

Regione Emilia-Romagna

Settore innovazione digitale, dati, tecnologia e polo archivistico

Area Sistemi Informativi Geografici

Sistemi di coordinate per l'informazione geografica

Contenuto del presente testo:

1. Premessa
2. Definizioni dei sistemi di riferimento
3. Principali sistemi di riferimento attualmente in uso
4. Trasformazioni di coordinate da un sistema ad un altro
5. Schema sintetico di principali sistemi di riferimento geodetici e dei sistemi cartografici ad essi associati
6. Tavola dei sistemi di coordinate geografiche e cartografiche trattate in Regione Emilia-Romagna
7. Bibliografia

1. Premessa

Il D.M. del 10 novembre 2011 stabilisce, fra le altre cose, che il sistema geodetico nazionale ufficiale debba essere la realizzazione ETRF2000 (denominata anche RDN2008) del sistema ETRS89. È lo stesso sistema in cui normalmente vengono fornite le coordinate delle misure topografiche eseguite con strumentazione satellitare (GNSS), quindi i dati geografici di nuova istituzione geometrica nella maggior parte dei casi nascono già espressi in questo sistema.

È però consistente il patrimonio di dati geografici ancora in uso riferiti ad altri sistemi. Nell'attesa che si consolidi l'utilizzo dell'unico sistema e che tutte le informazioni geografiche risultino riferite ad esso, è necessario potersi districare fra i vari sistemi ancora in circolazione.

Nel seguito sono brevemente descritti i principali sistemi di riferimento attualmente in uso, o nei quali sono tuttora espressi dati geografici di interesse.

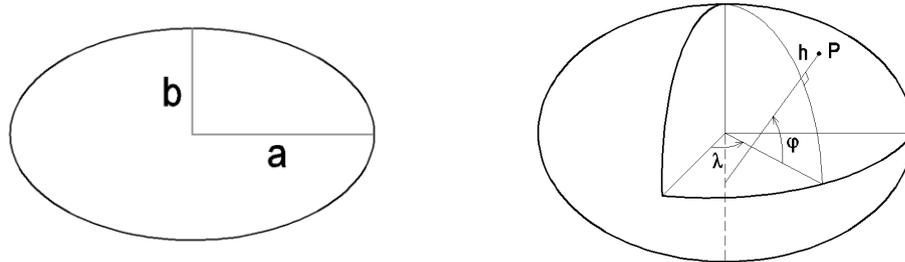
2. Definizioni dei sistemi di riferimento

2.1. Superfici di riferimento e coordinate

La forma della Terra è molto vicina alla superficie matematica di un ellissoide di rotazione, cioè un ellissoide biassiale:

- di forma e dimensioni assegnate attraverso due parametri
- di posizione spaziale definita attraverso sei parametri

La posizione geografica di un punto sulla Terra può essere definita come la sua posizione relativa alla superficie di riferimento, utilizzata in sostituzione della reale forma della Terra, per mezzo di una coppia di coordinate curvilinee come la latitudine e la longitudine e dell'altezza sopra la superficie di riferimento.



Parametri dell'ellissoide e coordinate geografiche

La determinazione delle posizioni è stata tradizionalmente scissa in due componenti: verticale e orizzontale. Ciò ha implicato che nel contesto classico siano definiti due sistemi distinti di riferimento geodetico.

Le superfici di riferimento più spesso utilizzate sono la sfera, l'ellissoide biassiale ed il geoide (superficie equipotenziale del campo gravitazionale della Terra).

Le prime due hanno una definizione puramente geometrica e sono alternative, la terza ha una definizione fisica ed è associata alle altre per la determinazione più utilizzata delle quote.

Un datum planimetrico è quindi il modello matematico della Terra che usiamo per definire le coordinate geografiche dei punti.

Un datum planimetrico è un set di 8 parametri: due di forma dell'ellissoide e sei di posizione e di orientamento, come spiegato nel seguito.

Come verrà meglio specificato più avanti, ad un datum planimetrico occorre aggiungere una rete compensata di punti, estesa sull'area di interesse, che lo materializza.

In uno stesso datum (sistema di riferimento) si possono usare molti sistemi di coordinate piane; le trasformazioni tra questi ultimi sono sempre puramente matematiche e non richiedono l'introduzione di misure.

