

## 1. Significato e classificazione dei «datum» geodetici

Un **datum geodetico** (o *sistema geodetico*) è una struttura *teorica e convenzionale* i cui componenti consentono la definizione della posizione dei punti sulla superficie terrestre; la sua codifica è necessaria sia in ambito *cartografico* che nel contesto di tradizionali operazioni *topografiche*. Un *datum geodetico* (in seguito semplicemente *datum*) comprende i seguenti passaggi.

1. Codifica in termini teorici di una **superficie**, matematicamente trattabile, che approssimi al meglio la superficie del pianeta in relazione agli impieghi previsti (perlopiù un *ellissoide* di rotazione), e definizione dei **parametri** (geometrici e fisici) necessari a definirne le *dimensioni*, la *posizione* rispetto alla Terra, e un preciso *orientamento* nello spazio (v. sezione B volume 1).
2. Associazione di un **sistema di riferimento**, cartesiano o geografico, solidale alla superficie adottata, a cui vengono riferiti i punti della superficie terrestre (v. sezione B volume 1).
3. Associazione di una **rete geodetica**, *misurata e compensata*, di punti topografici (insieme di punti di posizione nota nel sistema di riferimento associato), opportunamente *selezionati* e *materializzati* sul terreno, che costituisce la cosiddetta «**realizzazione**» (il «**Frame**» in notazione inglese) del *datum*; in tal modo esso è reso fisicamente **accessibile** a tutti gli operatori.

Inoltre, in ambito **cartografico**, è necessario associare al *datum* il seguente elemento.

4. Tipo di **rappresentazione cartografica** (Gauss-Boaga, *UTM*, ecc.) ed i connessi parametri di applicazione (v. unità L2 volume 2).

Il diagramma di **Figura 1** sintetizza in uno schema a blocchi quanto sopra esposto.



**Figura 1** – Componenti di un *datum* geodetico.

Osserviamo che il nostro pianeta non è un corpo rigido e che, pertanto, la sua superficie si modifica continuamente (pur se lentamente), costringendo a periodiche **rideterminazioni** (utilizzando le tecnologie più recenti) delle sue *dimensioni* e, soprattutto, delle *reti di punti* sulla stessa superficie che *materializzano* il sistema di riferimento associato al *datum*. Osserviamo, poi, che le **esigenze** e gli **obiettivi** delle applicazioni che richiedono la definizione di un *datum* sono diversi (scientifici, operativi, civili/militari ecc.), e talvolta alternativi.

Ne deriva che non esiste un unico «*datum universale*» applicabile in qualunque epoca a qualunque tipologia di impiego. Al contrario ad ogni categoria di applicazione corrisponde uno specifico *datum* che, a sua volta, dovrà essere aggiornato nel tempo.

Pertanto essendo necessario, in un dato contesto, fare riferimento al *datum* utilizzato, a questo viene sempre associata una **denominazione** che si ottiene combinando un *toponimo* o una *sigla* (perlopiù dell'Organizzazione che lo ha istituito) con l'*epoca* di effettuazione delle misure (es. Roma40, WGS84, ETRS89, ecc.).

### ■ Classificazione dei *datum*

In relazione al *campo di validità* della loro codifica, i *datum* possono essere classificati nel seguente modo:

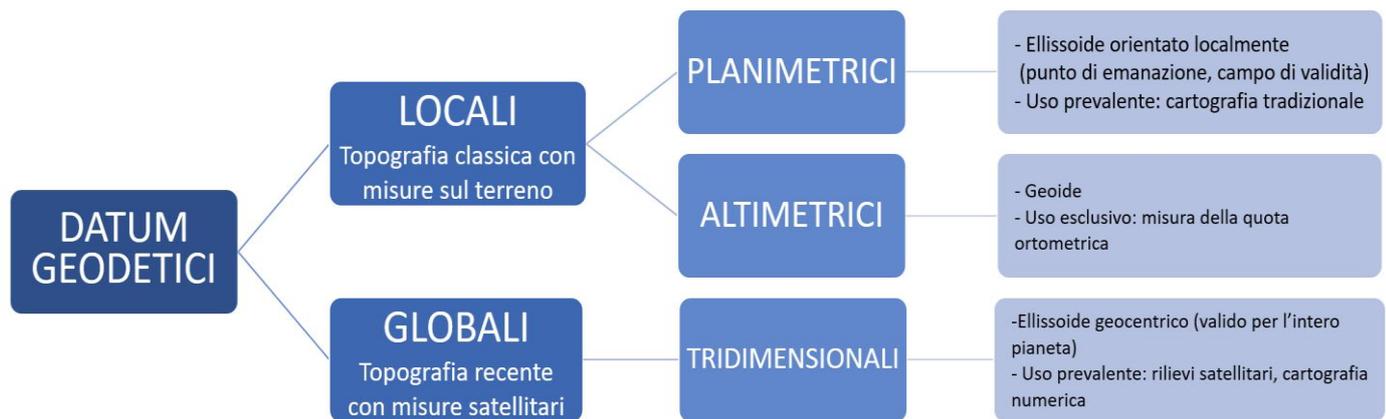
- **datum locali**: riferiti a regioni terrestri, perlopiù coincidenti con i territori nazionali, e storicamente utilizzati nella formazione delle *cartografie* ufficiali degli Stati, e legati alle procedure classiche di misura **sul terreno**;

- **datum globali:** riferiti all'intero Pianeta e legati alle moderne procedure di posizionamento **satellitare**. Essi non sono più strettamente legati a una *superficie di riferimento*, la cui presenza è comunque utile per trasformare le coordinate *geocentriche*, fornite in tali sistemi, in coordinate plano-altimetriche utilizzate in ambito tecnico.

Un secondo criterio di catalogazione riguarda il *numero delle dimensioni* usate per la definizione del *datum*; in questo caso è possibile distinguere:

- **datum planimetrici:** utilizzati perlopiù in ambito *cartografico* e legati alle procedure *topografiche classiche* basate su misure *eseguite a terra*;
- **datum altimetrici:** utilizzati nella definizione e nella misura delle *quote ortometriche* dei punti;
- **datum tridimensionali:** usati non solo nelle moderne procedure topografiche basate sul posizionamento *satellitare*, ma anche nella formazione della *cartografia numerica* e dei *database* dei sistemi territoriali.

