



**Università degli Studi di Perugia
Facoltà di Ingegneria**

Corso di Topografia – A.A. 2008/09

Prof. Fabio Radicioni

DATUM E COORDINATE NELLA GEODESIA

Dispensa redatta da:

Fabio Radicioni

Aurelio Stoppini

1. I DATUM GEODETICI

1.1. Premessa

Si definisce **datum geodetico**, o semplicemente **datum**¹, un sistema di riferimento che permette di esprimere in termini numerici la posizione di punti della superficie fisica della Terra o prossimi ad essa. L'operazione con cui si esprime la posizione di un punto o di un oggetto qualsiasi, mediante opportune coordinate in un assegnato datum, prende il nome di **georeferenziazione**.

E' possibile definire un datum geodetico in diversi modi. La definizione ha sempre carattere convenzionale, e nella pratica si ottiene mediante un insieme di punti *materializzati* (cioè fisicamente realizzati, ad es. mediante piastre metalliche fissate a manufatti) sulla superficie terrestre, ai quali vengono attribuiti determinati valori delle coordinate. Tale operazione viene detta *realizzazione* del datum. In sostanza, un datum può essere *definito* teoricamente come si vuole, ma se lo si vuole utilizzare deve essere *realizzato* attraverso punti materializzati sul terreno e misure che permettano di determinare le coordinate di tali punti.

Per le applicazioni geodetiche e cartografiche, compreso l'utilizzo del GPS, si impiegano sistemi di riferimento **solidali con la Terra (Earth-Fixed)**. In un sistema di questo tipo, le coordinate dei punti della superficie terrestre "non variano" nel tempo. In realtà, le coordinate variano nel tempo, per effetto delle deformazioni della crosta terrestre - deriva dei continenti, fenomeni sismici, ecc. - ma lo fanno molto lentamente. La Terra ha un moto con componenti di rotazione, non rettilineo ed uniforme, quindi un sistema Earth-Fixed *non è inerziale*.

In altre applicazioni, come l'astronomia o lo studio del moto dei satelliti, si utilizzano invece sistemi *inerziali*, in cui la Terra risulta essere in movimento. Un sistema di questo tipo non sarebbe utilizzabile per la Topografia perché le coordinate dei punti cambierebbero a velocità grandissima.

La definizione di datum geodetico, come vedremo tra poco, è **tridimensionale**. Nella geodesia moderna, basata sui satelliti, il datum viene utilizzato in modo tridimensionale, mediante le coordinate geocentriche (v. oltre) o le coordinate geografiche associate alla quota ellissoidica.

Nella geodesia classica i datum venivano impiegati solo per la **planimetria**, perché l'altimetria veniva trattata a parte. Si parla in questo caso di **horizontal datum**.

L'**altimetria** espressa mediante le quote *ortometriche* (o *geoidiche*) richiede la definizione di un datum a parte (**vertical datum**) basato su uno zero di riferimento (mareografo) e una rete di livellazione, a cui va poi associato un modello di geoide.

1.2. Definizione dei datum nella geodesia classica

Nella geodesia classica, che si basava su misure eseguite a terra, la definizione di datum è fondata sul concetto di *superficie di riferimento*, ossia una superficie matematica ideale sulla quale vengono sviluppati i calcoli geodetici e definiti i sistemi di coordinate.

Nella pratica, la definizione classica di un datum consiste nell'individuare **un ellissoide orientato localmente**. Si sceglie un determinato ellissoide (Hayford, Bessel, ...), e si assumono come noti e privi di errore i suoi parametri di dimensione e forma (ad es. semiasse maggiore e schiacciamento). Questo ellissoide viene poi **orientato** in un dato punto (detto **punto di emanazione**) imponendo che in quel punto si verificino le seguenti tre condizioni geometriche:

- *la normale ellissoidica coincida con la verticale;*
- *la direzione del meridiano ellissoidico coincida con quella del meridiano astronomico;*
- *la quota ellissoidica coincida con quella ortometrica.*

¹ *datum* = dal latino, qui va inteso come "ciò che è dato". La scelta del sistema di riferimento è il primo passo per qualsiasi rilievo o realizzazione di cartografia, è a monte di tutto il resto (misure, calcoli, rappresentazione, ...).

Per realizzare in pratica le predette condizioni si opera come segue:

- si determinano le **coordinate geografiche astronomiche** (latitudine e longitudine astronomica) del punto di emanazione, effettuando misure su una serie di stelle note con un teodolite astronomico²; si determina rispetto alle stelle anche la direzione del meridiano (*meridiano celeste* o astronomico)³;
- le coordinate geografiche astronomiche così calcolate vengono attribuite al punto di emanazione come coordinate geografiche ellissoidiche, e la coincidenza del meridiano si ottiene imponendo per una determinata direzione che l'azimut (angolo contato a partire dal meridiano in senso orario) ellissoidico sia pari a quello astronomico.

Nel datum italiano ROMA 40, ad esempio, l'ellissoide è quello di Hayford, e l'orientamento è stato effettuato a Roma M.Mario (osservatorio astronomico e punto di emanazione della rete geodetica nazionale) con misure astronomiche del 1940. La direzione su cui è stata imposta la coincidenza dell'azimut è il lato M.Mario - M.Soratte della rete geodetica fondamentale.

Nel punto di emanazione, quindi, è **nulla la deviazione della verticale**. In pratica, pertanto, l'ellissoide orientato localmente risulta **tangente al geoide nel punto di emanazione**. Un ellissoide orientato localmente approssima bene la superficie geoidica (ai fini della planimetria) in un intorno del punto di emanazione, fino alle dimensioni di una nazione o anche di una porzione di continente (fig. 1). In questo intorno, la deviazione della verticale si mantiene piccola (al massimo qualche decina di secondi, pari all'errore residuo di verticalità di un teodolite verticalizzato con una livella, v. seconda parte del corso), e può essere in pratica trascurata. Questo è un requisito fondamentale per rendere accurate le misure angolari a lunga distanza, su cui si basava la geodesia classica (v. i cosiddetti Teoremi della Geodesia Operativa)

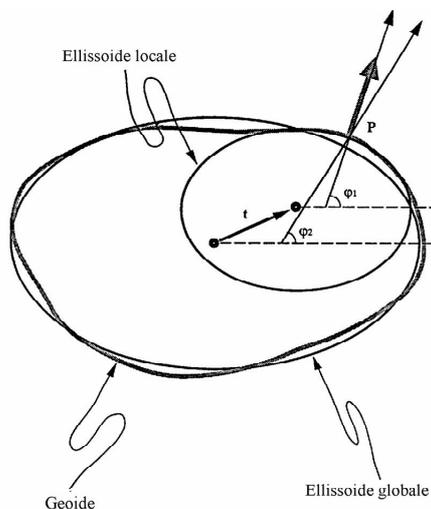


Fig. 1 – Schema delle relazioni tra geoide, ellissoide locale orientato localmente (P è il punto di emanazione) ed ellissoide globale geocentrico [da Beutler]. Già da questa figura si nota come uno stesso punto P abbia, rispetto a due ellissoidi diversi (cioè in due differenti datum), latitudine (e anche longitudine) diversa.

² Per determinare la **latitudine astronomica** un metodo speditivo approssimato (usato storicamente dai naviganti) è quello di misurare l'altezza sull'orizzonte della Stella Polare; in realtà essa non si trova esattamente sul prolungamento dell'asse terrestre, per cui la misura viene ripetuta per una serie di stelle *circumpolari* di posizione nota nel tempo. La determinazione della **longitudine astronomica** si basa sulla determinazione del tempo locale sul meridiano del sito di misura, e il suo confronto con il tempo nel meridiano fondamentale (Greenwich o altro). Occorre un orologio di alta precisione con il quale si misura l'istante esatto in cui una data stella passa sul meridiano locale e lo si confronta con l'orario (dato da tabelle astronomiche) in cui la stessa stella passa sul meridiano fondamentale. I navigatori, dalla metà del '700 in poi (quando furono disponibili orologi di accuratezza adeguata) facevano riferimento al passaggio del sole sul meridiano, che avviene esattamente al mezzogiorno locale, e confrontavano l'ora locale con l'ora di Greenwich data da un orologio di precisione.

³ Per stabilire la direzione del meridiano celeste un metodo approssimato è quello di collimare la Stella Polare con un cannocchiale e poi inclinarlo mantenendolo sul piano verticale contenente la Polare, che è il piano del meridiano.

Si è detto che, nel concreto, la definizione di datum è legata a una serie di punti materializzati sul terreno, e misurati, che ne costituiscono la **realizzazione**. In pratica, **a ogni datum geodetico è strettamente associata una rete geodetica**, derivante da un dato gruppo punti e di misure, e dal relativo calcolo di compensazione. Il calcolo della rete fornisce le coordinate geografiche ellissoidiche dei suoi vertici nel datum adottato. Pertanto la rete geodetica, mediante le coordinate dei suoi vertici, definisce e materializza, cioè *realizza* l'ellissoide di riferimento fino a distanze notevoli dal punto di emanazione. Va tenuto presente che, derivando da misure e da un successivo calcolo numerico di compensazione, la rete geodetica è inevitabilmente caratterizzata da **deformazioni** dovute agli errori di misura e dalle modalità con cui è stato condotto il calcolo, che nella pratica influenzano la concreta definizione del datum.