2.2. Definizione di sistema geodetico-cartografico

Per utilizzare compiutamente un sistema geodetico-cartografico, è dunque necessario precisare quali siano:

- il sistema geodetico di riferimento (datum), planimetrico ed altimetrico
- la rappresentazione cartografica adottata e le condizioni di applicazione
- le misure ed i calcoli di compensazione della rete di inquadramento che lo realizzano

2.2.1. Definizione del sistema planimetrico (locale oppure globale)

Il sistema geodetico di riferimento planimetrico locale è definito mediante:

- forma dell'ellissoide
- orientamento dell'ellissoide

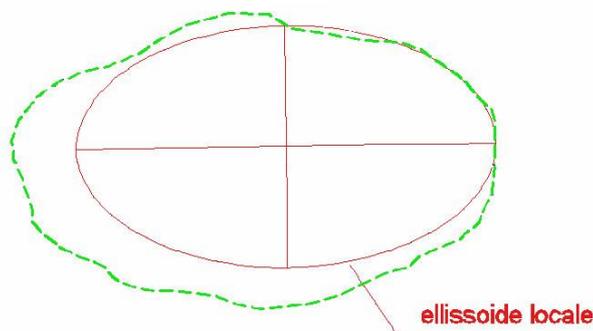
Forma dell'ellissoide

Viene assegnata mediante la dimensione dei due semiassi (a, b) oppure mediante il semiasse maggiore (a) più un valore che esprime le proporzioni dell'ellisse (schacciamento $f = (a-b) / a$ oppure eccentricità $e = \sqrt{(a^2 - b^2)} / a$)

Orientamento dell'ellissoide

È il posizionamento spaziale dell'ellissoide, scelto in modo da approssimare al meglio la forma della terra nella zona di interesse (ad esempio l'Italia). Viene espresso tramite:

- scelta del punto di emanazione (generalmente centrale rispetto alla zona di interesse)
- determinazione di latitudine e longitudine astronomica e della quota geoidica del punto
- in corrispondenza di tale punto, imposizione che:
 - la latitudine e la longitudine ellissoidiche siano uguali a quelle astronomiche
 - la quota ellissoidica sia uguale alla quota geoidica
 - la normale ellissoidica coincida con la normale geoidica
- orientamento dell'asse di rotazione dell'ellissoide al Nord astronomico (azimut astronomico)
- scelta del meridiano origine delle longitudini

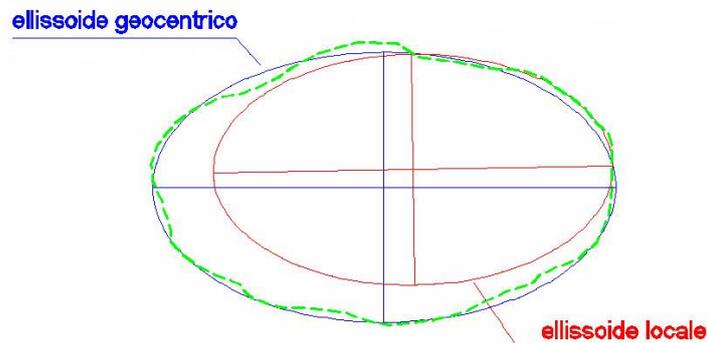


Adattamento locale dell'ellissoide

Il sistema di riferimento planimetrico *globale* è invece definito come:

un sistema terrestre convenzionale (CTS) costituito da un sistema cartesiano geocentrico (O,X,Y,Z) con l'origine nel centro di massa della Terra e la terna destrorsa degli assi orientata secondo parametri convenzionali (es. polo nord convenzionale e meridiano di Greenwich, definiti dal BIH al 1984.0)

Ad esso viene poi associato un ellissoide geocentrico globale:



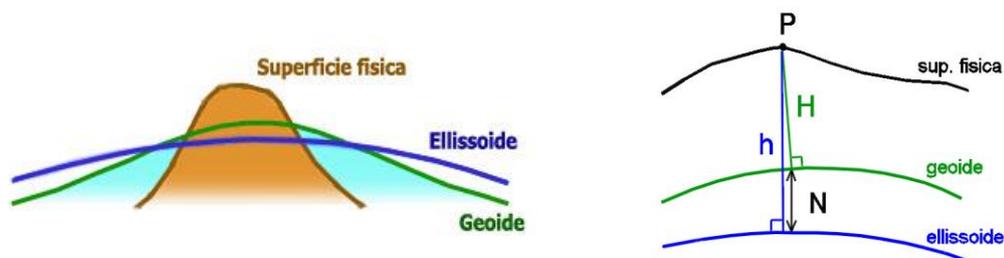
2.2.2. Definizione del sistema altimetrico (geoide locale)

Il datum altimetrico è la superficie zero a cui sono riferite le quote.

Si introduce quindi il concetto di “geoide”, definito come superficie equipotenziale del campo di gravità. Può essere pensato come la superficie del mare (media delle maree) estesa idealmente anche al di sotto della terraferma.

Come riferimento altimetrico occorre uno “zero” convenzionale; esso viene definito mediante:

- scelta del sito
- misure mareografiche
- definizione del periodo temporale di misura
- materializzazione del “livello medio del mare”



Quota geoidica e quota ellissoidica

Occorre sottolineare come la quota s.l.m. (detta anche “geoidica”, o a volte “ortometrica”) di un punto non corrisponda alla quota ellissoidica, che è invece la distanza del punto dalla superficie ellissoidica di riferimento.