Il diagramma di **Figura 2** sintetizza in uno schema a blocchi la catalogazione dei *datum* con i criteri precedenti.



**Figura 2** – Tipologie di *datum* geodetici.

Attualmente nel **nostro Paese** trovano applicazione i seguenti *datum* (**Figura 3**), tra i quali quelli di recente adozione (*ETRS89, ETRF2000*) di cui parleremo più compiutamente in seguito.

- 1. Roma40:** storico *datum* nazionale utilizzato fino 1966, rispetto a quale è ancora espressa una parte della cartografia *IGM* e della *CTR*. È caratterizzato dai seguenti elementi:
  - Ellissoide: Hayford
  - Orientamento locale: Roma Monte Mario nel 1940
  - Rete di «Realizzazione»: Rete fondamentale *IGM* del 1° Ordine (v. unità H1 del volume 2)
  - Rappresentazione cartografica: Gauss-Boaga (fusi Est e Ovest) e UTM (fusi 32, 33, 34)
- 2. ED50 (European Datum 1950):** utilizzato in ambito cartografico dal 1966 al 1996; a questo sistema si riferisce tutt'ora la parte più rilevante della *CTR*. È caratterizzato dai seguenti elementi (v. unità L2 del volume 2):
  - Ellissoide: Hayford
  - Orientamento locale: Medio Europeo: Potsdam (Germania)
  - Rete di «Realizzazione»: Rete a catena risultante dall'unione di sottoinsiemi delle reti nazionali
  - Rappresentazione cartografica: *UTM/ED50*
- 3. ETRS89:** adottato dai Paesi europei (e descritto più precisamente in seguito), utilizzato in Italia dal 1996. È caratterizzato dai seguenti elementi:
  - Ellissoide: *WGS84*
  - Orientamento: Globale
  - Rete di «Realizzazione»: *ETRF89*; per l'Italia la Rete Statica *IGM95* (v. unità H1 del volume 2)
  - Rappresentazione cartografica: *UTM/ETRF89*
- 4. ETRF2000 (epoca 2008):** non si tratta di un nuovo *datum* ma di un nuovo *Frame*, cioè di una nuova «Realizzazione» del precedente *datum* globale *ETRS89* divenuto obbligatorio a livello nazionale nel febbraio 2012 a seguito del DM 10 novembre 2011. È caratterizzato dai seguenti elementi:
  - Ellissoide: *WGS84*
  - Orientamento: Globale
  - Rete di «Realizzazione»: *ETRF2000*; per l'Italia Rete Dinamica Nazionale (*RDN*) (v. unità H1 del volume 2)
  - Sistema Cartografico: *UTM/ETRF2000*

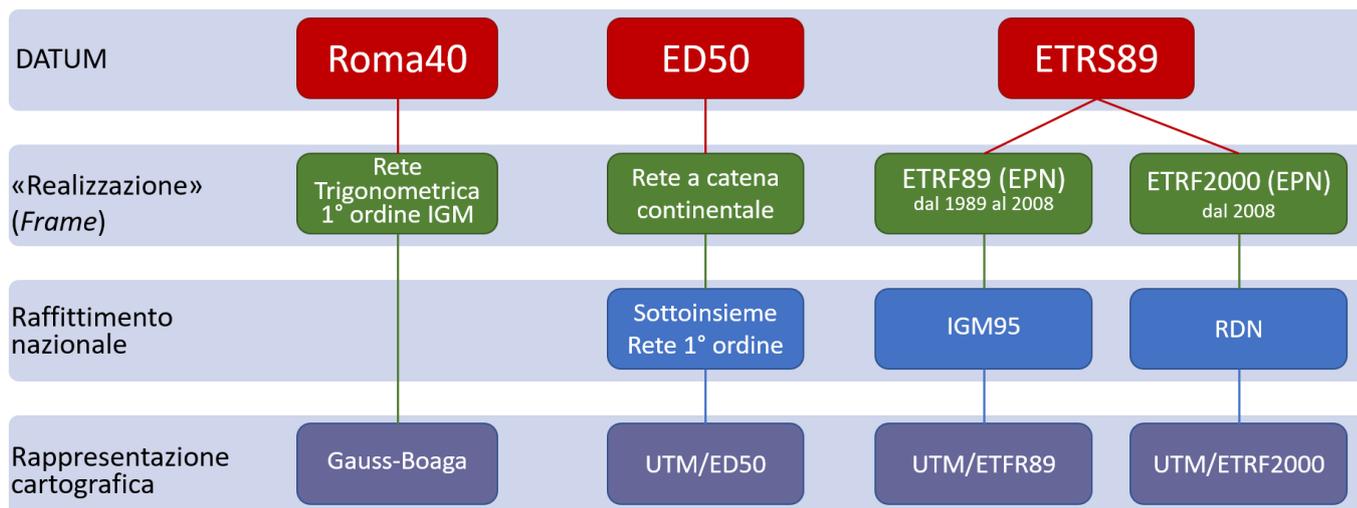


Figura 3 – I datum con riferimento ai lavori cartografici e topografici eseguiti in Italia.

## 2. I datum globali per il rilievo satellitare

Sul finire del secolo scorso iniziò a diffondersi, fino ad affermarsi definitivamente e in modo irruente, l'utilizzo delle tecniche **satellitari** anche nell'ambito dei lavori *geodetici* e *topografici*. Esse, facendo riferimento alle costellazioni di satelliti *GNSS*, consentono di ottenere, in tempi rapidi e con elevata precisione, le posizioni tridimensionali dei punti rispetto a uno specifico sistema di riferimento (v. unità I1 del volume 2). Il carattere globale, implicito nei sistemi di posizionamento satellitare, rende poi non più eludibili le valutazioni connesse ai **movimenti** della **crosta** terrestre.

Tale tecnologia (anche per gli obiettivi militari che aveva, ed ha tutt'ora) richiede l'adozione di *datum* **tridimensionale** con validità **globale** (dunque riferito all'intero Pianeta), e non solo per regioni geografiche, più o meno estese, come avveniva nell'ambito dei *datum* con *orientamento locale*.

A tutti questi *datum* vengono associati sistemi di riferimento tridimensionali **solidali** e **geocentrici** con il pianeta Terra. Per tale proprietà essi vengono anche indicati con la sigla *ECEF* (*Earth Centered - Earth Fixed*).

