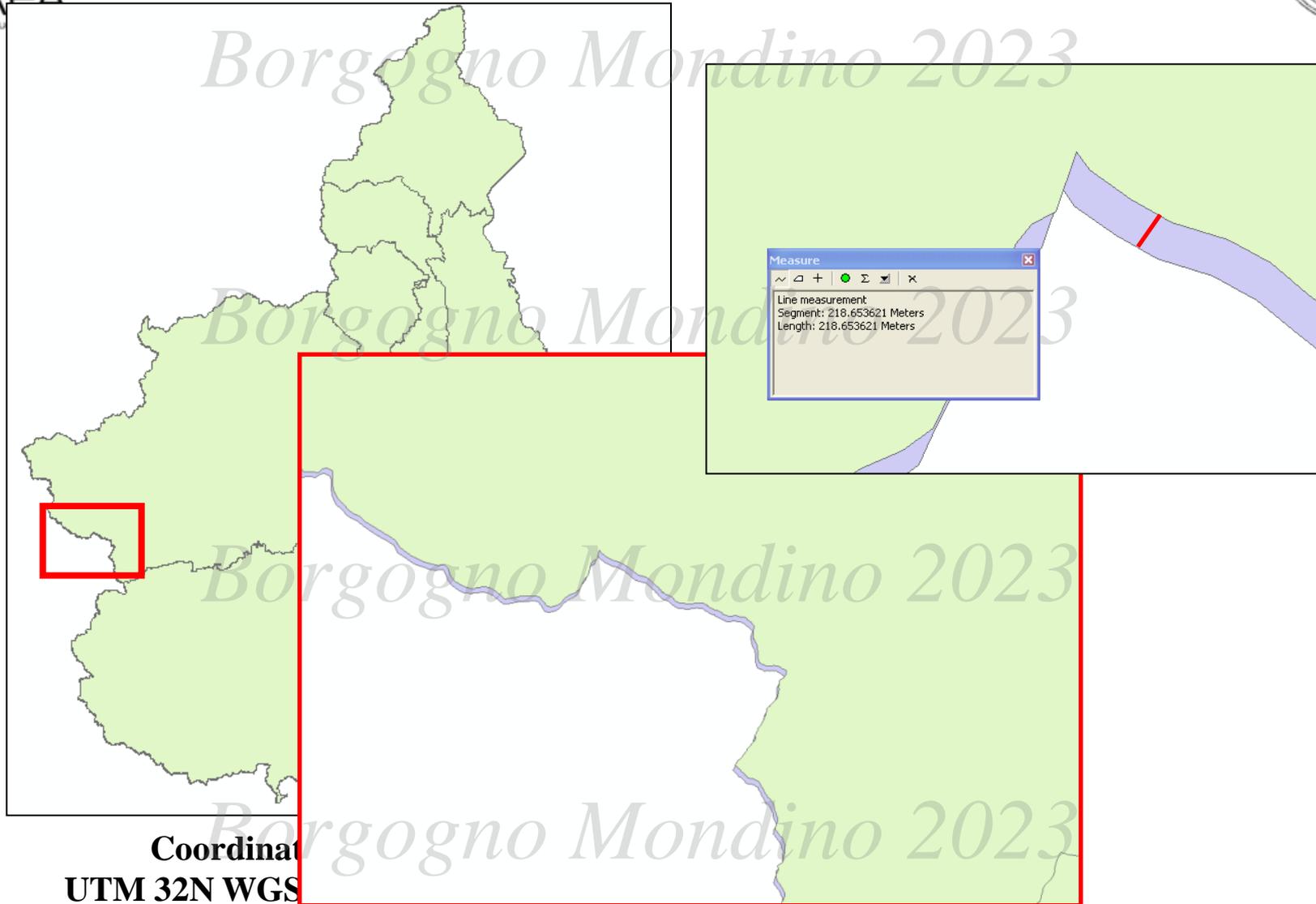
La trasformazione da coordinate geografiche a coordinate piane (e viceversa) è nota e non introduce decadimento di precisione delle coordinate di partenza (qualunque sia il DATUM e la proiezione UTILIZZATA)