I rilevamenti eseguiti mediante GNSS forniscono la quota ellissoidica dei punti; per questo motivo ha assunto grande rilevanza la conoscenza della cosiddetta “ondulazione geoidica”, cioè della differenza, in ogni punto, fra la quota ellissoidica e quella geoidica.

Tale grandezza non è costante su tutto il territorio, ma varia in base alle caratteristiche fisiche (gravitazionali) della superficie terrestre.

La sua conoscenza è puntuale, ottenuta essenzialmente mediante misure di gravità. Dalle misure puntuali è stato costruito un modello che possiamo immaginare come una superficie di interpolazione, in grado di fornire, per ogni posizione planimetrica, lo scostamento fra ellissoide e geoide.

Nella prassi comune, alle coordinate cartografiche è sempre associata la quota geoidica. Anche alle coordinate geografiche nei sistemi ROMA40 ed ED50 (vedi seguito) è di norma associata la quota geoidica, perché le quote ellissoidiche di tali sistemi non sono né facilmente determinabili né di grande utilità. Le coordinate geografiche ETRS89 si accompagnano invece normalmente alla quota ellissoidica, che viene fornita dalle determinazioni GNSS.

2.2.3. Sistema cartografico associato

Una volta definito il sistema geodetico di riferimento plano-altimetrico, il problema della georeferenziazione delle informazioni territoriali sarebbe definitivamente risolto.

Esigenze di rappresentazione del territorio su carta (“cartografia”) hanno però generato la necessità di definire delle “proiezioni” della superficie tridimensionale di riferimento (ellissoide) su superfici che possano essere rese piane, pur nella consapevolezza che tale processo comporta necessariamente una deformazione.

La maggior parte della cartografia a grande scala utilizza la rappresentazione conforme di Gauss, detta anche di Mercatore trasversa. Essa presenta deformazioni lineari variabili da punto a punto, valutabili attraverso un parametro detto “modulo di deformazione lineare”.

Lungo il meridiano su cui si sceglie di centrare la rappresentazione si ha l’isometria, ovvero l’assenza di deformazioni; allontanandosi da tale meridiano le deformazioni crescono progressivamente.

Tali deformazioni sono tutte nel senso della dilatazione; per contenerne il valore massimo viene imposto un fattore di scala inferiore ad uno sul meridiano centrale, in modo che una parte della rappresentazione deformi nel senso della contrazione.

Il modulo di deformazione caratteristico della cartografia diventa così la risultante di due componenti: il modulo di deformazione vero e proprio della rappresentazione e il fattore di contrazione imposto.

Per contenere le deformazioni entro limiti giudicati accettabili è inoltre stato scelto di limitare l'utilizzo della rappresentazione entro 3 gradi di longitudine dal meridiano centrale. Ciò significa un campo di validità di 6 gradi di longitudine, chiamato "fuso".

Infine, per evitare che le coordinate assumano valori negativi viene ad esse sommata una costante, detta "falsa origine".

Riepilogando, la rappresentazione di Gauss consente e richiede la scelta di cinque parametri (o condizioni di applicazione): la longitudine del meridiano centrale, l'ampiezza del fuso, il fattore di scala sul meridiano centrale (detto impropriamente fattore di contrazione), le due false origini per le coordinate piane (Nord e Est).

2.2.4. Realizzazione del sistema

Un sistema geodetico rimane una definizione astratta non utilizzabile nella pratica fino a che non viene "realizzato", cioè concretizzato in una serie di punti fisici realmente esistenti sul territorio.

È su tali punti che si potranno appoggiare le attività di misura per l'inquadramento nel sistema di tutto ciò che ad esso si deve riferire (cartografia, rilevamenti ecc.). La qualità delle misure GNSS si basa ad esempio sulla "correzione differenziale", che può essere eseguita posizionando un secondo ricevitore su un punto di coordinate note oppure recepita dalla rete di stazioni permanenti; in ogni caso, il punto misurato acquisisce le proprie coordinate in riferimento ad altri elementi che costituiscono appunto la realizzazione del sistema. Anche le geometrie delle cartografie e dei DB topografici, il cui impianto deriva usualmente da rilievi aerofotogrammetrici, acquisiscono le coordinate dalla realizzazione del sistema di riferimento, attraverso la misura dei punti di appoggio della triangolazione aerea.

I punti fisici che realizzano il sistema devono essere facilmente individuabili sul territorio ed avere carattere di stabilità e durabilità.

Essi sono contraddistinti mediante un codice identificativo univoco, e descritti nel dettaglio in appositi documenti usualmente detti "monografie".