Tali sistemi di riferimento tridimensionali sono individuati da una *terna di assi* cartesiani **OXYZ geocentrica**, avente cioè l'origine coincidente con il *centro di massa* terrestre, e **solidale** alla Terra (Figura 4), quindi indotta a seguire rigidamente quest'ultima nei suoi moti (v. sezione B volume 1 e unità I1 volume 2).

Come accennato in precedenza, per consentire la *trasformazione* delle coordinate cartesiane *geocentriche* in quelle *plano-altimetriche*, necessarie nel nostro contesto tecnico, alla terna cartesiana spaziale e geocentrica viene associato un **ellissoide geocentrico**.

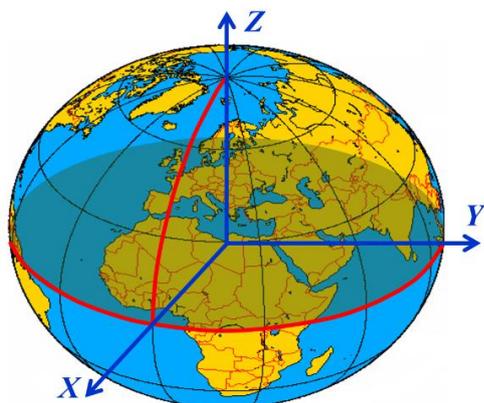


Figura 4 – Terna geocentrica di assi cartesiani solidale al Pianeta

Per consentire poi l'effettivo utilizzo dei *datum globali* (come, peraltro anche per quelli *locali*), rendendoli accessibili e utilizzabili dall'utenza tecnica, è necessaria, come visto, una «**realizzazione**», o «**frame**», del *datum*. Questa è costituita da un insieme di **punti materializzati** sul terreno, che formando una **rete di inquadramento compensata**, per i quali vengono determinate le relative posizioni con procedure satellitari.

Essendo globale il *campo operativo* di questi *datum*, anche le connesse reti di «**realizzazione**» sono estese in tutti i continenti, salvo poi procedere, a cura dei singoli Paesi, a una loro **integrazione** costituita da **reti di raffittimento**

a livello locale (nazionale), la cui funzione è quella di propagare il *datum* sul territorio rendendolo a disposizione all'utenza tecnica. Tali reti geodetiche possono essere catalogate in due tipologie.

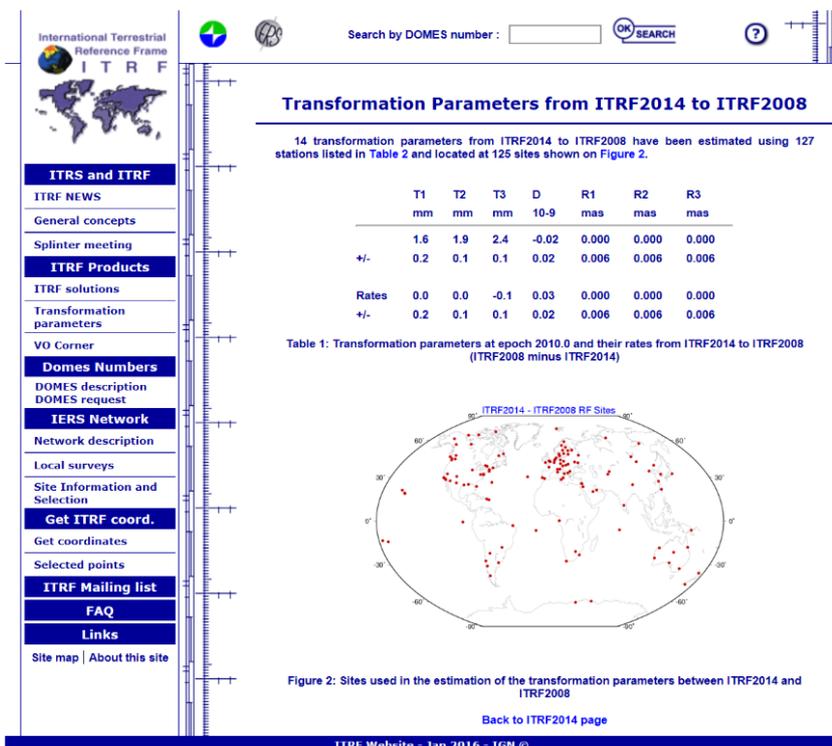
- Reti **dinamiche**: sono le più recenti e sono costituite da **stazioni permanenti** materializzate sul terreno o su manufatti con apposito *segnale* (es. pilastrino), collocate in zone a cielo aperto e corredate di un **ricevitore GNSS attivo** in modo continuo che effettua misure h24. La rete viene *ricalcolata* e *ricompensata* periodicamente in un *centro di elaborazione*, al quale sono collegate le stesse stazioni, utilizzando le misure che si accumulano nel tempo. Le posizioni di tali stazioni permanenti variano nel tempo, a causa dei movimenti delle **placche tettoniche**; esse vengono rese disponibili via web unitamente all'epoca di riferimento.
- Reti **statiche**: si tratta, di fatto, di stazioni analoghe quelle tradizionali, costituite da *segnali* sui quali il *ricevitore satellitare* viene montato solo al momento della misura e per la **sola durata** necessaria alle stesse misure. La loro determinazione richiede la realizzazione di una specifica sessione di misure. Gli *intervalli* tra tali sessioni di misura, in generale, sono di svariati anni, durante i quali i *movimenti* della crosta terrestre vengono trascurati. Peralto ciò è del tutto trascurabile nell'ambito delle normali operazioni in ambito tecnico-operativo, nelle quali interessa la posizione *relativa* tra i punti, piuttosto che la loro posizione assoluta.

## ■ Datum WGS84

Il *datum WGS84*, intrinseco al sistema satellitare statunitense *GPS*, è il **prototipo** dei *datum globali*, a cui è associata la *terna geocentrica* rappresentata in **Figura 4**; esso è stato descritto nel contesto dell'unità *I1* del volume 2.

Attualmente le applicazioni civili del *datum WGS84* operano nel contesto della *navigazione* (come i navigatori satellitari delle auto), eseguendo *posizionamenti assoluti* (un solo ricevitore) caratterizzati da una **modesta precisione** ma più che sufficiente per le finalità di tali applicazioni.