**Coordinate geografiche WGS84**

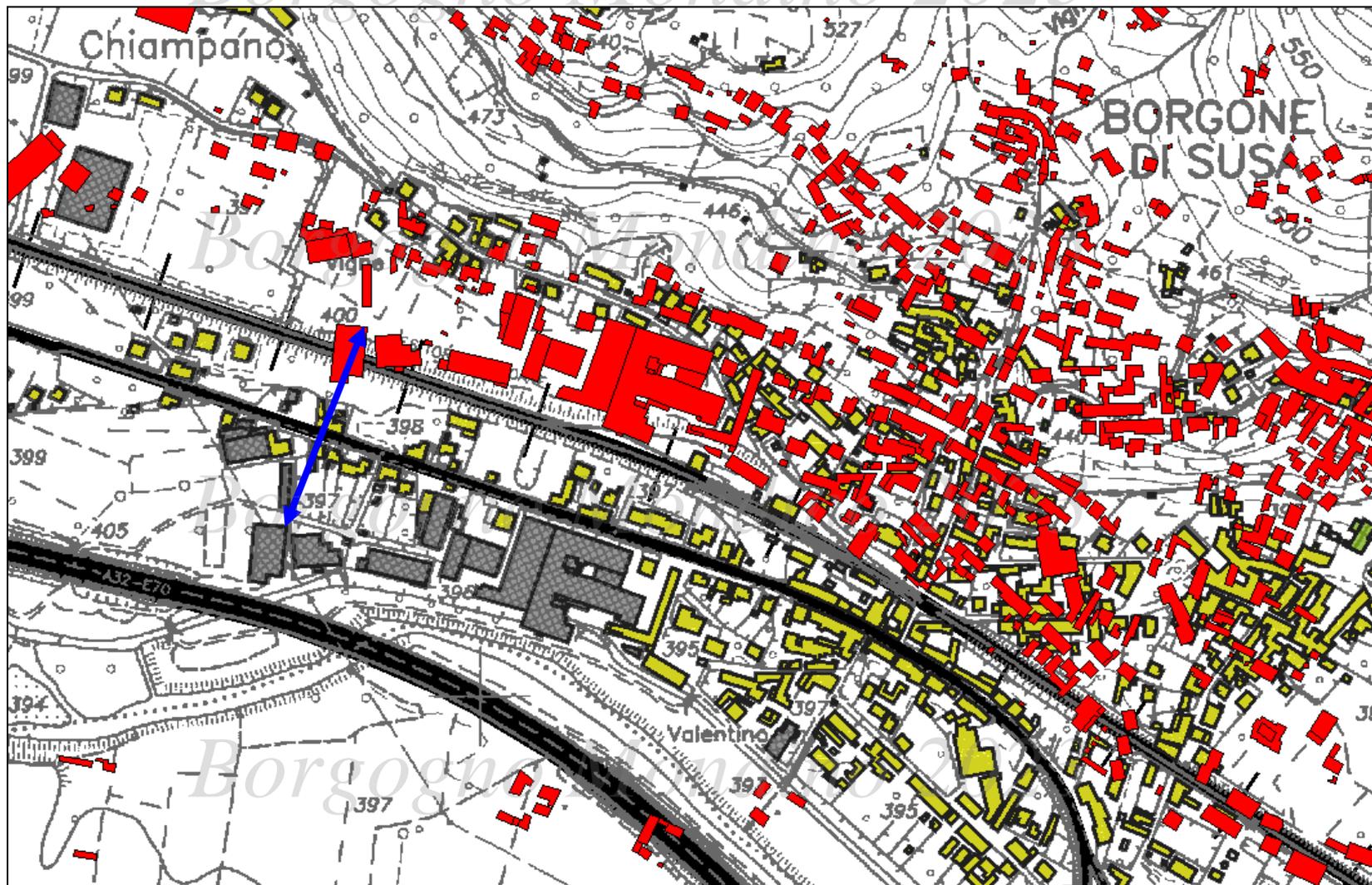


**Coordinate cartografiche  
UTM 32N WGS84**



La differenza tra i due sistemi è circa 220 m.