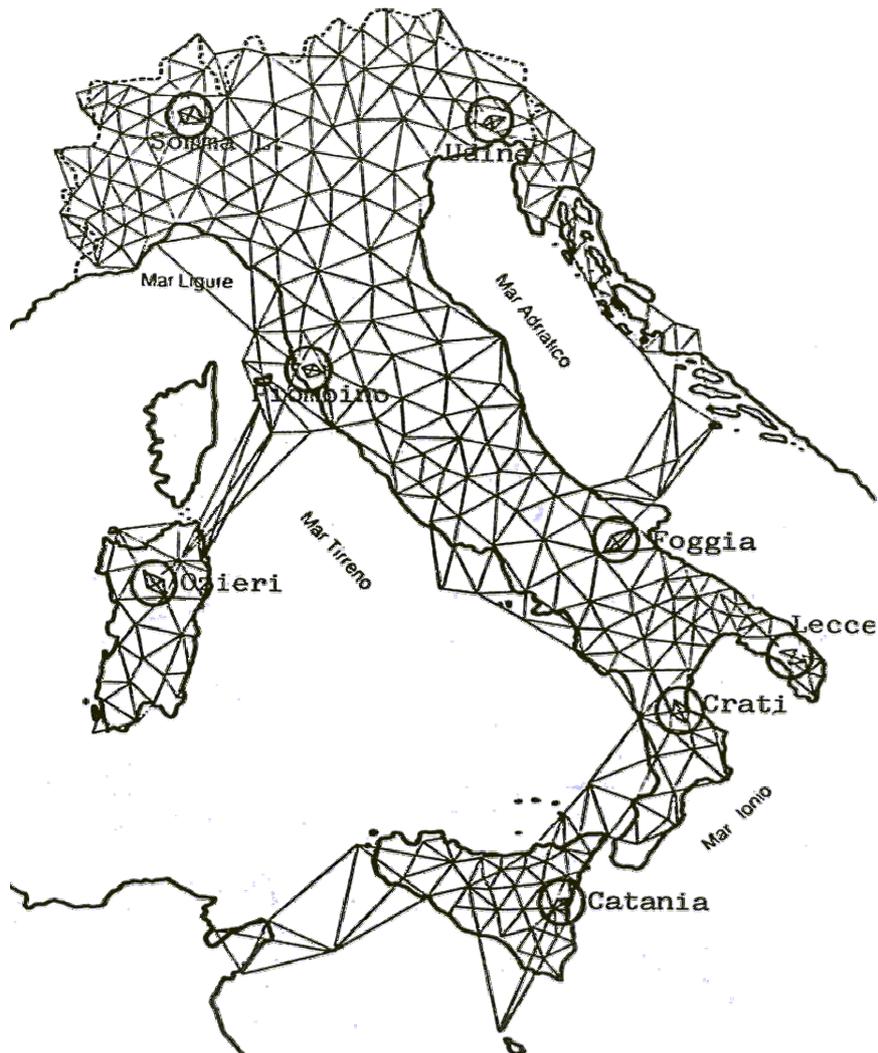


Fig. 2 – La rete geodetica fondamentale (I ordine) dell'IGM nella sua conformazione originaria (ca. 1910). Sono evidenziate le 8 basi (lunghezze) misurate e le relative reti di sviluppo. Tutte le altre misure erano costituite da angoli. I collegamenti con la Sardegna, di eccezionale lunghezza (quasi 150 km), vennero eseguiti di notte con potenti proiettori fotoelettrici [da Tonini]

1.3. I datum classici utilizzati in Italia

In genere, ogni nazione è dotata di uno o più datum geodetici propri che possiamo definire “storici”, la cui definizione è rimasta valida per molto tempo, anche se oggi quasi ovunque sono stati sostituiti da datum globali (v. par. 1.4). Anche in Italia si è verificata nel tempo una progressiva evoluzione delle reti geodetiche e della cartografia. Ancora oggi, per alcune applicazioni e tipi di carte, si utilizzano varie definizioni classiche di datum, tra cui è necessario conoscere almeno le seguenti:

a) **Datum Roma 40** (detto anche **M.Mario 1940**). Sino alla realizzazione italiana del datum ETRS89 mediante la rete IGM95 (v. oltre) il datum Roma 40 costituiva il *Sistema geodetico nazionale*. Si basa sull'**ellissoide internazionale** (così veniva chiamato quello di **Hayford**) orientato a **Roma** (Osservatorio astronomico di M.Mario) con misure astronomiche del **1940**. Il *meridiano fondamentale* in questo datum è quello di M.Mario; la longitudine est si considera convenzionalmente positiva, e quella ovest negativa. In tempi recenti, per agevolare i confronti con altri datum e le trasformazioni (v. oltre) si utilizza in questo datum anche il meridiano di Greenwich. Per trasformare la longitudine da Roma a Greenwich va sommata algebricamente a quella rispetto a M.Mario una costante pari a **12° 27' 08,400"** (longitudine Est di M.Mario da Greenwich).

La *realizzazione* di questo datum avviene attraverso la **vecchia rete geodetica nazionale**, ovvero la rete di triangolazione dell'IGM (Istituto Geografico Militare, massimo ente geodetico-cartografico dello Stato), distinta in quattro *ordini* (I, II, III e IV). Dal I al IV ordine aumenta progressivamente la densità dei punti mentre ne diminuisce l'accuratezza. Dopo la realizzazione della nuova rete IGM95, la vecchia rete è pressoché priva di manutenzione (salvo i punti comuni alla IGM95) per cui va progressivamente scomparendo.

Per quanto riguarda il suo *utilizzo*, il datum Roma 40 è ancora molto importante in Italia perché è il datum di riferimento della cartografia nazionale IGM realizzata fin quasi all'anno 2000 (fino alla serie DB in cui si è passati a WGS84-ETRS89). È ancora utilizzato in alcune Regioni per la Cartografia Tecnica Regionale, nonché per la cartografia del Catasto limitatamente ad alcune province. Nel datum Roma 40 sono definite le note coordinate piane cartografiche "Gauss-Boaga" (v. cartografia).

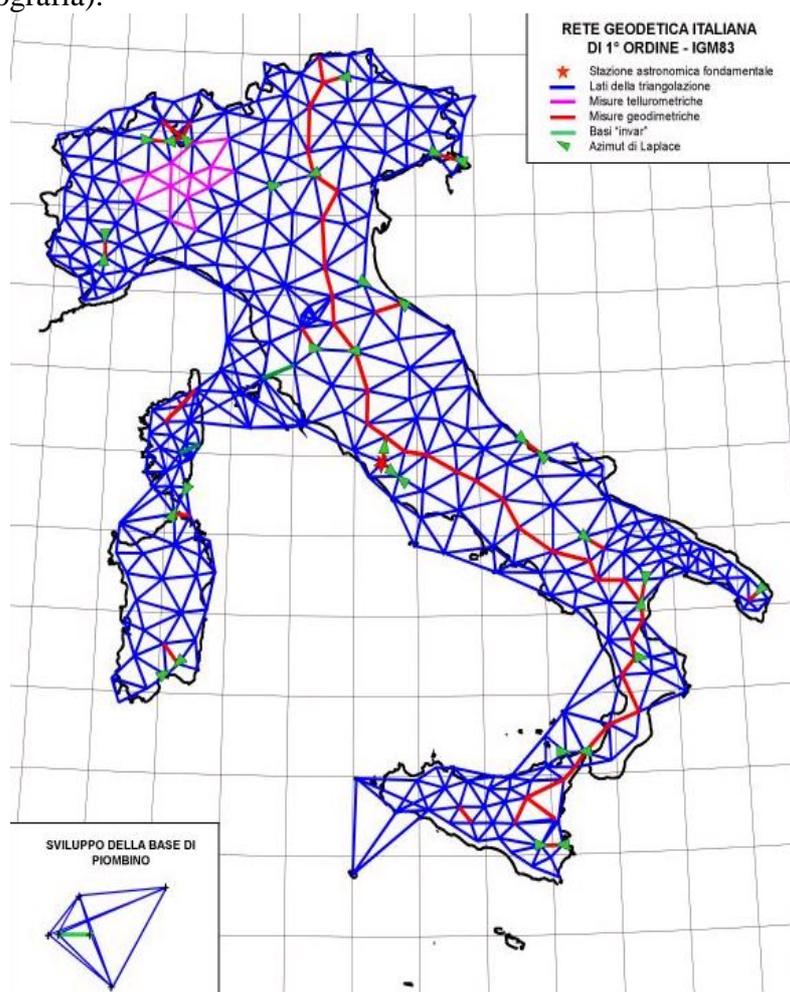


Fig. 3 – La rete geodetica fondamentale (I ordine) dell'IGM nella sua configurazione definitiva (realizzazione IGM83) prima della istituzione della nuova rete IGM95. La rete originaria (fig. 2) è stata integrata nel corso del tempo da misure di distanza eseguite con varie tecniche, e il collegamento con la Sardegna modificato [da sito IGM]

b) **Datum ED 50** (ED = *European Datum*): E' definito mediante l'**ellissoide internazionale (Hayford)** con "orientamento medio europeo" (la deviazione della verticale si annulla a **Potsdam** in Germania, mentre l'orientamento si ottiene dalla media degli azimut misurati in una serie di punti), basato su misure astronomiche e calcoli del **1950**.

Il *meridiano fondamentale* è quello di Greenwich.

La *realizzazione* di ED50 è stata eseguita mediante una **rete europea composta da una selezione di catene di triangoli** estratte dalle reti di primo ordine dei singoli stati dell'Europa occidentale, messe insieme e compensate su uno dei primi computer "moderni" negli Stati Uniti attorno al 1950. La potenza del sistema e del codice di calcolo non era sufficiente a compensare in blocco l'insieme delle reti nella loro integrità, da cui la necessità di questo sfoltimento.

Impiego: Per i motivi sopra esposti, la rete che realizza il datum ha un'accuratezza inferiore a quella delle reti nazionali, e non copre tutto il territorio (tra una catena e l'altra restano delle zone scoperte), per cui questo datum è stato impiegato quasi esclusivamente a scopi cartografici, allo scopo di unificare e armonizzare le cartografie europee.

Il datum ED50 viene ancora oggi utilizzato perché le carte IGM anteriori alla serie DB (ovvero quelle prodotte fino al 2000 circa) riportano sovrastampato il reticolato delle coordinate piane U.T.M.- ED50 (v. cartografia). Lo stesso reticolato è presente anche sulla Carta Geologica d'Italia e su altre carte tematiche, per cui è ancora oggi utilizzato dagli utenti di queste carte.

Il datum ED50 è importante anche perché, essendo il primo sistema definito a livello europeo, è stato ed è tuttora utilizzato per il *taglio* (suddivisione in fogli) di tutta l'attuale cartografia IGM (comprese le recenti serie DB) e della Carta Tecnica Regionale. Ciò avviene anche negli altri stati della CE, in virtù di una convenzione ancora in vigore. Per questo motivo il taglio ED50 è anche detto *Sistema Europeo Unificato*.

c) **Datum catastali**. Derivano dai sistemi geodetici (più di uno) adottati nei lavori IGM alla fine del XIX secolo scorso o ai primi del '900. Le definizioni principali impiegano l'**ellissoide di Bessel** orientato a **Genova** (per l'Italia centro-nord, inclusa tutta l'Umbria), a **Castanea delle Furie** (per l'Italia meridionale) o a **Roma M. Mario** (per una parte dell'Italia centrale), ma esistono ulteriori definizioni valide per piccole zone.