Tuttavia, più in generale, le applicazioni topografiche richiedono una maggiore accuratezza nel posizionamento dei punti, ottenibile solo con il *posizionamento relativo*, col quale vengono determinate le differenze di coordinate tra punti incogniti rispetto a un punto noto (v. unità *I1* volume 2).



**Figura 5** – pagina web contenente i parametri per la trasformazione dal frame *ITRF2014* a quello *ITRF2008* e ricavati dalle stazioni permanenti riportate nella mappa sottostante.

## ■ Datum ITRS

A livello internazionale, e con finalità *scientifiche*, successivamente, venne codificato e mantenuto dall'organizzazione *IERS* (*International Earth Rotation and Reference System Service*) il *datum ITRS* (*International Terrestrial Reference System*) materializzato a terra da una rete di **Stazioni Permanenti** (il *Frame* o *Realizzazione*), distribuite sull'intero Pianeta, che effettuano misure satellitari con ricevitori *GNSS* fissi. La rete viene ricalcolata

ciclicamente con le misure accumulate nel tempo, e i risultati vengono pubblicati con la notazione *ITRFxxxx* (*International Terrestrial Reference Frame xxxx*), dove *xxxx* indica l'anno a cui è riferita la determinazione (es. *ITRF2008*).

La **terna geocentrica** del *datum ITRS*, inizialmente coincidente con l'analoga terna del *datum WGS84*, se ne è poi successivamente discostata a seguito delle periodiche determinazioni e a causa dei movimenti della crosta terrestre in quanto il *frame* del *datum ITRS* raggiunge precisioni tali da poter rilevare e misurare i **movimenti relativi** tra le *placche* tettoniche in cui è suddivisa la crosta terrestre. Proprio per questa attitudine, e per la grande *affidabilità* delle relative determinazioni, tale *datum* consente uno studio molto accurato, di interesse scientifico, in merito ai mutamenti a cui è sottoposta la *crosta terrestre*.

Tuttavia, nell'ambito dell'utenza tecnico professionale, questo *datum* pone difficoltà di utilizzo pratico per la rapidità con la quale variano nel tempo le coordinate dei punti, che costringe a continue operazioni di **trasformazione** utilizzando i parametri pubblicati periodicamente via web (Figura 5).

A ciò si pose rimedio con successivi *datum* che tengono conto anche delle esigenze di tipo tecnico, e non solo scientifico, in cui la *precisione* deve essere coniugata a una maggiore *praticità* e stabilità nel tempo.

### ■ Datum ETRS

Il *datum ITRS*, essendo materializzato da una rete di stazioni distribuite sull'intero Pianeta richiede, come visto, *rideterminazioni* ravvicinate nel tempo per tenere conto dei *movimenti* della crosta terrestre e garantire l'*affidabilità* che lo caratterizza.

Tuttavia, osservando che i territori dei Paesi europei ricadono, di fatto, all'interno di **una stessa placca** tettonica, l'organizzazione geodetica europea *EUREF* (in cui l'Italia è rappresentata dall'*IGM*) ha definito uno specifico *datum solidale* e *vincolato* alla stessa *piattaforma continentale euro-asiatica*. In questo modo le posizioni relative dei punti ubicati sul nostro continente **non sono influenzate** dal moto rigido d'insieme della *placca* (circa 2 cm/anno in direzione nord-est). Tale *datum* fu denominato *ETRS89* (*European Terrestrial Reference System 1989*) con associato il *frame* (o «*realizzazione*») *ETRF89* (*European Terrestrial Reference Frame 1989* e attualmente, come vedremo, l'*ETRF2000*). La **terna geocentrica** del *datum ETRS89* inizialmente coincideva con quella del *datum WGS84*. Per questa ragione, in un primo momento, il nuovo *datum* veniva indicato sui prodotti geodetici (con l'intento di semplificare, ma erroneamente) con la sigla *WGS84*.

La materializzazione di tale «*realizzazione*» è costituita da una **rete di stazioni permanenti dinamiche GNSS** denominata *EPN* (*European Permanent Network*), di cui circa venti si trovano sul territorio italiano (la gran parte al centro e al nord); essa, come detto, è strettamente connessa alla piattaforma continentale europea di cui segue rigidamente i relativi movimenti *complessivi* di deriva (Figura 6).

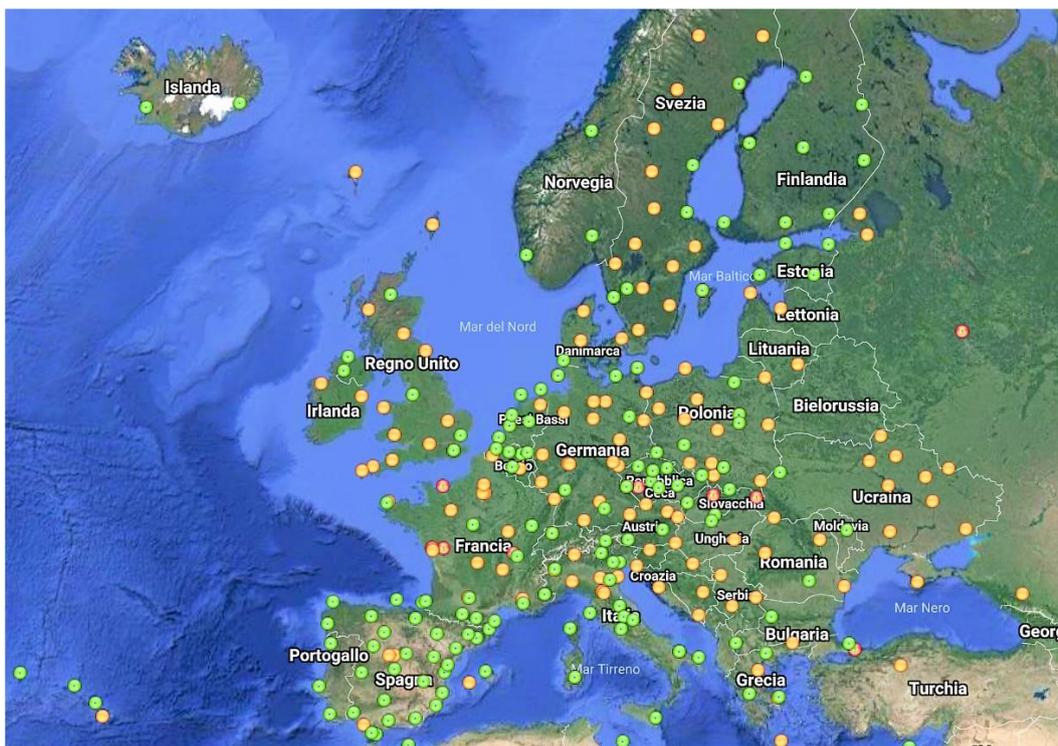


Figura 6 – Rete europea di stazioni permanenti EPN (*European Permanent Network*).