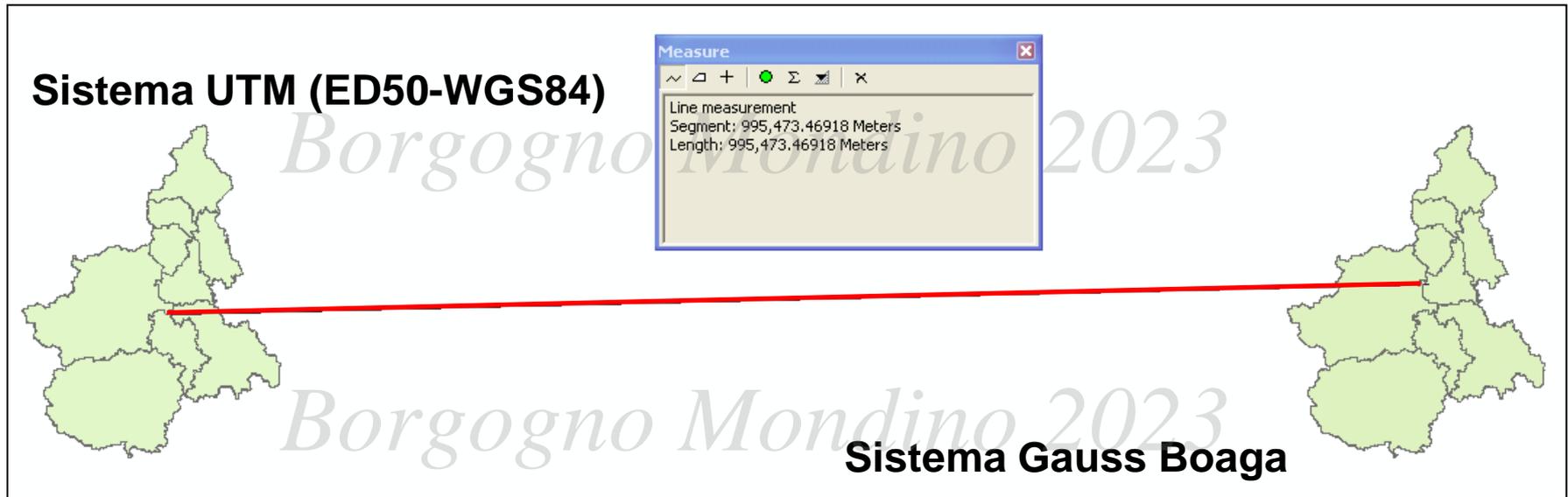
## Borgognone Mondino 2023



# UTM ED50 / UTM WGS84 a confronto con GAUSS-BOAGA



*Borgogno Mondino 2023*  
La differenza tra le coordinate dei due sistemi è di circa 1000 km



*Borgogno Mondino 2023*

VertoGIS - Rel. 2007

## VertoGIS

conversione fra sistemi geodetici di riferimento

Tipo di file

**DXF**   SHP   EOO   ??W   TXT

Files Autodesk DXF ASCII e Binari Tipo di file TXT

Dal sistema

- Gauss-Boaga/Roma40
- UTM/ED50
- UTM/WGS84

Fuso ...

Input da geografiche

Al sistema

- Gauss-Boaga/Roma40
- UTM/ED50
- UTM/WGS84

Fuso ...