Il *meridiano fondamentale* è quello passante per il rispettivo punto di emanazione (Genova, M.Mario o Castanea delle Furie).

La *realizzazione* avviene mediante la **rete di triangolazione catastale** che si basa sulla rete IGM di I, II e III ordine⁴ integrata da una rete catastale di raffittimento distinta in tre ulteriori ordini detti *rete, sottorete e dettaglio*.

L'*impiego* dei datum catastali avviene esclusivamente nell'ambito della cartografia catastale italiana. Questa, pur essendo per molti aspetti obsoleta come i datum su cui si basa, è ancora molto utilizzata per almeno due motivi:

- grande scala (1:2000 extraurbana – 1:1000 nei centri urbani) e conseguente ricchezza di dettagli. Per motivi di costo, solo poche regioni hanno realizzato carte tecniche moderne in scala 1:2000, la maggior parte si fermano alla 1:5000;
- quella catastale è l'unica carta a riportare i confini di proprietà, e quindi il suo utilizzo è indispensabile per la redazione di strumenti urbanistici (Piani Regolatori, ecc.) che pongono vincoli su terreni privati, per le espropriazioni di terreni per realizzare opere di pubblica utilità, per i database e i GIS dei Comuni e di altri enti e società erogatrici di servizi.

⁴ Il IV ordine venne scartato perché non aveva accuratezza sufficiente per la carta del Catasto (che è alla scala 1:2000, mentre la carta IGM arriva al massimo alla scala 1:25000). Le reti dal I al III ordine IGM vennero utilizzate dal Catasto con i valori delle coordinate che avevano all'epoca di formazione del Catasto (tra la fine '800 e i primi del '900). L'IGM ha in seguito adottato il datum Roma 40 ed ha effettuato numerose misure, correzioni e calcoli di aggiornamento della rete che non sono stati recepiti dal Catasto, per cui la geometria della rete catastale può differire (in certe zone anche notevolmente) da quella della rete IGM.

La tabella 1 (allegata alcune pagine più avanti) riassume sinteticamente le definizioni e le caratteristiche dei principali datum geodetici (tradizionali e globali) impiegati attualmente in Italia. Nella parte destra della tabella sono elencate le rappresentazioni cartografiche associate, di cui si parlerà nella parte di cartografia del corso.

Le coordinate dei punti delle reti che realizzano i datum sono riportate in appositi documenti detti **monografie** che contengono anche una descrizione della materializzazione, figure, fotografie, estratti cartografici ed altri elementi utili a ritrovare il punto sul terreno (v. figure seguenti).

Tavoletta 122 II NE

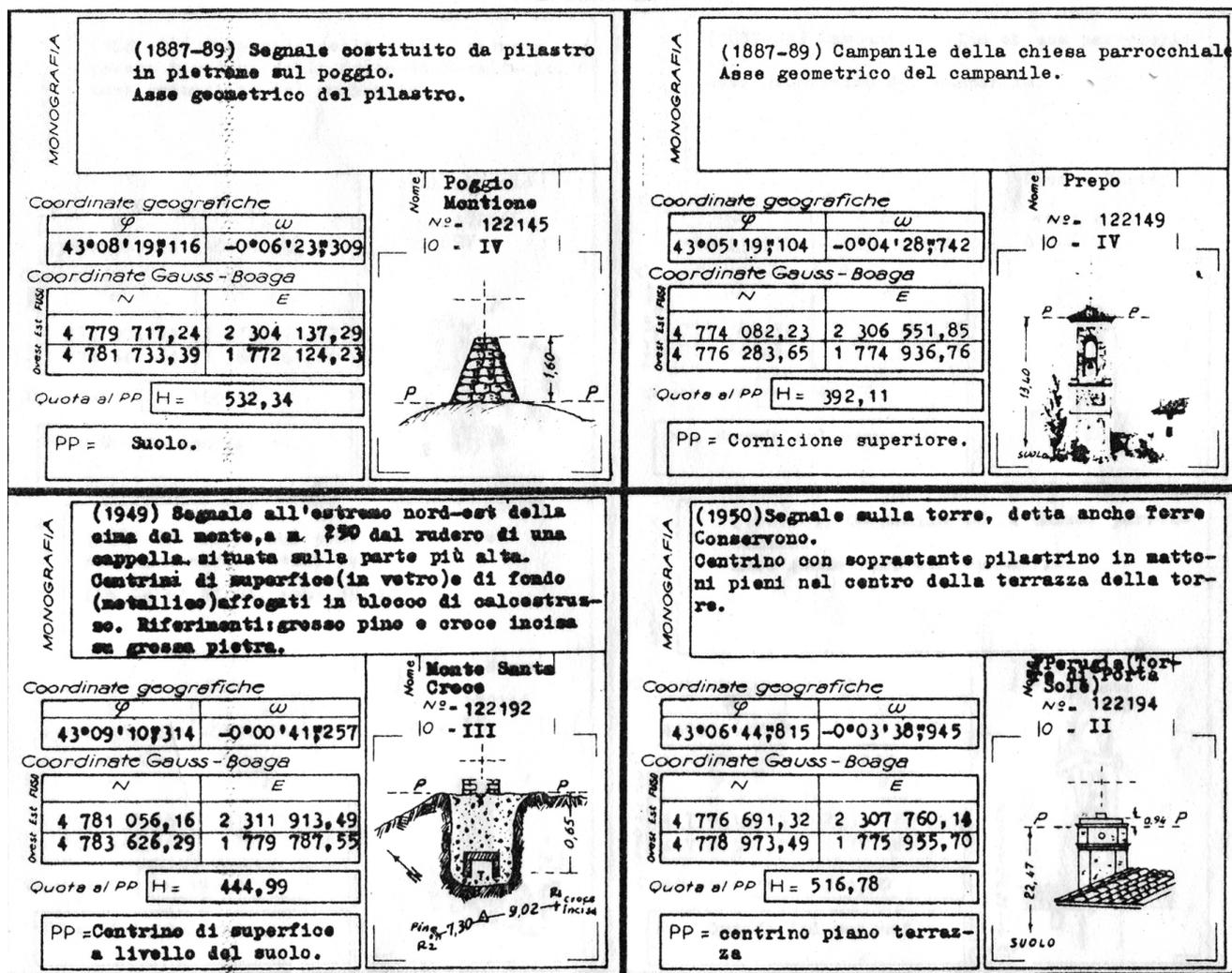


Fig. 4 – Esempi di monografie di vertici trigonometrici IGM della vecchia rete geodetica. Viene indicato il numero del punto (le prime 3 cifre indicano il foglio della carta 1:100.000 in cui ricade il punto), l'ordine (in questo esempio compare un vertice del II ordine, uno del III e due del IV), le coordinate geografiche nel datum Roma40 e le coordinate piane cartografiche Gauss-Boaga calcolate per entrambi i fusi, perché i vertici ricadono nella zona di sovrapposizione (v. la parte del corso sulla Cartografia). La sigla PP indica il "piano di paragone" ovvero il piano a cui è riferita la quota (ortometrica) scritta nella monografia. Alcuni vertici come quello in alto a sinistra hanno una materializzazione precaria, che nel tempo è andata perduta. I punti che si conservano più a lungo sono quelli materializzati su manufatti stabili, come quello in basso a destra. Alcuni vertici, come il campanile in alto a destra, sono visibili ma non stazionabili direttamente (se necessario, si può eseguire una stazione fuori centro).

(1) <u>Agello</u>	ELEMENTI GEODETICI del VERTICE	DATI DI COLLEGAMENTO			
		Vertici	LATI		Azimut.
(2) <u>Rete</u>	Logaritmi		Valori numerici		
Comune di <u>Madione</u>	Coordinate Geografiche (Elliss. Internaz.)	M. Malbe	3.93568	43 12 15	
	$\varphi =$	Pengia o.s.	4.13080	68 46 28	
	$\lambda =$	V. Bartocchini	3.87428	109 10 52	
	Convergenza	Mantali	3.73178	249 39 28	
	Coordinate Soldner Origine: <u>M. Pennino</u>	Contel Rigone	4.16547	356 38 17	
	$x = -3476,76$ $y = -53118,61$				
Coordinate Gauss-Boaga (Fuso di 6°)					
$x = 4742,110,10$ $y = 2295008,35$					
Quota altimetrica					
$z =$					
Registro Monografie N. <u>8</u> Pagina N. <u>95</u>	Riferimenti planimetrici: <u>Ossel del Campanile della Chiesa Parrocchiale (antica torre ridotta a campanile nel punto più alto delle bonate)</u>				
ELENCO GENERALE	Riferimenti altimetrici:				
Fascicolo <u>11</u> Pagina <u>4</u>	Annotazioni: <u>Punto di 4° ordine dell'I. G. M. determinato come punto di rete.</u>				
Foglio Carta d'Italia N.					

(1) Denominazione del vertice trigonometrico.

(2) I. II. III. IV. Ordine I. G. M. - Rete - Sottorete - Dettaglio catastale.

Fig. 5 – Esempio di monografia di un vertice catastale di Rete. Sono presenti solo coordinate piane cartografiche: le Cassini-Soldner (specifiche della cartografia catastale) con origine M. Pennino (datum Bessel Genova), e le coordinate Gauss-Boaga fuso Est (datum Roma 40). Sono riportate anche, in alto a destra, le letture angolari compensate sui punti circostanti della rete. Si tratta di un vertice del IV ordine IGM che il Catasto ha rideterminato come vertice di Rete. Molti vertici di queste reti catastali sono andati perduti o comunque le materializzazioni originarie sono state alterate da demolizioni e ricostruzioni.