Quando per le misurazioni topografiche si usavano prevalentemente strumentazioni ottiche i punti venivano scelti con caratteristiche di elevata visibilità (es. sommità di campanili, croci montane ecc.); quando la strumentazione di misura più utilizzata è diventata quella GNSS, i punti venivano materializzati generalmente mediante centrini metallici murati su manufatti stabili e duraturi, possibilmente raggiungibili con autovettura. Oggi abbiamo, oltre a tali punti delle reti cosiddette "statiche" ancora ampiamente utilizzati, anche le cosiddette "stazioni permanenti", ovvero ricevitori GNSS sempre in funzione in grado di fornire le correzioni differenziali con continuità, direttamente o mediante l'organizzazione in reti di più ricevitori coordinati in termini di calcolo ed erogazione di servizi.



Esempio di vertice di rete "statica"



Esempio di stazione permanente

3. Principali sistemi di riferimento attualmente in uso

I principali sistemi geodetici di riferimento in cui sono espressi i dati geografici oggi in circolazione sono i seguenti:

- ROMA40
- ED50
- ETRS89 (ETRF89 e RDN2008)

Note:

- il termine "RDN2008" è un altro nome della realizzazione ETRF2000, usato per evitare ambiguità con le varie realizzazioni ETRF2000 delle altre nazioni europee
- prima della comparsa della realizzazione RDN2008, spesso veniva utilizzato l'acronimo WGS84 per riferirsi al sistema ETRS89 nella realizzazione ETRF89.

Occorre inoltre citare il sistema utilizzato dal Catasto (ellissoide di Bessel orientamento Genova), la cui descrizione esula però dal presente contesto.

Ad ogni sistema geodetico è associato un sistema piano definito da una rappresentazione cartografica e da alcune condizioni al contorno. I sistemi piani associati ai sistemi geodetici sopra elencati sono, rispettivamente, i seguenti:

- Gauss-Boaga
- UTM-ED50
- UTM-ETRF89 e UTM-RDN2008

Più sotto è riportata una tabella con le codifiche standard dei vari sistemi di interesse per la Regione Emilia-Romagna.

3.1. Sistemi geodetici

3.1.1. Il sistema ROMA40

È il sistema geodetico nazionale, introdotto subito dopo la Seconda guerra mondiale, ancora ufficialmente adottato. È costituito dall'ellissoide di Hayford (detto anche ellissoide Internazionale) caratterizzato dai seguenti parametri:

semiasse maggiore	$a = 6\,378\,388$
schacciamento	$f = 1/297$

L'orientamento dell'ellissoide è imposto sulla verticale del punto Roma Monte Mario identificato dai seguenti valori astronomici (definizione 1940):

latitudine	$41^{\circ} 55' 25.510''$
longitudine	$0^{\circ} (12^{\circ} 27' 08.400'' \text{ Est da Greenwich})$
azimut su Monte Soratte	$6^{\circ} 35' 00.88''$

Le longitudini sono normalmente contate dal meridiano di Roma Monte Mario che costituisce l'origine propria del sistema. In certi casi può risultare utile riferire le longitudini a Greenwich; tale modifica costituisce soltanto una traslazione del meridiano di riferimento e si ottiene sommando la costante $12^{\circ} 27' 08.400''$.

Il sistema Roma40 è il riferimento per la rete geodetica nazionale "classica" dell'IGM costituita da circa 20.000 vertici. A scopo cartografico è stato utilizzato fino agli anni '60; ad esso è riferita la Carta d'Italia al 100.000 ed il suo sottomultiplo al 25.000. Molte regioni usano tale sistema per la memorizzazione dei file della propria carta tecnica numerica.

3.1.2. Il sistema ED50

È il sistema geodetico europeo, introdotto negli anni '60 allo scopo di unificare la cartografia di tutto il continente. Anch'esso, come Roma40, è costituito dall'ellissoide di Hayford, orientato in modo tale da costituire un buon riferimento per tutta l'Europa (orientamento medio europeo definizione 1950). Le coordinate del punto Roma Monte Mario assumono in questo sistema i seguenti valori:

latitudine	$41^{\circ} 55' 31.487''$
longitudine	$12^{\circ} 27' 10.930'' \text{ Est da Greenwich}$

Le longitudini sono contate dal meridiano di Greenwich.

Il sistema ED50 è utilizzato in Italia a soli fini cartografici. In esso è inquadrata (taglio) la quasi totalità della cartografia oggi prodotta: la carta d'Italia al 50000 e tutti i suoi sottomultipli 25000, 10000 e 5000; le prime due realizzate dall'IGM, le altre costituenti la Carta Tecnica Regionale.

3.1.3. Il sistema ITRS89 (da cui il sistema ETRS89, nelle realizzazioni ETRF89 e RDN2008)

È un sistema terrestre convenzionale (CTS) costituito da un sistema cartesiano geocentrico (O, X, Y, Z) con l'origine coincidente con il centro di massa della Terra, l'asse Z passante per il polo Nord convenzionale definito dal BIH al 1984.0, l'asse X passante per il meridiano di Greenwich definito dal BIH al 1984.0 e l'asse Y tale da formare una terna destrorsa.