Con tali premesse ne consegue che nel tempo le coordinate dei punti nell'ambito del *datum ETRS* sono dovute **solo** agli spostamenti **relativi** tra gli stessi punti, e non al movimento rigido della placca continentale (come avviene nel *datum ITRS*).

Pertanto, in tale contesto, le variazioni delle posizioni dei punti sono decisamente più lente, dunque molto più **stabili** nel tempo (valutabile indicativamente in dieci anni), rispetto a quelle che si riscontrano in *ITRS*.

Osserviamo come sia modesto il numero delle *stazioni* della rete **EPN** che ricadono sui *singoli territori nazionali* (come detto in Italia sono venti), dunque con una **densità inadeguata** per le tradizionali operazioni topografiche. Per ovviare a tale inconveniente fu necessario procedere alla realizzazione di *raffittimenti locali* (nell'ambito di ciascuna Nazione) della rete *EPN*.

A questo proposito nella prima metà degli anni Novanta l'*IGM* realizzò a questo fine la **Rete statica** denominata **IGM95**. Come visto (v. unità *H1* del volume 2) essa in origine era costituita da circa 1200 vertici, distribuiti pressoché uniformemente su tutto il territorio nazionale, e successivamente portata a circa 2000 vertici, naturalmente, collegata alle stazioni della rete europea *EPN*.

Trattandosi di una *rete statica* il gestore (l'*IGM*) procede a un **aggiornamento** delle coordinate dei suoi vertici quando gli spostamenti accumulati nel tempo si avvicinano a valori non più trascurabili; ciò avvenne nel 2008 (contestualmente all'istituzione della rete *RDN* sotto descritta) in cui fu stato reso disponibile l'aggiornamento delle coordinate *IGM95* attuando la «realizzazione» *ETRF2000* all'epoca 2008 del *datum ETRS89*.

### ● La Rete Dinamica Nazionale

Con il nuovo millennio sono poi state realizzate da Enti Pubblici (in particolare dalle Regioni e da alcune Università) anche un numero significativo di **reti dinamiche** con **Stazioni Permanenti GNSS** sulle quali funziona con *continuità* un ricevitore *GNSS*. La funzione di tali *reti* è quella di fornire un servizio al tecnico rilevatore consistente nella fornitura (in *tempo reale* o in *post-processamento*) delle osservazioni acquisite dalle stesse *Stazioni Permanenti* (v. unità *I1* del volume 2). In questo modo un operatore che occupa con il suo *ricevitore GNSS* un nuovo punto incognito può utilizzare i dati acquisiti dalla *Stazione Permanente* più vicina della rete, per calcolare la *baseline GPS* tra questo punto e la stessa stazione (*GPS differenziale*).

Successivamente l'*IGM* (in accordo e in collaborazione con le stesse Regioni) selezionò in modo opportuno 100 di queste *stazioni permanenti* (distanti 100-150 km) operanti in **continuo**, e, *collegandole* in rete e *compensandole*, realizzò la **Rete Dinamica Nazionale (RDN)** (Figura 7) con l'obiettivo di migliorare sensibilmente l'accuratezza della «realizzazione» del *datum ETRS89* in Italia. Essa è stata **omologata** nel maggio 2009 dall'EUREF come *raffittimento locale di EPN*.



Figura 7 – Stazioni permanenti della Rete Dinamica Nazionale

## ■ «Realizzazione» ETRF2000 del datum ETRF89

Nel febbraio del 2012 (in attuazione del D.M. 10/11/2011), venne pubblicato il decreto della Presidenza del Consiglio dei Ministri relativo all'adozione del nuovo datum per le attività topo-cartografiche. La finalità era quella di favorire lo scambio di informazioni geografiche fra Enti Pubblici e di semplificare l'attività tecnica.

Da quella data l'ETRS89, frame ETRF2000 diviene il datum ufficiale dello Stato (è la prima volta che succede) e la rete dinamica RDN ne costituisce la materializzazione sul territorio, in quanto raffittimento della rete europea EPN in Italia, e la Rete statica IGM95 (aggiornata) contribuisce alla struttura materiale del nuovo Sistema.

Il cambio di «realizzazione» del datum ha obbligato ad aggiornare i seguenti elementi geodetici.

- La rete IGM95 d'impianto è stata **ricalcolata** collegando ai punti di impianto della stessa rete 45 stazioni della rete dinamica RDN
- Di conseguenza è stato eseguito il ricalcolo di tutti i **raffittimenti** della rete IGM95 successivi al 1996, comprese le reti regionali NRTK, che risultano così inglobate nel sistema.

L'importanza introdotta dalle reti RDN e IGM95 ricalcolata (oltre alle reti di Stazioni Permanenti regionali) associate alla adozione della «realizzazione» ETRF2000 non costituisce un puro evento teorico circoscritto alle grandi operazioni geodetiche, ma, nel tempo, avrà ricadute anche nelle tradizionali operazioni topografiche.

In effetti la presenza sul territorio di una adeguata densità di Stazioni Permanenti costantemente attive, favorisce in modo decisivo il rilievo dei punti incogniti in tempo reale NRTK (Network Real Time Kinematic) (v. unità 11 del volume 2); esse, infatti, consentono al centro di calcolo della rete di valutare gli **errori sistematici** presenti nelle misure GNSS, in un dato istante e nell'area di competenza della stazione, e di inviare in tempo reale al ricevitore dell'utente le opportune **correzioni** da apportare alle misure per eliminare tali errori sistematici.

In questo modo è possibile ottenere, con ottima precisione, le coordinate della posizione del punto di sosta del ricevitore rover GNSS utilizzato durante il rilievo rispetto allo stesso sistema riferimento materializzato dall'insieme delle stazioni della Rete NRTK. Essendo tali stazioni inserite nel sistema ETRF2000, anche le coordinate acquisite dal ricevitore dall'operatore, come conseguenza, saranno riferite allo stesso sistema, senza la necessità di ricorrere a posteriori a **trasformazioni** di coordinate.