1.4. Definizione dei datum nella geodesia satellitare

La geodesia moderna è essenzialmente una geodesia *satellitare*, nella quale la determinazione della posizione di punti della Terra (*posizionamento*) viene eseguita per mezzo di misure su satelliti orbitanti. Un generico sistema satellitare globale per posizionamento viene denominato GNSS (*Global Navigation Satellite System*). Tra i sistemi GNSS, quello oggi più utilizzato è lo statunitense GPS, a cui si aggiunge il sistema russo GLONASS e nel prossimo futuro anche il sistema europeo GALILEO. I diversi sistemi satellitari possono essere utilizzati insieme (*interoperabilità*).

Nella geodesia satellitare è indispensabile ragionare ed eseguire calcoli alla scala globale. Si utilizzano pertanto **datum geodetici di tipo globale**, validi per tutto il mondo, a differenza di quelli della geodesia classica, che come si è visto avevano validità *locale*, anche se a volte per zone molto grandi.

La definizione di un datum globale non è più basata su una superficie di riferimento ma si limita a individuare una **terna di assi cartesiani OXYZ geocentrica**, avente cioè l'origine coincidente con il *centro di massa* della Terra, e **solidale** alla Terra, cioè tale da seguirla rigidamente nel suo moto: per questo, i sistemi geocentrici vengono anche denominati **ECEF (Earth Centered, Earth Fixed)**.

L'asse **Z** coincide con l'asse polare (asse di rotazione medio della Terra); gli assi **X** ed **Y** giacciono sul piano equatoriale, con l'asse **X** diretto secondo il meridiano fondamentale

(Greenwich) e Y diretto in modo da completare una terna destrorsa (fig. 6).

La definizione, come del resto accade per qualsiasi datum, è *convenzionale*, dato che sia la posizione del geocentro sia la direzione dell'asse polare (quest'ultima variabile nel tempo) devono essere stabilite convenzionalmente. A seconda della costellazione satellitare utilizzata e del tipo di applicazioni, vengono utilizzati diversi datum globali, e la definizione degli stessi deve periodicamente essere variata per adattarsi ai cambiamenti fisici intervenuti nella Terra e nei suoi moti.

Il datum globale più noto e utilizzato attualmente è quello su cui si basa il sistema satellitare GPS: datum **WGS84** (*WGS = World Geodetic System*, sistema geodetico mondiale).

Per analogia con i sistemi classici e per rendere più agevole la georeferenziazione di punti mediante le classiche coordinate geografiche, molto più comode e intuitive di quelle cartesiane geocentriche, alla terna cartesiana viene associato un **ellissoide geocentrico**, avente il centro coincidente con quello della terna stessa ed assi orientati secondo le direzioni XYZ (si veda ancora la fig. 6).

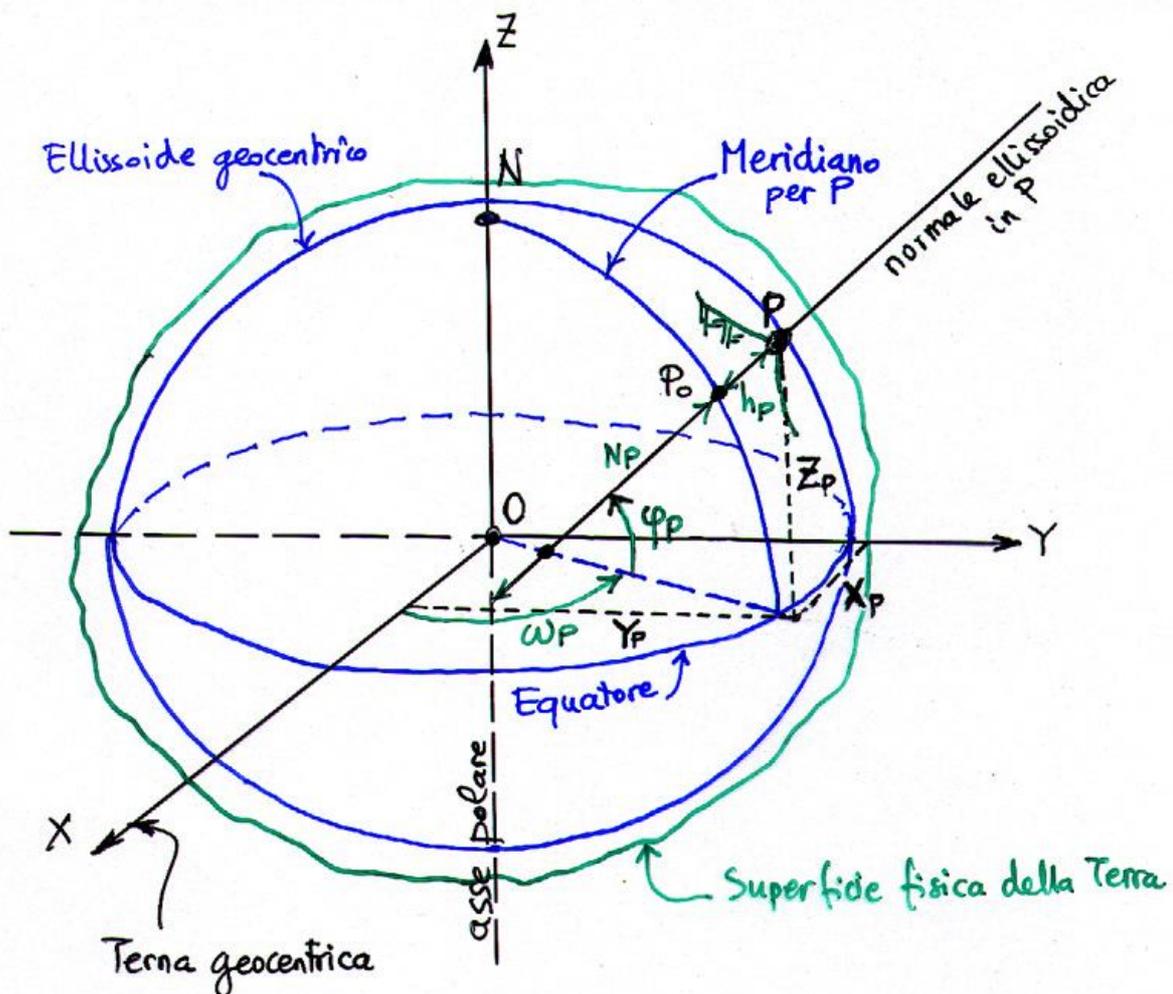


Fig. 6 – Terna geocentrica, coordinate geocentriche, ellissoide geocentrico

Nel sistema WGS84 i parametri dell'ellissoide sono i seguenti:

$$a = 6378137 \text{ m} \quad \alpha = 1/298.2572221$$

La definizione dei datum globali è in realtà più complessa, comprendendo anche una serie di

parametri geofisici (massa della Terra, velocità di rotazione della Terra, ecc.). Ai fini delle applicazioni geodetico-topografiche più comuni, è tuttavia sufficiente conoscere i soli parametri geometrici citati sopra.

Come per i datum classici, per il concreto utilizzo di quelli globali è necessaria una **realizzazione** del datum. Questa avviene sia mediante gli stessi **satelliti**, le cui coordinate vengono determinate in funzione del tempo (*effemeridi orbitali*), sia anche attraverso **punti materializzati a terra**, per i quali vengono stabilite le coordinate analogamente a quanto si faceva nei datum classici. In un datum moderno, satelliti e punti a terra si integrano a vicenda: i punti a terra vengono utilizzati per determinare le orbite dei satelliti, e i satelliti vengono utilizzati per determinare le posizioni dei punti a terra e le variazioni di tali posizioni nel tempo.

Anche ai datum globali, quindi, va associata una *rete geodetica*: data la globalità del datum si tratta di reti internazionali, integrate poi da *reti di raffittimento* a livello nazionale o locale che diffondono il datum sul territorio mettendolo a disposizione di tutti gli utenti. Va precisato che le reti geodetiche attuali si distinguono in due categorie:

- Reti **dinamiche** o **attive**: sono composte da stazioni permanenti, dotate di un ricevitore GNSS attivo 24 ore su 24; le singole stazioni sono collegate a un centro di controllo che archivia e distribuisce i dati acquisiti dalle stazioni e spesso fornisce *servizi di posizionamento* agli utenti. Per queste reti è possibile elaborare soluzioni in continuo, o comunque a intervalli di tempo brevi (ad es. soluzioni giornaliere, settimanali, ...): le coordinate che si ottengono variano nel tempo, a causa delle deformazioni della crosta terrestre. Ogni soluzione di una rete dinamica comprende quindi **coordinate** e **velocità** stimate a una certa data per i punti della rete, con le relative matrici di varianza-covarianza⁵.
- Reti **statiche** o **passive**: sono reti geodetiche simili a quelle tradizionali, costituite da punti materializzati sul terreno o su manufatti e privi di strumentazione. Il rilievo di queste reti richiede l'effettuazione di una campagna di misure: i tecnici vanno a occupare i punti della rete con ricevitori GNSS, per la sola durata necessaria alle misure. Tra una misura e la successiva passano spesso diversi anni, per cui ogni soluzione della rete, costituita dalle sole **coordinate** dei vertici (e le relative matrici di varianza-covarianza), si considera valida per anni. In questo lasso di tempo, l'effetto delle deformazioni della crosta terrestre viene trascurato, cosa che di solito è lecita per la maggior parte delle applicazioni a carattere tecnico, nelle quali più che la posizione assoluta interessa la posizione *relativa* tra i punti della rete, che varia poco nel tempo.

1.5. I datum satellitari più utilizzati

a) Datum WGS84

La definizione di questo datum è stata già data nel paragrafo precedente: terna geocentrica convenzionale, ellissoide WGS84 con orientamento geocentrico. Tra i datum della geodesia satellitare è stato il primo a conoscere un utilizzo di massa, essendo impiegato per il GPS che ha una larga diffusione. E' tuttora il più utilizzato dai tecnici di tutto il mondo, nei sistemi di navigazione e nella maggior parte della cartografia di recente produzione.