La versione europea dell'ITRS è costituita dal sistema ETRS89, definito sul terreno da una rete di punti distribuiti sull'intero continente; le coordinate di tali punti dipendono dalla realizzazione (ETRFxx, dove xx è l'anno dell'istituzione). Ad esso è associato l'ellissoide GRS80, caratterizzato dai seguenti parametri:

semiasse maggiore $a = 6\,378\,137$
schacciamento $f = 1/298.257222101$

Le longitudini sono contate dal meridiano di Greenwich.

Il sistema è stato introdotto anche in Italia in seguito all'affermarsi delle tecnologie di rilievo satellitare GNSS. In tale sistema sono state realizzate le moderne reti geodetiche dell'IGM: sia la rete denominata IGM95 sia la Rete Dinamica Nazionale (RDN).

3.2. Sistemi cartografici associati

3.2.1. Gauss-Boaga

È associato al sistema geodetico di riferimento Roma40 ed adotta la rappresentazione conforme di Gauss.

Il sistema Gauss-Boaga si compone di 2 fusi di 6 gradi, definiti allo scopo di coprire il solo territorio nazionale e denominati OVEST ed EST. I due fusi hanno un fattore di scala sul meridiano centrale pari a 0.9996 e sono caratterizzati dalle condizioni al contorno di seguito descritte.

Fuso	Longitudine del meridiano centrale da Roma M.M.	Falsa origine est in metri
OVEST	-3° 27' 08.400"	1 500 000
EST	2° 32' 51.600"	2 520 000

3.2.2. U.T.M.

L'UTM (Universal Transverse Mercator) è il sistema cartografico associato sia all'ED50 sia all'ETRS89.

Anch'esso adotta la rappresentazione conforme di Gauss ma considera l'intero globo dividendolo in 60 fusi di 6 gradi ciascuno. I fusi sono numerati da 1 a 60 verso est a partire dall'antimeridiano di Greenwich.

L'intero territorio nazionale risulta compreso fra 3 fusi: 32, 33 e 34. Il fattore di scala sul meridiano centrale è per tutti i fusi pari a 0.9996. Di seguito sono descritte le condizioni al contorno dei 3 fusi riguardanti l'Italia.

Fuso	Longitudine del meridiano centrale da Greenwich	Falsa origine est in metri
32	9°	500 000
33	15°	500 000
34	21°	500 000

3.2.3. LAEA

Il sistema europeo LAEA-ETRS89 è definito dal sistema geodetico ETRS89 e dalla rappresentazione azimutale equivalente di Lambert (Lambert Azimuthal Equal Area), con le seguenti condizioni di applicazione:

- latitudine del parallelo centrale: 52°
- longitudine del meridiano centrale: 10° Est da Greenwich
- falsa origine Est: 4321000
- falsa origine Nord: 3210000

L'Agenzia europea dell'ambiente ne raccomanda l'uso per le analisi statistiche.

3.3. Realizzazioni

3.3.1. Realizzazione del sistema ROMA40

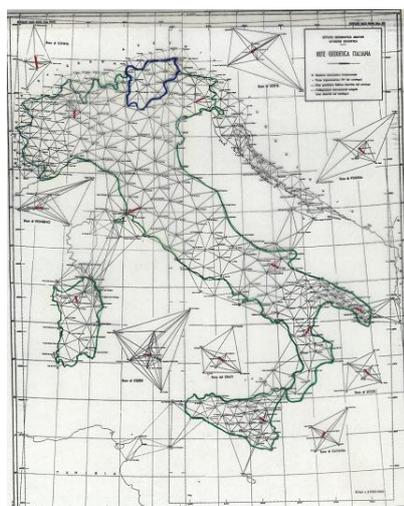
Rete di Triangolazione fondamentale di primo ordine, dimensionata su otto basi (calcolo 1908-1919) e reti di raffittimento (figura nel seguito).

3.3.2. Realizzazione del sistema ED50

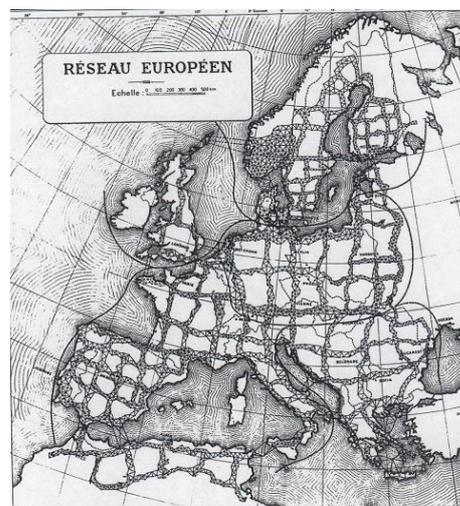
Non ha una propria realizzazione; si basa su una rete di inquadramento consistente nell'unione delle reti nazionali di I ordine dei paesi europei.