## 3. Trasformazione delle coordinate di un punto tra diversi datum

È naturale che lo stesso punto, riferito a due **diversi datum**, presenti coordinate **diverse**, con differenze che possono anche essere sensibili; pertanto, quando si forniscono le **coordinate** di un punto, è necessario specificare (qualora non sia implicito) il datum a cui sono riferite.

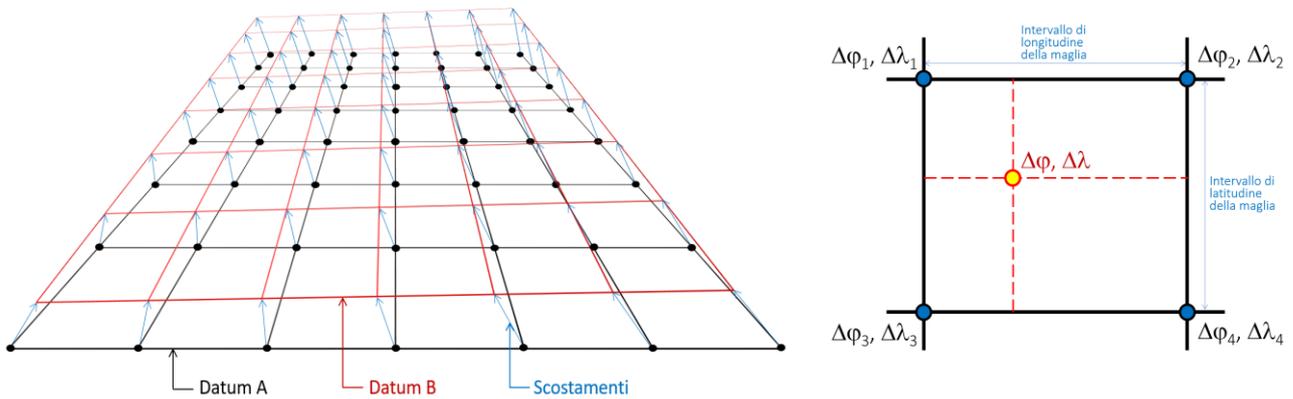
La **riproiezione** delle coordinate dei punti può avvenire nei seguenti ambiti.

- **Conversione:** è il passaggio tra le coordinate riferite a diversi sistemi nell'ambito dello **stesso datum** (ad esempio dalle coordinate *cartesiane geocentriche*  $X, Y, Z$  alle coordinate *geografiche*  $\varphi, \lambda$  nel datum ETRS89). Si effettua sempre in modo rigoroso, utilizzando formule analitiche, senza alcuna approssimazione. Tutti i software associati ai ricevitori GNSS implementano le formule necessarie per la conversione.
- **Trasformazione:** è una procedura più complessa della precedente e avviene tra coordinate relative a sistemi di riferimento appartenenti a **datum diversi**, dunque orientati in modo differente. Può essere eseguita con diverse modalità, ma essendo soggetta a **parametri di trasformazione** tra i sistemi di riferimento, noti solo con **approssimazione**, implicano, pertanto, una **perdita di precisione** nella **riproiezione** delle coordinate dei punti.

Dunque il passaggio delle coordinate, da un datum A a un datum B, non è una semplice variazione geometrica, ma la creazione di un **modello** che rappresenta gli **scostamenti** delle relative coordinate mediante **interpolazione fra punti noti** appartenenti ai due datum A e B oggetto della trasformazione. La tecnica al momento più utilizzata è quella di trasformazione mediante **grigliati**, peraltro attualmente utilizzata dall'IGM in sostituzione del metodo delle **rototraslazioni** che utilizzano **sette parametri** presenti nella prima serie di **monografie** delle stazioni della rete IGM95 (trasformazione di Helmert).

I **grigliati** sono **file di testo** con estensione \*.GRx e \*.GKx (x assume i valori 1 o 2), forniti in modo oneroso dall'IGM, impostati su **matrici (griglie) di differenze di coordinate geografiche** i cui nodi rappresentano le **variazioni**  $\Delta\varphi$  e  $\Delta\lambda$  di coordinate geografiche (*latitudine*  $\varphi$  e *longitudine*  $\lambda$ ) tra due datum la cui validità è circoscritta a estensioni limitate e predefinite, corrispondenti a un Foglio 1:50 000 della carta d'Italia.

La formazione di queste **griglie** è resa possibile dalla conoscenza, per ciascun punto dell'area coperta dalla griglia, della **differenza** tra le coordinate espresse nell'ambito dei due datum considerati (Figura 8a), oltre ai valori delle **ondulazioni**  $N$  del geoide che consentono di ottenere la **quota ortometrica** da quella **ellissoidica**.



**Figura 8** – Principio dei *grigliati* per la conversione delle coordinate da un Datum A a un Datum B. Essi si basano sulla conoscenza tra gli spostamenti delle coordinate dei due datum in corrispondenza dei nodi della griglia raccolti in un file di testo.

La trasformazione tra le coordinate di un punto riferite a un *datum A* in quelle di un *datum B*, è espressa come **correzioni** costituite dalle differenze  $\Delta\varphi$  e  $\Delta\lambda$  sui nodi di una griglia. Le correzioni dei punti intermedi (circostanza largamente prevalente) sono ottenute per **interpolazione bilineare** rispetto a quelle dei quattro nodi della maglia che contiene il punto (Figura 8b).