La *realizzazione* del datum WGS84 è abbastanza complessa: innanzitutto il gestore del sistema GPS (Ministero della Difesa USA) dispone di una rete di *Stazioni di Tracking*, che si trovano lungo la fascia equatoriale della Terra, dove i satelliti GPS raggiungono le massime altezze sull'orizzonte per cui restano visibili per molte ore. Le stazioni di tracking "tracciano" i satelliti GPS, cioè ne determinano le orbite in continuo, permettendo di calcolare una previsione del tracciato delle orbite

⁵ I concetti di varianza e matrice di varianza-covarianza verranno esposti nella parte del corso dedicata al trattamento delle osservazioni.

successive. Queste orbite previste vengono poi trasmesse dagli stessi satelliti agli utilizzatori (*broadcast ephemerides*, v. la parte del corso sul GPS), che riescono così a determinare in tempo reale la posizione di ogni satellite. Le applicazioni navigazionali di base del GPS (ad es. i navigatori satellitari delle auto) o rilievi speditivi di accuratezza modesta (qualche metro) vengono effettuate con le sole *broadcast ephemerides*, eseguendo *posizionamenti assoluti* nel datum WGS84, e non richiedono altri punti a terra oltre alle citate stazioni di tracking.

Le applicazioni geodetico-topografiche del GPS richiedono una accuratezza molto maggiore (fino a valori subcentimetrici). Come si vedrà in seguito, una tale accuratezza si può ottenere solo con *posizionamenti relativi*, ovvero determinando differenze di coordinate tra punti noti e punti incogniti. Per fare questo, occorre disporre di punti a terra noti nel sistema WGS84.

In Europa, il datum WGS84 si può considerare, ai fini pratici, coincidente con la realizzazione ETRF89 del datum europeo ETRS (v. oltre). ETRF89 è una soluzione, alla data 1 gennaio 1989, della rete europea dell'EUREF (ente che riunisce i servizi geodetici di tutti gli stati d'Europa). La rete dell'EUREF (fig. 7) è una rete *dinamica* o attiva, composta da stazioni permanenti GNSS; viene per questo denominata **EPN (EUREF Permanent Network)**. Le stazioni permanenti di Perugia (UNPG) e Terni (UNTR) della nostra Facoltà di Ingegneria fanno parte di EPN.

EUREF Permanent Tracking Network

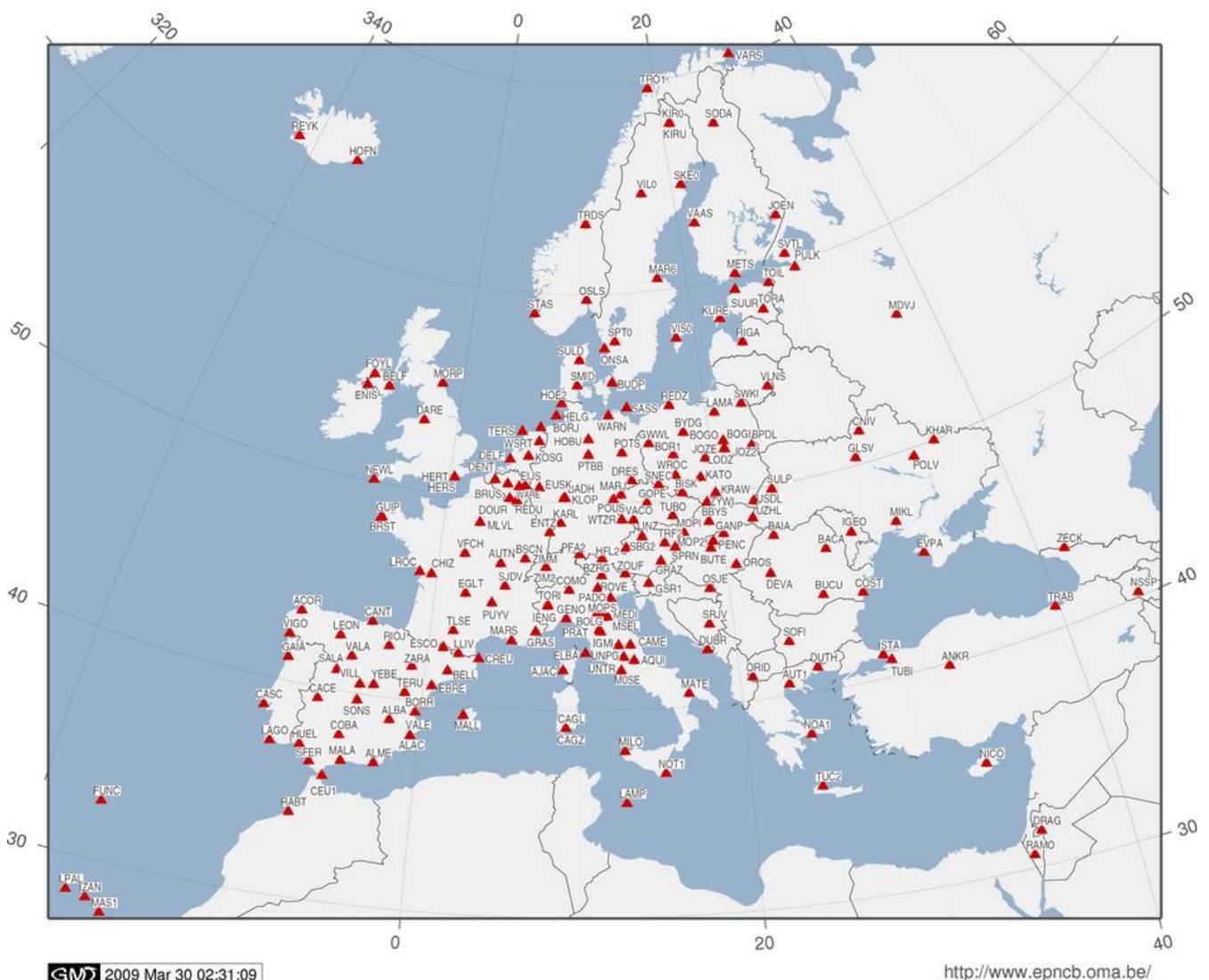


Fig. 7 – La rete europea EPN (EUREF Permanent Network)

Le stazioni della rete EPN che ricadono sul territorio di una singola nazione sono poche (in Italia una ventina circa, con densità particolarmente bassa a sud di Roma), insufficienti per le applicazioni geodetico-topografiche correnti. E' quindi necessario, a livello nazionale e locale, operare un *raffittimento* della rete EPN.

Verso la metà degli anni 1990 l'IGM ha istituito a questo scopo la **Rete IGM95** (fig. 8). Si tratta di una rete *statica* o passiva, composta in origine da circa 1200 vertici distribuiti uniformemente su tutto il territorio italiano, collegata alla rete europea EPN, che all'epoca comprendeva molte stazioni in meno rispetto alla fig. 7. La soluzione di IGM95 pubblicata (coordinate contenute nelle monografie dei vertici) è coerente con la realizzazione ETRF89 del datum europeo ETRS, per cui, tenendo conto che come si è detto ETRF89 è praticamente coincidente in termini di coordinate con WGS84, IGM95 costituisce la prima realizzazione ufficiale italiana del datum WGS84. La rete IGM95 è stata poi ulteriormente raffittita da reti statiche locali ad opera di molte Regioni (tra cui la Regione Umbria – v. fig. 10), e in parte anche del Catasto.

Le coordinate delle reti statiche come IGM95 si considerano costanti nel tempo per lunghi periodi, dell'ordine di diversi anni, trascurando l'effetto delle deformazioni della crosta terrestre. Quando i movimenti accumulati nel corso del tempo raggiungono entità che non sono più trascurabili, si procede a un aggiornamento delle coordinate. Nel 2008 è stato reso disponibile, presso l'IGM, l'aggiornamento delle coordinate IGM95 alla realizzazione ETRF2000 del datum europeo. Le coordinate aggiornate sono più accurate delle precedenti, ma non sono ancora entrate nell'uso comune, poiché la cartografia anche recentissima è georeferenziata in ETRF89.



Fig. 8 – La rete IGM95, attuale rete geodetica fondamentale italiana. La figura (tratta dal sito web dell'IGM) riporta oltre alla rete originaria anche alcuni raffittimenti regionali che l'IGM ha acquisito nel proprio database. Si nota come i vertici siano più densi lungo le linee di livellazione, per determinare le ondulazioni ai fini del geoido ITALGEO.

	OSTERIA DEL GATTO		123703	123 NO	
	Nazione: ITALIA Provincia: PERUGIA Comune: FOSSATO DI VICO Carabinieri: FOSSATO DI VICO		Proprietà: Pallucca Indirizzo: Osteria del Gatto Comune: FOSSATO DI VICO Cap: 06022 Tel: 075 919159 Fax: Provincia: PERUGIA		
Materializzazione: Centro del tipo "GPS C" fissato alla sommità di un pilastro costituito da elementi prefabbricati di cemento sile a est del cancello di accesso al laboratorio "Amico del Tarlo", nei pressi del km 195,400 lungo la SS.3.		Geografiche (Roma40) φ: 43°17'13,287" λ: 00°17'50,238" Quota s.l.m.: 416,17	Piane (Gauss-Boaga) φ N: φ E: η N: 4.795.234,96 η E: 2.337.420,18	Geografiche (WGS84) φ: 43°17'15,636" λ: 12°44'57,905" Quota ell.: 461,70	Piane (UTM-WGS84) φ N: φ E: η N: 4.795.221,02 η E: 317.414,02
Accesso:					
Informazioni ausiliarie:					
Vertici collegati: R 0021 ### 044# Contrassegno di tipo Cso Bullone a muro Δll: -1,28		Parametri: Tx: 58,55 Rx: -0,093" Ty: 26,39 Ry: -2,256" K: 33,28 Tz: -72,12 Rz: -0,715" Stazioni astronomiche:			
Segnalizzato: 18/06/92 G1B92 Giacomo Stefanelli Ultimo intervento: Ricognito 13/03/95 G4A95 Luca Rini Mod. IGM95/SM					

ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE - Direzione Geodetica - via Di Novoli, 93 - 50127 FIRENZE - Tel: 055/2775442 Fax: 055/417959

Fig. 9 – Monografia di un vertice della rete IGM95. Sono presenti le coordinate geografiche e piane sia nel datum WGS84 (ETRF89) sia nel datum Roma40, l'altezza ellissoidica e la quota ortometrica. Quest'ultima è misurata direttamente nei vertici collegati a caposaldi di livellazione, mentre è stimata con il geoido ITALGEO per gli altri vertici. In questa versione delle monografie (1997) sono presenti, al centro in basso, i 7 parametri della trasformazione di Helmert (v. oltre) da WGS84 a Roma40, stimati nell'intorno del punto. Nelle edizioni attuali delle monografie IGM95 tali parametri sono stati rimossi, in quanto la trasformazione viene ora eseguita per mezzo di *grigliati*.