Il calcolo di compensazione è stato eseguito nel 1950 dall'A.M.S. (Army Map Service)

La compensazione ED50 può essere usata per taluni scopi pratici, soprattutto di tipo cartografico, ma non per quelli geodetici, né operativi né tantomeno scientifici.



Rete geodetica fondamentale sistema ROMA40



Reti fondamentali partecipanti alla compensazione ED50

3.3.3. Realizzazioni del sistema ETRS89

Rete EUREF89

Raffittimento italiano:

- Rete IGM95
- Rete Dinamica Nazionale



Rete EUREF



Rete IGM95



Rete Dinamica Nazionale

3.4. Il sistema regionale UTMRER

La premessa è che occorre contestualizzare la realizzazione e l'utilizzo del Sistema UTMRER nel primo periodo di utilizzo di calcolatori per trattare dati vettoriali estesi su tutto il territorio regionale, ovvero quando le capacità in termini di rappresentazione numerica e di memoria richiedevano alcune semplificazioni e hanno suggerito l'adozione di un sistema le cui coordinate fossero trattabili da calcolatori in singola precisione e con memoria limitata ed in modo omogeneo su tutto il territorio regionale.

Il sistema di riferimento principale in uso al momento nell'Ente Regione Emilia-Romagna era il sistema Gauss-Boaga, nel quale sono realizzati ed inquadrati gli elementi di impianto della CTR 1:5000 e le cartografie tematiche derivate, con l'esigenza particolarmente rilevante di poter rendere disponibili le cartografie anche nel sistema europeo ED50-UTM32N.

Allo scopo di poter trattare e convertire in ED50-UTM32N dati cartografici estesi al territorio regionale tramite sistemi di calcolo, la RER ha definito una trasformazione approssimata, basata su di una traslazione, da Gauss-Boaga verso il sistema UTMRER-ED50, inoltre ha deciso estendere il fuso 32 (o fuso Gauss-Boaga Ovest) alla parte di territorio regionale compresa nel fuso 33 (o fuso EST Gauss-Boaga Est) e di accettare quindi l'errore di proiezione che ne deriva tenendo fra l'altro presente le scale di rappresentazione utilizzate a livello di funzioni regionali e di applicare una falsa origine alla coordinata Nord del Sistema ED50-UTM32N in modo da ridurre il numero di cifre necessarie.

Tale traslazione, benché molto approssimata come metodo di trasformazione, consentiva un trattamento anche con calcolatori non troppo potenti e non comportava per definizione derive di calcolo. Le costanti della traslazione sono calcolate in modo da ottenere una accuratezza accettabile sul territorio regionale e per le principali applicazioni tematiche e le scale di rappresentazione generalmente utilizzate.

Il Sistema di riferimento cartografico denominato UTMRER, pur volendo essere una "approssimazione" del sistema ED50-UTM fuso 32, con falsa origine nord di -4000000 m ed esteso a tutto e solo il territorio dell'Emilia – Romagna, è in realtà una traslazione del Sistema Gauss-Boaga fuso Ovest, esteso al fuso Est.

Schematizzando, il sistema UTMRER è derivato dal sistema Gauss Boaga nel modo seguente:



Tale sistema, negli anni è stato denominato con diverse modalità: UMT32* che stava per ED50-UTM32(*) ovvero con falsa origine nord, esteso al fuso 32 oppure UTMA (dove A sta per Asterisco).

Affinché fosse riconosciuto e gestito dai principali ambienti GIS la Regione Emilia-Romagna ha recentemente richiesto ed ottenuto al registro dei sistemi di riferimento di EPSG (European Petroleum Survey Group), www.epsg.org, la registrazione del sistema che ha assunto il codice EPSG:5659 e la denominazione di **Monte Mario / TM Emilia-Romagna**.

ConvER tiene conto dell'origine del Sistema UTMRER nell'applicare i metodi di trasformazione. Benché ConvER disponga di metodi di calcolo molto precisi, per compatibilità verso le applicazioni in essere qualora sia coinvolto UTMRER, sia come sistema di partenza che come sistema di arrivo, verrà applicato un percorso di trasformazione adeguato. In particolare, qualora il secondo sistema sia Gauss-Boaga verrà utilizzata la traslazione, diretta o inversa, indicata sopra; qualora la destinazione sia qualunque altro sistema diverso dal Gauss-Boaga, verrà operata prima la traslazione verso Gauss-Boaga e poi l'opportuna trasformazione definita attraverso gli specifici "grigliati" di conversione fra i rispettivi sistemi geografici.

Nota: qualora per ragioni di compatibilità verso metodologie precedenti si debba operare una trasformazione tra Gauss-Boaga e l'approssimazione regionale ED50-UTM32, è necessario operare una doppia trasformazione passando attraverso la fase intermedia nel sistema UTMRER.