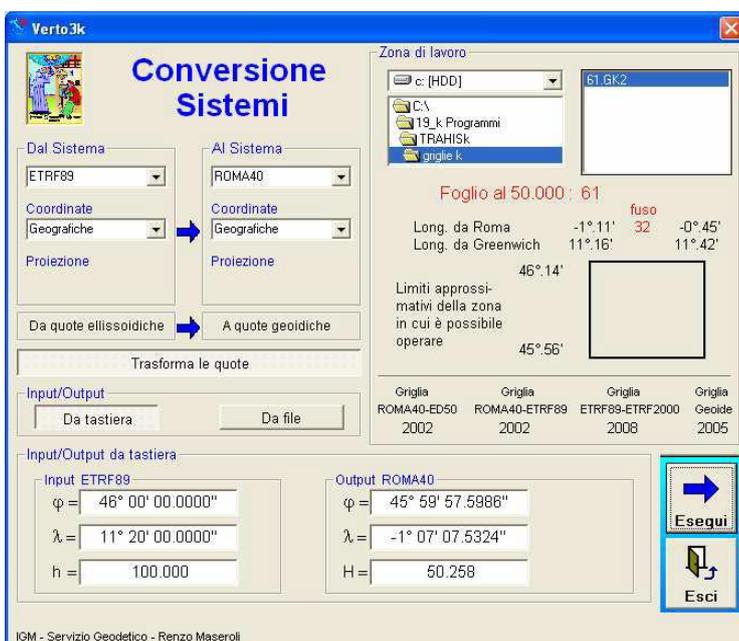
La trasformazione avviene nell'ambito del software **Verto** (versione più recente *Verto3k* di cui in Figura 9 è riportata l'interfaccia utente) anch'esso distribuito in modo oneroso dall'IGM con chiave di protezione hardware (chiavetta USB). Il software **Verto** trasforma indistintamente sia le *coordinate geografiche* (latitudine e longitudine) che le *coordinate cartografiche piane* (Nord, Est). Esso è in grado di leggere e interpretare i file di testo (*grigliati*) che contengono le *variazioni*  $\Delta\varphi$  e  $\Delta\lambda$ , e fornire il risultato della trasformazione, ed è anche in grado di esportare i risultati della trasformazione in formato *Excel*.

L'introduzione delle coordinate da trasformare può avvenire **manualmente** da tastiera utilizzando gli appositi *box di input* presenti nella *maschera* di interfaccia (Figura 9). Tuttavia, l'introduzione può anche avvenire compilando un **file di testo**, opportunamente *strutturato* con un *formato* indicato nelle istruzioni di utilizzo del software, che successivamente viene indicato nella stessa *maschera* di interfaccia.

Nel tempo i *grigliati* IGM sono stati disponibili nelle seguenti versioni:

- **GR1** – relativi ai *datum*: ROMA40-ED50-ETRF89, geoidi Italgeo99
- **GR2** – relativi ai *datum*: ROMA40-ED50-ETRF89, geoidi Italgeo2005
- **GK1** – relativi ai *datum*: ROMA40-ED50-ETRF89-ETRF2000, geoidi Italgeo99
- **GK2** – relativi ai *datum*: ROMA40-ED50-ETRF89-ETRF2000, geoidi Italgeo2005

Le versioni attualmente distribuite da IGM sono la **GK1, GK2**.



**Figura 9** – Maschera per la trasformazione delle coordinate del software Vert3k.

Inoltre sono anche disponibili i *grigliati* nel formato **NTv2** (formato canadese, che sta diventando lo standard internazionale), già utilizzato dalla Regione Emilia-Romagna. I grigliati **NTv2** sono costituiti da file in formato **binario** che includono i medesimi valori delle *griglie IGM*, ma con il vantaggio di essere «leggibili» non solo da *Verto* ma anche dai software GIS consentendo così una maggiore fruibilità dei dati geo-cartografici. Inoltre le griglie *NTv2* sono riferite ad aree geografiche di estensione variabile sicché l'utente può acquisire il prodotto adeguato e limitato alle proprie esigenze.

Oltre al software *Verto*, per *convertire* o *trasformare* le coordinate da un *datum* a un altro, son disponibili anche altri software (es. CartLab, Traspunto, gratuiti ma meno affidabili del sistema *IGM* costituito dall'abbinamento *Verto/Grigliati*), oltre a **funzionalità** contenute in certe piattaforme GIS/SIT (in questo caso con più o meno evidenti limitazioni). È inoltre disponibile il **Geoportale Nazionale**, gestito dal *Ministero dell'Ambiente*, che mette a disposizione in modo gratuito un *servizio di trasformazione* delle coordinate (Figura 10).



**Figura 10** – Home-page del Geoportale Nazionale. Nella cartella «Servizi» è presente la funzione per la trasformazione di coordinate.



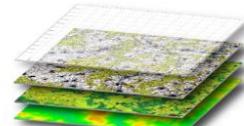
#### Qui puoi cercare...

... tutte le informazioni territoriali ed ambientali che cerchi. Accedi alla sezione per cercare gli



#### Qui puoi vedere...

...l'Italia dall'alto, e non solo. Accedi alla sezione per consultare la cartografia disponibile. E



#### Qui puoi costruire...

...la tua mappa utilizzando i vari servizi di visualizzazione e di download dei dati

## 4. Il Fuso Italia

Alla realizzazione *ETRF2000* del *datum ETRS89* è stato anche associato un nuovo sistema cartografico sperimentale denominato «*Fuso Italia*» e progettato nel 2003 al fine di proiettare tutto il territorio nazionale su un **unico fuso**, dunque senza soluzione di continuità. Tale soluzione è particolarmente adatta nell'ambito dei sistemi GIS/SIT per la *georeferenziazione* di immagini cartografiche che interessano l'intero territorio nazionale.

In effetti le rappresentazioni cartografiche di Gauss (Gauss-Boaga e UTM), per la loro suddivisione in *fusi* (al fine di *limitare le deformazioni*), risultano *discontinue* nelle zone di passaggio tra i fusi, e, pertanto, ostacolano in qualche modo la realizzazione di una base geometrica omogenea riguardante l'intero territorio nazionale nell'ambito dei sistemi informativi territoriali.

Per corrispondere a tale necessità, l'*IGM* ha introdotto il citato sistema cartografico «*Fuso Italia*»; esso è sempre associato al *datum ETRS89*, dunque utilizza la rappresentazione **conforme di Gauss**, ma con un **unico fuso** di ampiezza di 12° di longitudine, con il meridiano centrale posto a 12° di longitudine Est (Roma Monte Mario si trova a 12°27'07",66 Est *Datum ETRS89*). Per rendere minime le deformazioni medie nell'ambito dell'intero territorio nazionale (mediamente **superiori** a quelle relative alla scelta del doppio fuso), in corrispondenza del meridiano a 12° (meridiano centrale) è stato adottato un **fattore di correzione**, moltiplicativo delle coordinate (per ripartire e minimizzare le deformazioni sull'intero fuso), di 0,9985, che si discosta da 1 molto più del valore 0,9996 adottato nel sistema *Gauss-Boaga* (v. unità L2 del volume 2).

Infine si è adottata una **Falsa Origine** convenzionale di 7000 km assegnata alle ascisse appartenenti al meridiano centrale, per *escludere valori negativi* e prevenire *ambiguità* con le ascisse di altri sistemi.