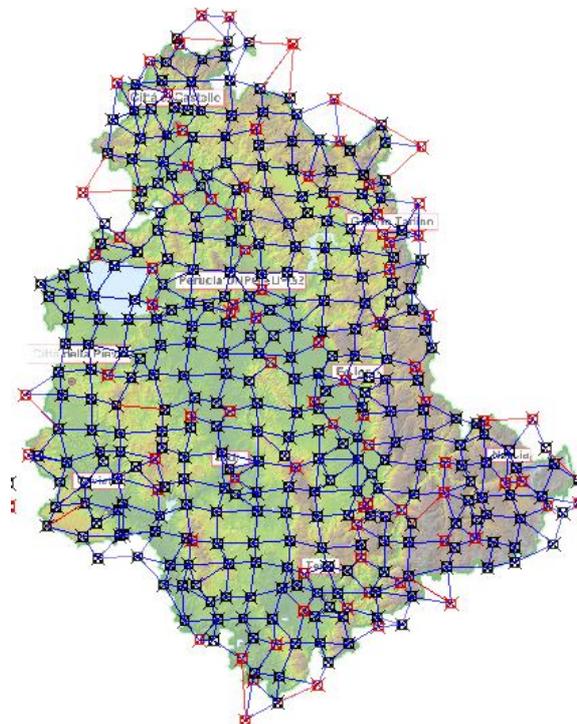


Fig. 10 – La rete geodetica statica di raffittimento della IGM95 nella Regione Umbria. realizzata nel 2006: comprende circa 300 nuovi vertici di cui circa 60 sono collegati a linee di livellazione ed hanno permesso la stima di un geoido umbro, affinamento di ITALGEO2005

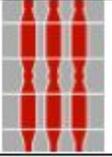
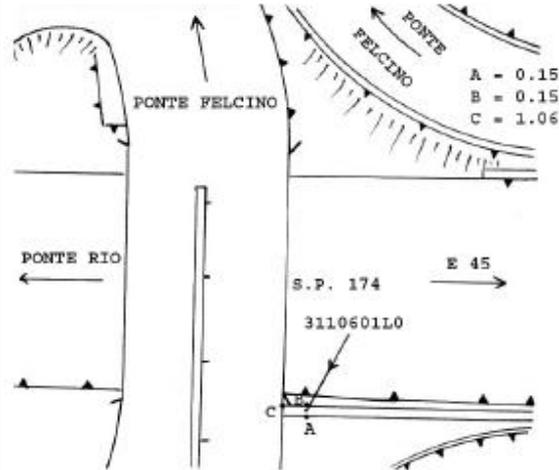
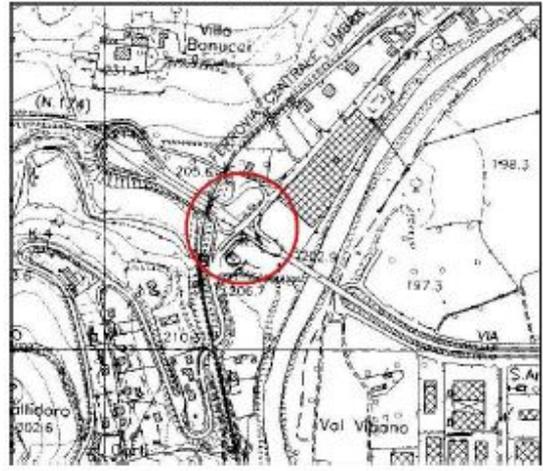
 REGIONE UMBRIA DIREZIONE AMBIENTE, TERRITORIO E INFRASTRUTTURE – II° SERVIZIO RETE GEODETICA PLANOALTIMETRICA DELLA REGIONE UMBRIA RAFFITTIMENTO DELLA RETE FONDAMENTALE IGM95 – Rilievo Aprile 2006 –			
Comune: Perugia Provincia: Perugia	Indirizzo: Corso Vannucci, 19	Nome: PONTE FELCINO Punto N°: 3110601L0	
Accesso: Dalla superstrada E45 uscire a Ponte Felcino e percorrere la S.P. 174 di Ponte Felcino e al Km 4+600 girare a destra per Ponte Felcino. Il punto si trova sul ponte.		Materializzazione: Centrino infisso sul cordolo in calcestruzzo della scolina sulla sommità della spalla del sovrappasso in località Ponte Felcino, nei pressi dell'ex lanificio "Icon".	
			
WGS84 (ETRF89)	Geografiche	Piane	Riferimenti Cartografici: Sezione CTR (Regione Umbria): 311.060 Serie 25 (IGM): 311-IV Serie 25V (IGM): 122-II-NE
	φ : 43° 07' 39,2770" λ : 12° 25' 59,7183"	N: 4.778.180,265 m E: 291.217,541 m UTM WGS84 - Fuso 33	
	ROMA40	φ : 43° 07' 36,9315" λ : 12° 26' 00,4814" GAUSS BOAGA - Fuso Est	
UTM ED50	φ : 43° 07' 42,8119" λ : 12° 26' 03,0649"	N: 4.778.373,327 m E: 291.286,903 m UTM ED50 - Fuso 33	Estratto di CTR 1:10.000 
Altezza ellissoidica: 251,581 m			
Quota ortometrica: 204,562 m			
Caposaldo: IGM CSO' 121/78			
Dislivello misurato: 0,432 m			
Revisione finale eseguita dall'Università di Perugia – Laboratorio di Topografia e Fotogrammetria (D.I.C.A.)			

Fig. 11 – Monografia di un vertice della rete di raffittimento IGM95 della Regione Umbria. Sono presenti le coordinate geografiche e piane in tre datum: WGS84 (ETRF89), Roma40 ed ED50, l'altezza ellissoidica e la quota ortometrica.

Quest'ultima è misurata direttamente nei circa 60 vertici collegati a caposaldi di livellazione (come quello della monografia qui riprodotta), mentre è stimata con il geode "Umbria 2008" per gli altri

In Italia sono state realizzate anche numerose reti *dinamiche* o attive, ad opera soprattutto delle Regioni ma anche di altri soggetti pubblici e privati. Ad esempio, la Regione Umbria insieme all'Università di Perugia ha realizzato nel 2006 la rete permanente regionale GPSUMBRIA (www.gpsumbria.it) composta da 12 stazioni a copertura di tutto il territorio umbro (fig. 12). La rete GPSUMBRIA è stata georeferenziata nel datum ETRF89, del quale costituisce una ulteriore realizzazione, molto apprezzata dagli utenti tecnici che ora possono operare anche con un solo ricevitore utilizzando come riferimento questa rete⁶.

E' attualmente in corso il coordinamento delle diverse reti dinamiche regionali, mediante l'istituzione, da parte dell'IGM e di alcune Università, della nuova **Rete Dinamica Nazionale (RDN)**, composta da un sottoinsieme delle stazioni regionali. A regime, questa rete migliorerà notevolmente l'accuratezza della realizzazione di tutti i datum satellitari in Italia.



Fig. 12 – La rete GNSS permanente umbra, denominata GPSUMBRIA, istituita nel 2006 da Regione Umbria e Università degli Studi di Perugia e potenziata nel 2009 con due nuove stazioni e servizi in tempo reale

⁶ Con una rete statica, l'utente necessita di almeno due ricevitori GNSS, uno dei quali viene posto su un vertice della rete mentre l'altro va ad occupare i punti incogniti da rilevare.

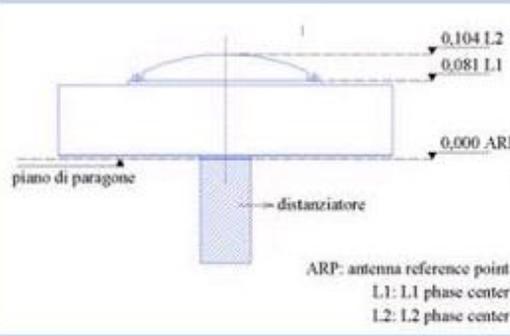
 REGIONE UMBRIA		RETE DI STAZIONI PERMANENTI GNSS DELLA REGIONE UMBRIA	
Comune: Orvieto Provincia: Terni		Indirizzo: Centro Studi Città di Orvieto Piazza Duono, 20 Orvieto	
		Nome: UNOV Punto N°:	
Particolari della materializzazione:		Descrizione: Pilastro in acciaio inossidabile, ancorato tramite flange bullonate alla muratura ed emergente dalla copertura a tetto dell'ex ospedale di Orvieto, ora Centro Studi Città di Orvieto	
 <p>ARP: antenna reference point L1: L1 phase center L2: L2 phase center</p>		Ricevitore: Topcon Odyssey-RS (GPS + GLONASS) Antenna: Topcon CR-3 GGD con radome cod. IGS: TPSCR3_GGD CONE offset verticale base antenna - marker = 0.000 m	
Fotografia: 		Coordinate geografiche WGS84 (ETRF89): φ : 42° 42' 57,0700" λ 12° 06' 47,2466" h : 379,72 m	
		Coordinate UTM - WGS84 (fuso 33): N: 4733303,238 m E: 263606,003 m	
		Coordinate geografiche Roma40: φ : 42° 42' 54,7214" φ : -0° 20' 20,3579"	
		Coordinate Gauss - Boaga (Fuso Est): N: 4733315,132 m E: 2283610,773 m	
		Coordinate geografiche ED50: φ : 42° 43' 00,6" λ 12° 06' 50,6"	
		Coordinate UTM-ED50 (fuso 33): N: 4733495 m E: 263673 m	
		Coordinate Geografiche ITRF2000 (IGb00) epoca di riferimento 23.10.2005: φ : 42° 42' 57,0822" λ 12° 06' 47,2605" h : 379,57 m	
		Quota s.l.m.: 331,19 m	
		Caposaldo collegato: - (stimato con geoidi ITALGEO 99)	
		Riferimenti cartografici: Sezione CTR 1:10.000 (R.Umbria): Sezione 334.060 Serie 25 (IGM): Tavoletta 130 III SE Serie 25V (IGM):	

Fig. 13 – Monografia di una stazione permanente (Orvieto) della rete dinamica GPSUMBRIA. L'antenna GNSS è montata in modo permanente ed è collegata a un ricevitore che resta sempre in funzione.