4. Trasformazioni di coordinate da un sistema ad un altro

Vista la natura delle reti che realizzano i sistemi geodetici, si comprende come il passaggio fra sistemi geodetici diversi non sia un calcolo matematico basato solo su considerazioni relative alla geometria dell'ellissoide, ma occorra tenere conto delle deformazioni delle reti geodetiche conseguenti alle compensazioni "storiche".

Purtroppo, come ci si può immaginare, la distribuzione delle deformazioni non segue una legge matematica che possa essere modellata con una semplice formula.

La trasformazione tra due datum può essere calcolata solo quando vi siano sufficienti misure che legano alcuni (molti) punti nei due sistemi; si tratta quindi di generare un modello delle deformazioni mediante interpolazione fra tali punti noti.

4.1. Soluzioni approssimate

Storicamente sono state ricercate soluzioni semplificate che permettessero di eseguire le trasformazioni, sebbene con una certa approssimazione nella precisione dei risultati:

- costanti additive (lista delle differenze di coordinate per ogni tavoletta 1:25000)
- linee isotransitive (interpolazione grafica fra curve che rappresentano uguali differenze di latitudine e longitudine fra i due sistemi)
- algoritmi polinomiali
- rototraslazioni spaziali

Tavoletta		ΔN	ΔE	$\Delta \varphi$	$\Delta \lambda$		
		m	m	"	°	'	"
I	NE	171.5	-2019935.2	5.62	12	27	11.13
I	SE	171.7	-2019935.3	5.63	12	27	11.12
I	SO	171.8	-2019935.3	5.64	12	27	11.11
I	NO	171.6	-2019935.2	5.63	12	27	11.12
II	NE	171.8	-2019935.4	5.63	12	27	11.12
II	SE	172.0	-2019935.5	5.64	12	27	11.09
II	SO	172.5	-2019935.5	5.66	12	27	11.09
II	NO	172.1	-2019935.4	5.64	12	27	11.10
III	NE	172.6	-2019935.3	5.66	12	27	11.09
III	SE	173.0	-2019935.4	5.68	12	27	11.09
III	SO	173.2	-2019935.4	5.69	12	27	11.07
III	NO	172.9	-2019935.3	5.68	12	27	11.08
IV	NE	171.8	-2019935.2	5.64	12	27	11.11
IV	SE	172.2	-2019935.3	5.65	12	27	11.10
IV	SO	172.6	-2019935.3	5.67	12	27	11.09
IV	NO	172.2	-2019935.2	5.65	12	27	11.09

Esempio di costanti di transito fra coordinate UTM-ED50 e Gauss-Boaga (fuso Est)

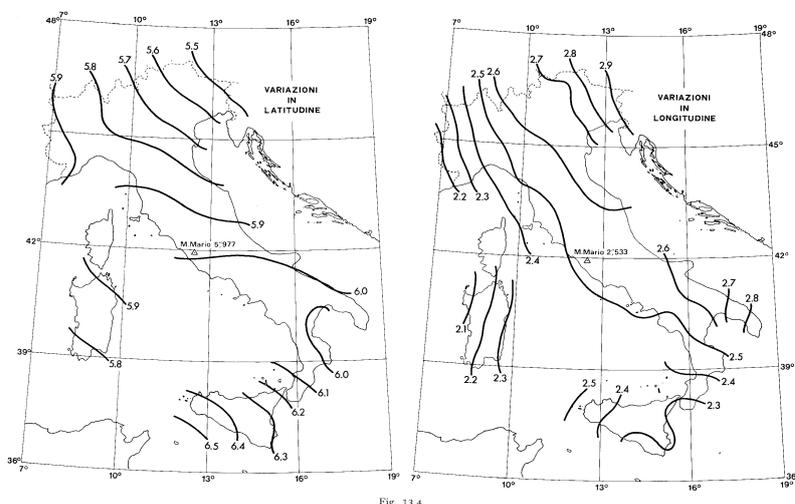


Fig. 13.4

Esempio di linee isotransitive

Fino a pochi anni fa per il passaggio fra i sistemi in uso in Italia (ETRS89 - ROMA40 - ED50) l'IGM utilizzava il metodo della rototraslazione spaziale (a 7 parametri), fornendo un diverso set di parametri per ogni punto della rete IGM95; approssimativamente l'area di validità di ogni set di parametri aveva dunque un raggio di una decina di chilometri. Tale soluzione garantisce buone precisioni, ma ha il difetto non trascurabile di frammentare il calcolo, generando delle discontinuità ai limiti di passaggio fra aree adiacenti.

4.2. Il metodo attuale dei "grigliati"

Oggi il metodo di trasformazione fra sistemi adottato anche dall'IGM si basa invece su delle matrici di punti che contengono le differenze di latitudine e longitudine fra i vari sistemi per tutto il territorio nazionale, senza discontinuità.

Dal punto di vista della precisione, utilizzare i valori IGM è la soluzione più rigorosa. Trattandosi del riferimento ufficiale, essi sono privi di errore per definizione.