Cifre Significative NO

Output in geografiche

Cifre Significative NO

Zona di lavoro (file .GR1)

c: [file explorer]

- 019.gr1
- 020.gr1
- 035.gr1
- 036.gr1

Trasformazione approssimata se fuori zona (Molodensky)

Trasformazioni altimetriche

Trasforma quote Non prevista

Cifre Significative NO

Files di Input/Output

Dir di Input D:\dati\_cartografici\Piemonte\Repertorio cartografico ...

Includi SubDir

Dir di Output ...

ESEGUI

ESCI

Borgogno Mondino 2023

ConveRgo\_ge - Versione 2.04

**CISIS** Conversioni di coordinate per le Regioni 

INPUT		Selezione file ...	Elimina voce	Opzioni ...	OUTPUT	
Geografiche	Piane	Intera cartella ...	Svuota lista ...	Sistema catastale...	Geografiche	Piane
ETRS89 [?] <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> ETRF2000</li> <li><input checked="" type="radio"/> ETRF89</li> <li><input type="radio"/> ROMA40</li> <li><input type="radio"/> ED50</li> </ul>	ETRS89 <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> UTM-ETRF2000</li> <li><input type="radio"/> UTM-ETRF89</li> <li><input type="radio"/> Gauss-Boaga</li> <li><input type="radio"/> UTM-ED50</li> </ul>	File da trattare:			ETRS89 [?] <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> ETRF2000</li> <li><input type="radio"/> ETRF89</li> <li><input type="radio"/> ROMA40</li> <li><input type="radio"/> ED50</li> </ul>	ETRS89 <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> UTM-ETRF2000</li> <li><input checked="" type="radio"/> UTM-ETRF89</li> <li><input type="radio"/> Gauss-Boaga</li> <li><input type="radio"/> UTM-ED50</li> </ul>
SIST. CATASTALE <input type="radio"/> (Siena)					SIST. CATASTALE <input type="radio"/> (Siena)	
QUOTA : <input checked="" type="radio"/> Ellissoidica E89 <input type="radio"/> Geoidica <input type="radio"/> Non modificare <input type="checkbox"/> Auto					QUOTA : <input type="radio"/> Ellissoidica E89 <input checked="" type="radio"/> Geoidica <input checked="" type="checkbox"/> Auto <input type="radio"/> Stessa di input	
Fuso proiezione <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="radio"/> 32</li> <li><input type="radio"/> 33</li> <li><input type="radio"/> 34</li> <li><input checked="" type="radio"/> Automatico</li> </ul>					Fuso proiezione <ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="radio"/> 32</li> <li><input type="radio"/> 33</li> <li><input type="radio"/> 34</li> <li><input type="radio"/> Fuso Italia</li> </ul>	
Origine longitudini <input checked="" type="radio"/> Greenwich <input type="radio"/> Roma M.M.					Origine longitudini <input checked="" type="radio"/> Greenwich <input type="radio"/> Roma M.M.	
Formato file con liste di coordinate ...		File di output			Formato file con liste di coordinate ...	
Codice Nord Est Quo		<input type="radio"/> Altra cartella <input checked="" type="radio"/> Suffisso al nome <input type="button" value="Imposta ..."/>			Codice Nord Est Quo	
		Geografiche: _E89_E00_E50_R40 Piane: _U89_U00_U50_G.				
Posiz. grigliati: [ ]					N. grigliati presenti : [ ]	
Info... [ ] / [ ]		File in corso: [ ] ...			<input type="button" value="Punto singolo ..."/> <input type="button" value="Converti lista FILE"/> <input type="button" value="Esci"/>	

Borgogno Mondino 2023

Prove effettuate su 2378 punti sparsi sul territorio piemontese. I grafici rappresentano le distribuzioni cumulate di frequenza relative alle differenze di posizionamento planimetrico riscontrate tra le coordinate UTM ED50 ottenute per trasformazione effettuata con VERTOGIS (software di riferimento) e diversi software GIS esistenti. L'errore planimetrico risulta uguale a :

$$Err = \sqrt{\Delta E^2 + \Delta N^2}$$