Il datum ITRS trova applicazione soprattutto a livello scientifico, principalmente negli studi di Geofisica, consentendo una descrizione molto accurata delle deformazioni della crosta terrestre.

La grande accuratezza e aggiornamento temporale delle coordinate in questo datum, unitamente al fatto che le coordinate a terra risultano perfettamente coerenti con quelle satellitari date dalle effemeridi precise, fa sì che questo datum sia utilizzato anche da molti gestori di reti GNSS dinamiche regionali che erogano servizi di posizionamento, perché permette di ottenere la massima precisione nel calcolo continuo della rete.

L'utenza tecnica, tuttavia, trova ancora difficoltà a utilizzare questo datum in cui le coordinate sono dinamiche, associate a una data precisa, e variano nel tempo. Quando si forniscono servizi di posizionamento in ITRS è quindi necessario dare all'utente anche i parametri di trasformazione per passare al datum comunemente utilizzato nella cartografia, ETRF89-WGS84, coerente con le coordinate della rete IGM95.

Maggiori informazioni su ITRF e IGS possono essere reperite nel sito web <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/>

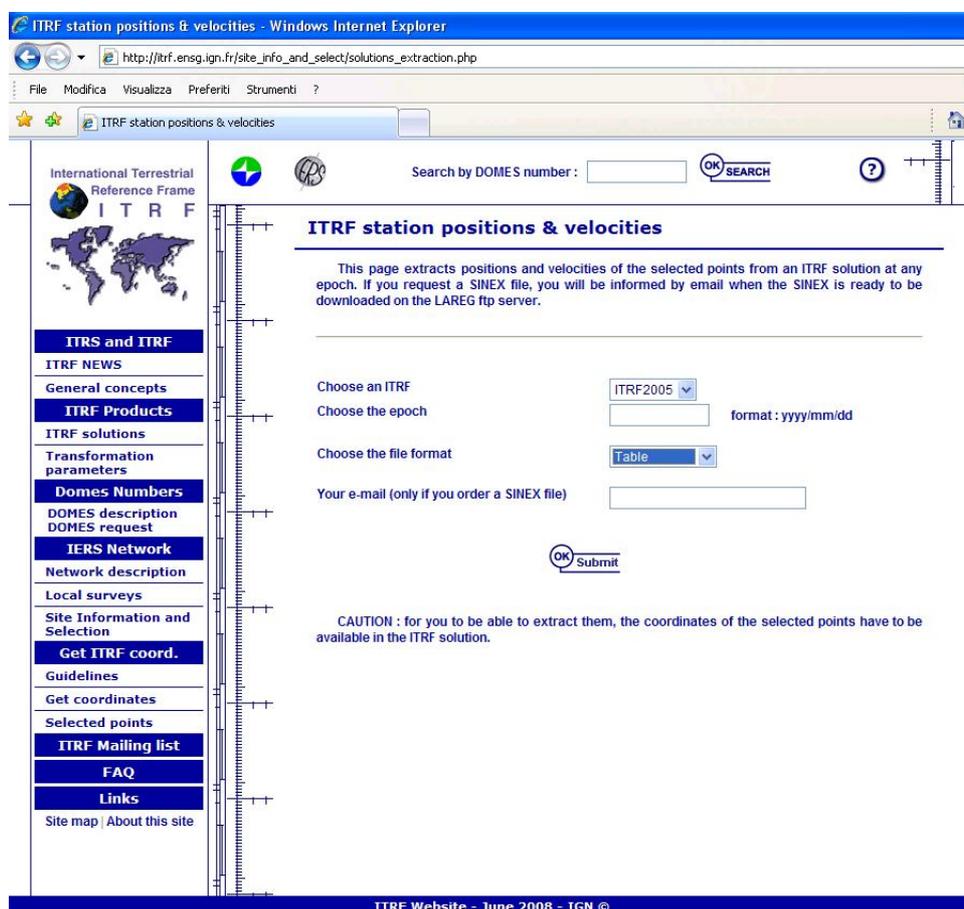


Fig. 14 – Il sito dello IERS, da cui è possibile ottenere coordinate e velocità ITRFxxxx riferite a una qualsiasi data

c) Datum ETRS

Il datum ETRS (*European Terrestrial Reference System*) è un datum dinamico definito in modo analogo ad ITRS, caratterizzato quindi da coordinate variabili nel tempo. C'è però una importante differenza: ETRS è *vincolato alla piattaforma continentale europea*. Le soluzioni ottenute vengono rototraslate a minimi quadrati sulle coordinate delle soluzioni precedenti, per cui la rete risulta solidale alla piattaforma europea, la segue nei suoi movimenti *complessivi* di deriva. Le variazioni di coordinate dei punti nel tempo in ETRS sono dovute solo ai movimenti *relativi* tra un punto e

l'altro, non ai movimenti d'insieme del continente come avviene invece in ITRS. Si tratta quindi di variazioni molto più lente, di velocità molto più piccole rispetto a quelle di ITRS. In altre parole, le coordinate ETRS sono molto più stabili nel tempo rispetto a quelle ITRS, e ai fini pratici possono anche essere considerate costanti per parecchi anni, come viene fatto ad esempio per la rete IGM95.

Il datum ETRS è mantenuto a cura dell'EUREF, istituzione sovranazionale di cui si è già detto (comprende l'IGM e gli altri analoghi enti geodetico-cartografici di tutte le nazioni europee, oltre a molte sedi universitarie). La rete associata al datum ETRS è la **rete dinamica europea EPN (EUREF Permanent Network)**, di cui già si è detto (v. fig. 7), composta da stazioni permanenti GNSS, una ventina delle quali ricadono in territorio italiano. In Italia e anche nelle altre nazioni sono stati realizzati raffittimenti di questa rete, sia con reti statiche (in Italia, come si è visto, la rete IGM95 e gli ulteriori raffittimenti operati da Regioni e Catasto), sia con reti dinamiche nazionali (RDN) e/o regionali (GPSUMBRIA, ...).

Le *realizzazioni* europee di ETRS, come nel caso di ITRS, sono soluzioni della rete EPN calcolate a una certa data e considerando un assegnato insieme di stazioni. Esse vengono calcolate periodicamente dall'EUREF e denominate **ETRFxx (European Terrestrial Reference Frame xx)**. Tra le realizzazioni di ETRS, la più utilizzata è tuttora la ETRF89, che come già è stato detto si può considerare coincidente con WGS84 e in Italia è ulteriormente realizzata dalla rete IGM95. La successiva realizzazione ETRF2000 sta iniziando a diffondersi ma è ancora destinata prevalentemente a impieghi scientifici o alla gestione di reti permanenti.

Maggiori informazioni su EUREF, ETRS e la rete EPN possono essere reperite nel sito web <http://www.euref.eu/>

1.6. Considerazioni conclusive sui datum geodetici

La tabella riportata alla pagina seguente fornisce un sintetico riepilogo delle principali caratteristiche dei datum più utilizzati attualmente, con riferimento ai lavori geodetici e topografici eseguiti in Italia. I datum WGS84, ITRS ed ETRS hanno un impiego globale esteso a tutto il mondo per i primi due, al continente europeo per il terzo.

Si sottolinea il fatto che la conoscenza del datum utilizzato per esprimere la posizione di un punto, o per georeferenziare una carta, è di importanza fondamentale. Come mostra la figura 15, infatti, **uno stesso punto riferito a due diversi datum ha coordinate diverse**, con differenze che possono essere anche di centinaia di metri. Quando si forniscono le **coordinate** di un punto, è quindi "obbligatorio" **specificare sempre il datum a cui sono riferite**.

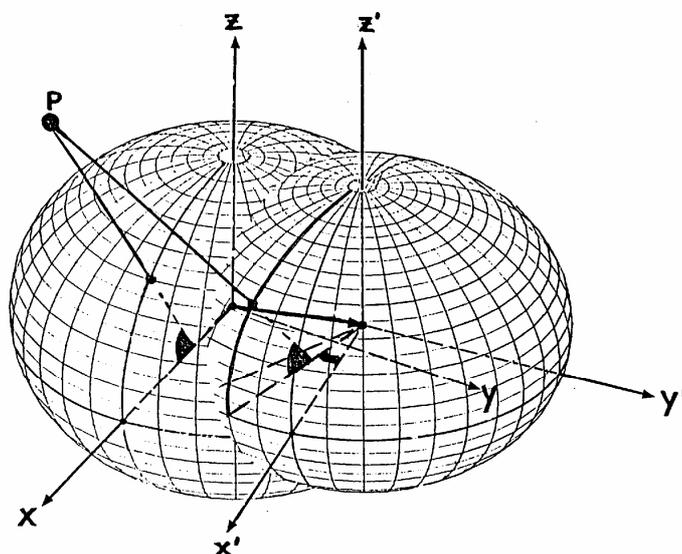


Fig. 15 – Schema delle relazioni tra due differenti datum (gli scostamenti sono volutamente esagerati)

	DATUM GEODETTICI			REALIZZAZIONI			SISTEMI CARTOGRAFICI			
	Denominazione	Ellissoide	Orientamento	Meridiano fondamentale	Rete	Epoca	Tipo	Denominazione	Rappresentazione	Zone per l'Italia
DATUM CLASSICI	ROMA 40	Internazionale (Hayford)	Roma M. Mario 1940	Roma M. Mario (o Greenwich)	Vecchia rete geodetica IGM I, II, III e IV ordine	1880-1995	Triangolazione integrata da distanze	GAUSS-BOAGA	Gauss cilindro secante	Fuso Ovest (1) Fuso Est (2)
	ED 50	Internazionale (Hayford)	Potsdam ca. 1950	Greenwich	Sottoinsieme delle reti nazionali europee	ca. 1950	Triangolazione integrata da distanze	UTM-ED50	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34
	DATUM CATASTALI	Bessel	Vari: Genova, Roma, Castanea delle Furie	Vari: Genova, Roma, Castanea delle Furie	Rete IGM di I, II e III ordine + Reti catastali	ca. 1880 - 1940	Triangolazione e raffittimenti	SISTEMI CATASTALI	Cassini-Soldner	31 "grandi" e ca. 800 piccoli sistemi
DATUM SATELLITARI	WGS84	WGS84	Geocentrico	Greenwich	Satelliti + tracking USA Rete EPN (Europa) Rete IGM95 (Italia)	1984 → 1989 → 1995 →	GPS GNSS GPS	UTM-WGS84	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34
	ITRS	WGS84	Geocentrico	Greenwich	ITRFxx IGSxx	1992 →	vari sensori incl. GNSS solo GNSS	utilizzo quasi esclusivo per la Geodesia		
	ETRS	WGS84	Geocentrico	Greenwich	ETRFxx (rete EPN)	1989 →	GNSS	UTM-ETRF89	Gauss cilindro secante	Fuso 32 Fuso 33 Fuso 34

Tabella 1 – Riepilogo dei principali datum utilizzati in Italia

1.7. I datum altimetrici (vertical datum)

I datum geodetici visti sinora consentono di definire la posizione planimetrica dei punti della Terra mediante le coordinate geografiche, e quella altimetrica mediante l'altezza ellissoidica riferita all'ellissoide del datum.