Riassumendo, il *fuso Italia* presenta le seguenti caratteristiche (Figura 11a):

- *Meridiano centrale*: longitudine 12° Est di Greenwich
- *Ampiezza del fuso*: 12° di longitudine (da 6° a 18°)
- *Fattore di correzione*: 0,9985 (in corrispondenza del meridiano centrale)
- *Falsa Origine asse Est*: 7 000 000 m

Ricordiamo che l'adozione di un *fattore di correzione* inferiore a 1 corrisponde ad adottare un cilindro di proiezione **secante**, e non *tangente*, all'ellissoide in corrispondenza del meridiano centrale, al fine di contenere le *deformazioni massime* nelle zone ai **bordi** del fuso, pur accettando un aumento delle deformazioni nelle zone prossime al *meridiano centrale*, che, al contrario, presenterebbero *deformazioni minime* senza l'adozione di un fattore di correzione <1.

Ciò premesso è evidente che la scelta di un *fattore di correzione* (0,9985) che si discosta sensibilmente (in questo contesto) da 1, a causa dell'**ampiezza doppia** del fuso, penalizza le zone prossime al meridiano centrale con  $\lambda=12^\circ$  nelle quali le **deformazioni** sono mediamente dell'ordine di 150 cm/km (Figura 11b). Tale quantità è giudicata *tollerabile* per rappresentazioni a **piccola scala** utilizzate nell'ambito dei *sistemi informativi territoriali* che interessano l'intero territorio nazionale, tuttavia sono *eccessive* (dunque inammissibili) alle *medie e grandi scale* tipiche delle CTR e delle applicazioni tecniche.

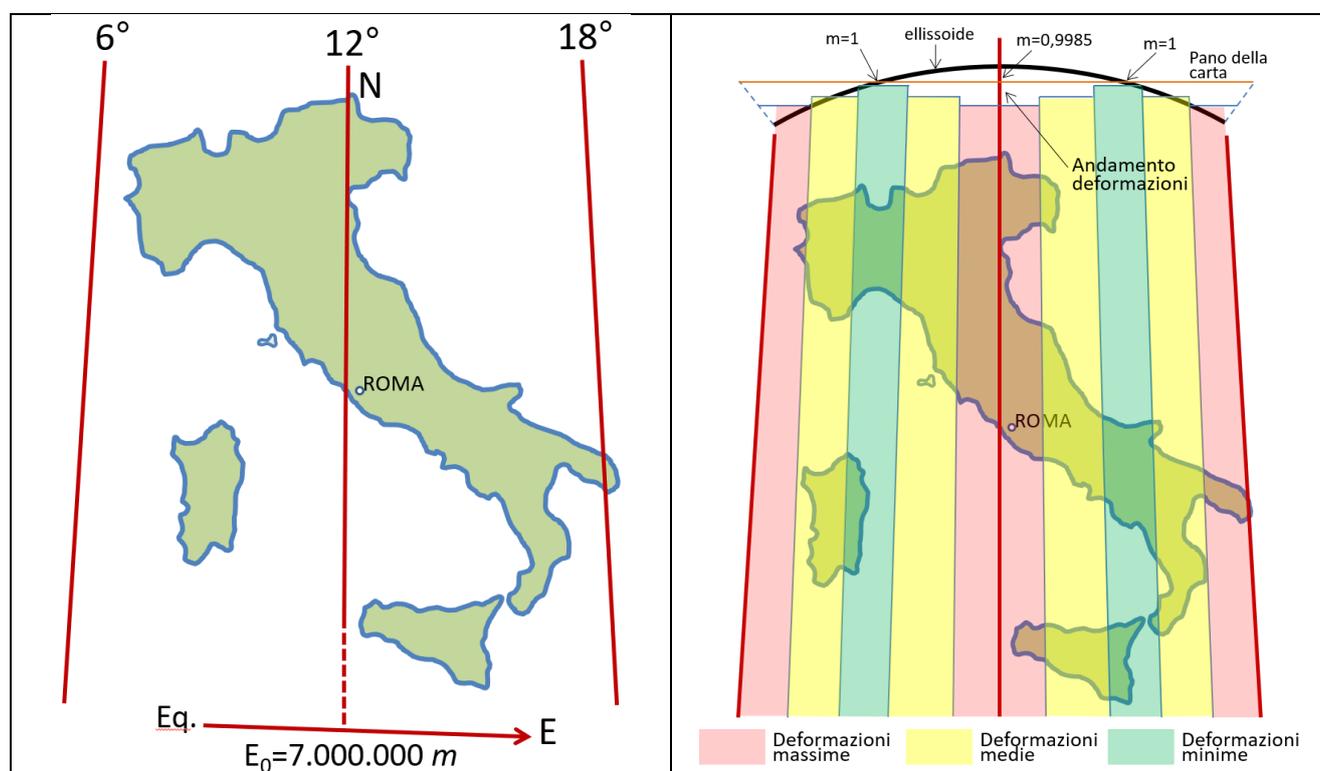


Figura 11 – (a) Caratteristiche geografiche del «Fuso Italia», e (b) andamento delle deformazioni sul territorio nazionale

L'andamento delle **deformazioni** connesse all'adozione dell'unico «Fuso Italia» sono massime proprio nelle zone prossime al meridiano centrale che segna il passaggio tra il fuso UTM 32 e quello 33, laddove si presentano anche le problematiche connesse alla relativa **discontinuità**.

Le Regioni che di fatto vengono più penalizzate dall'adozione del «Fuso Italia» e dal connesso andamento delle deformazioni sono: Umbria, Lazio, Toscana, Emilia Romagna, Trentino Alto Adige e Veneto. Per quest'ultima Regione, di fatto a cavaliere del meridiano centrale a 12° di longitudine (ma che corrisponde anche al passaggio tra i fusi 32 e 33 UTM), è stato «**proposto**» un novo **fuso unico alternativo** al Fuso Italia per il Veneto e per le altre zone afflitte da simili problematiche, denominato «**Fuso 12**», di cui ne assume le caratteristiche geografiche ma con le seguenti variazioni.

- *Fattore di correzione*: 1 (in corrispondenza del meridiano centrale: cilindro tangente all'ellissoide)
- *Falsa Origine asse Est*: 3 000 000 m