Nelle applicazioni ingegneristiche e nella cartografia l'altimetria viene però espressa mediante la **quota ortometrica** (o *geoidica*, detta anche nel linguaggio comune "sul livello del mare" – s.l.m.), riferita come sappiamo al geoido. E' quindi necessario definire un datum specifico per la sola altimetria basata sulle quote ortometriche, che viene detto **datum altimetrico** o **vertical datum**.

La *definizione* di un datum altimetrico consiste sostanzialmente nella individuazione di un punto al quale convenzionalmente si assegna la **quota zero**. Questo viene fatto in pratica mediante un **mareografo**. Si tratta di uno strumento (v. schema in figura 16) che rileva in continuo le variazioni del livello idrico in un pozzo situato in porto marino e posto in collegamento idrostatico (mediante un condotto dotato di strozzature per eliminare l'effetto dei moti ondosi) con il mare. Le variazioni del livello che si osservano nel pozzo sono giornaliere (maree), stagionali, e di periodo più lungo (legate alle variazioni climatiche). Lo zero è definito convenzionalmente come livello medio del mare in un assegnato periodo, e riportato mediante misure di livellazione a un caposaldo fondamentale che è un punto materializzato stabilmente e situato nelle immediate vicinanze del mareografo.

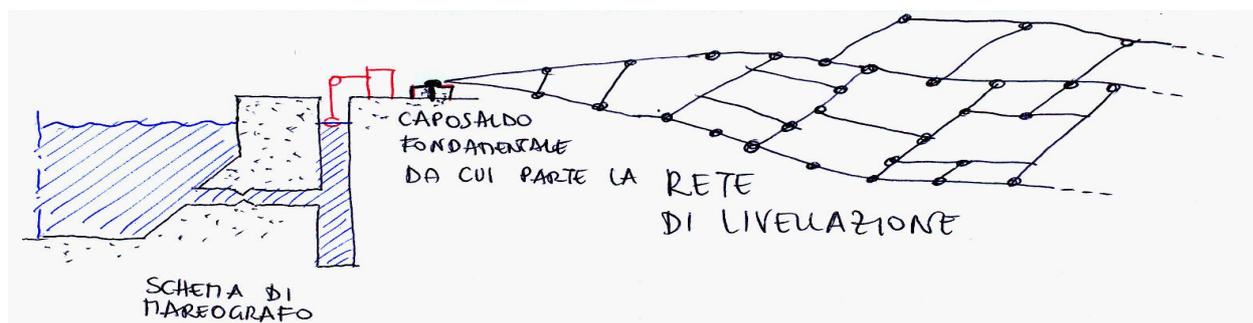


Fig. 16 – Schema di mareografo, caposaldo fondamentale e rete di livellazione

ISPRa
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

RETE MAREOGRAFICA NAZIONALE

HOME PAGE
INFORMAZIONI
STAZIONI
SENSORI

LA+ LA-
BACK
LOGIN

GENOVA
LATITUDINE 44° 24' 36.46"
LONGITUDINE 08° 55' 31.88"

► DATI RILEVATI

La stazione è situata presso l'acquario.
La stazione mareografica è dotata di caposaldi altimetrici. Ogni caposaldo è riferito al livello medio del mare misurato a Genova dall'antico mareografo Thompson. I caposaldi sono contrassegni metallici che determinano la quota altimetrica mediante livellazione di alta precisione condotta a partire dalle linee principali stabilite dall'IGM.

PARAMETRI MISURATI

LIVELLO IDROMETRICO ogni 10' (mareografo ad ultrasuoni)
LIVELLO IDROMETRICO in continuo (asta idrometrica)
LIVELLO IDROMETRICO in continuo (idrometrografo verticale)
TEMPERATURA ACQUA ogni 60'
TEMPERATURA ARIA ogni 60'
PRESSIONE ATMOSFERICA ogni 60'
DIREZIONE VENTO ogni 60'
VELOCITÀ VENTO ogni 60'

ANCONA
BARI
CAGLIARI
CARLOFORTE
CATANIA
CIVITAVECCHIA
CROTONE
IMPERIA
LA SPEZIA
LAMPEDUSA
LIVORNO
MESSINA
NAPOLI
ORTONA

FOTO ■
MAPPA □

Fig. 17 – La pagina del mareografo di Genova nel sito web dell'ISPRa, ente che gestisce la rete mareografica italiana

Dal caposaldo fondamentale ha origine la **rete di livellazione**, misurata con la tecnica della livellazione geometrica di alta precisione (v. seconda parte del corso) che copre in genere tutto il territorio di una nazione e *realizza* il datum verticale permettendo di istituire sul territorio punti di quota ortometrica nota (caposaldi) collegati al mareografo fondamentale.

In Italia esistono tre definizioni del datum altimetrico:

- per la parte continentale, mareografo di Genova, livello medio del mare del 1942;
- per la Sicilia, mareografo di Catania, livello medio del mare del 1965;
- per la Sardegna, mareografo di Cagliari, livello medio del mare del 1956.

Tra l'una e l'altra definizione ci sono differenze di alcuni centimetri, dovute alla diversa località, al diverso periodo e agli errori nelle reti che realizzano il datum. Queste differenze tuttavia non hanno rilevanza per la maggior parte delle applicazioni pratiche in cui si opera localmente e più che le quote interessano i *dislivelli* cioè le differenze di quota. Ovviamente opere di ingegneria come il ponte sullo Stretto necessitano di una datum locale appositamente definito.

Nella geodesia moderna, che per le misure utilizza tecniche satellitari, al datum altimetrico deve sempre essere associato un **modello di geoide**. Per l'Italia, il modello ITALGEO2005 è adattato alla rete di livellazione nazionale in modo da minimizzare gli scostamenti tra la superficie del modello e quella della superficie di quota zero a cui è riferita la livellazione. Migliori risultati si possono ottenere con modelli adattati localmente alla rete di livellazione, come il geoide Umbria 2008. Scostamenti di una certa misura sono comunque inevitabili, sia per effetto degli errori di misura che si accumulano nella rete di livellazione, sia per effetto dell'approssimazione del modello e degli interpolatori utilizzati per esso, sia infine per le deformazioni altimetriche della crosta terrestre dovute a fenomeni sismici, di subsidenza (ad es. in seguito all'estrazione di metano o acqua dal sottosuolo) e di bradisismo (ad es. in zone vulcaniche).



Fig. 18 – Rete di livellazione italiana

La figura 18 mostra uno schema della rete di livellazione italiana, realizzata e periodicamente aggiornata – un tratto alla volta – dall’IGM. Date le modalità di misura, le linee di livellazione seguono per lo più percorsi di strade statali, con un *caposaldo* materializzato ogni chilometro circa. La figura 19 riporta a titolo di esempio la *monografia* di uno di questi caposaldi.

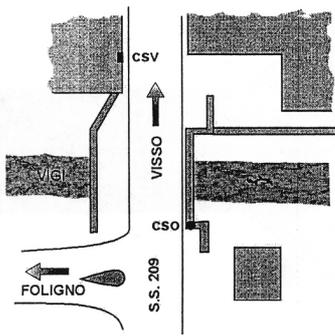
	Provincia: PERUGIA Comune: CERRETO DI SPOLETO Carabinieri: CERRETO DI SPOLETO	Proprietà: _____ Indirizzo: _____ Comune: _____ Cap: _____ Tel: _____ Fax: _____ Provincia: _____	
	Cartografia 1:25 000 Serie 25IV: 131 II NE Serie 25: _____		
C: 357,0463 (CSO) Bulloncino inox universale infisso sulla spalla destra del ponte, lato valle, sul fiume Vigi.	Progressiva chilometrica: Km 46,208 dal Nodale N041P ### #### Quotato: 1998 Ricognito: 1998		
C: 358,2603 (CSV) Piastrina infissa sul fronte, a destra del portone di accesso, della casa posta a monte del ponte e lungo la riva sinistra del fiume Vigi			Geografiche (Roma40) φ: 42°48'44,755" λ: 00°27'44,794" Geografiche (WGS84) φ: λ: Plane (Gauss-Boaga) Fisso N: Fisso E: 4.742.180,00 E: 2.349.510,00 Plane (UTM-WGS84) Fisso 29 N: Fisso 33 N: E: E:
ANNOTAZIONI ○ SGQ998 ■ SGQ928 358,5440 (vecchia rete) RIQ998			
BORGO CERRETO (Ponte sul fiume Vigi)			0122# ### 046#

Fig. 19 – Esempio di monografia di un caposaldo di livellazione IGM. Sono indicate anche le coordinate geografiche ma il dato più importante è la quota ortometrica, che è indicata con ben quattro cifre decimali. L’accuratezza relativa (riferita alla distanza) del dislivello tra due caposaldi successivi è infatti dell’ordine di 1 mm/km o poco inferiore. La materializzazione in questo caso è doppia, realizzata con un caposaldo “orizzontale” posto sulla spalla di un ponte e un caposaldo “verticale” costituito da una piastrina murata sulla facciata di un edificio.