A livello nazionale occorre acquistare presso l'IGM i file con i "grigliati", ovvero le matrici di trasformazione, che vengono vendute per porzioni di territorio corrispondenti ai fogli 1:50000.

Si tratta di file ascii il cui nome corrisponde al numero del foglio 1:50000, mentre l'estensione del file è .GR1, .GR2, .GK1 o .GK2, col seguente significato:

- GR1; ROMA40-ED50-ETRF89, geoide Italgeo99
- GR2: ROMA40-ED50-ETRF89, geoide Italgeo2005
- GK1: ROMA40-ED50-ETRF89-RDN2008, geoide Italgeo99
- GK2: ROMA40-ED50-ETRF89-RDN2008, geoide Italgeo2005

Sono inoltre disponibili, sempre a livello nazionale e grazie anche ad una collaborazione con la Regione Emilia-Romagna, i file nel formato NTV2 per la componente planimetrica.

A livello regionale, sono state sviluppate anche delle soluzioni *ad hoc*, descritte nel seguito.

4.3. Il modello approssimato "GPS7"

Anni fa la Regione Emilia-Romagna ha realizzato sull'intero territorio regionale il raffittimento della rete geodetica fondamentale IGM95, con interdistanza media fra i punti di circa 7 km.

La rete di raffittimento è stata realizzata sulla base di specifiche tecniche conformi a quanto indicato nel documento "Raffittimento della rete fondamentale IGM95" del 16 luglio 2001, realizzato dal gruppo di lavoro "Reti plano-altimetriche" dell'Intesa Stato - Regioni - Enti locali 26/9/96 sui Sistemi Informativi Geografici.

I vertici per l'inquadramento della rete di raffittimento sono quelli della rete geodetica fondamentale IGM95 ricadenti nel territorio della Regione Emilia-Romagna o in prossimità del confine.

Operativamente, la realizzazione della rete di raffittimento è stata organizzata per singole province, ma le caratteristiche delle materializzazioni e le prescrizioni per le misure sono comuni per le varie realizzazioni provinciali, in modo da garantire la necessaria omogeneità al raffittimento a livello regionale.

Le basi costituenti la rete di raffittimento sono indipendenti, determinate con metodologia di posizionamento GPS di tipo relativo (differenziale) statico. Sono richieste le seguenti precisioni, relativamente ai risultati del calcolo della compensazione intrinseca, al livello di confidenza del 95%:

- Controllo della chiusura dei poligoni: ≤ 10 cm
- Semiassi maggiori delle ellissi relative riferite a coppie di punti collegati da una base: ≤ 4 cm
- S.q.m. altimetrico: ≤ 6 cm

Complessivamente, la rete di raffittimento comprende oltre 700 vertici, che costituiscono il riferimento materiale dei sistemi di coordinate geodetiche.

Le coordinate di ciascuno dei vertici sono note nei principali sistemi di riferimento: ETRS89, ED50, ROMA40. I punti della rete, pertanto, forniscono informazioni puntuali delle differenze di coordinate fra i

vari sistemi, che possono essere utilizzate per generare modelli di calcolo per i passaggi di coordinate.

Con la stessa metodologia applicata dall'Istituto Geografico Militare per ottenere i "grigliati" per i passaggi fra i sistemi di riferimento, basati sui vertici delle reti geodetiche nazionali, la Regione Emilia-Romagna ha generato una propria versione di grigliati regionali, basati sui vertici della rete di raffittimento a 7 km.

In sintesi, la soluzione di calcolo è basata sulla modellazione di una superficie interpolante per le differenze di ciascuna componente (latitudine, longitudine e altezza) di ogni coppia di sistemi di riferimento che si vogliono mettere in relazione.

Sulla base dei valori delle differenze noti per i vertici della rete di raffittimento, sono state calcolate le varie superfici e generati i corrispondenti "grigliati", che contengono i valori assunti da tali superfici in corrispondenza dei nodi di una maglia a passo regolare estesa a tutto il territorio nazionale.

Il modello di calcolo così ottenuto, denominato "GPS7", consente il passaggio fra i vari sistemi di coordinate utilizzando dati regionali, senza necessità di disporre dei "grigliati" nazionali IGM.

I risultati che si ottengono nelle conversioni di coordinate sono prossimi a quelli che si otterrebbero con l'uso dei grigliati nazionali: le differenze fra i due modelli di calcolo risultano, all'interno del territorio regionale, mediamente di alcuni centimetri.

Numericamente, per la conversione fra il sistema ROMA40 (coordinate Gauss-Boaga) e il sistema RDN2008 (coordinate UTM-RDN2008) le differenze sono le seguenti:

- planimetria (distanza fra le due soluzioni): media = 5 cm, s.q.m. = 6 cm, max = 60 cm (fuori Regione)
- altimetria (differenza fra le due soluzioni): media = 0 cm, s.q.m. = 18 cm, max = 90 cm (fuori Regione)

Le conversioni che coinvolgono il sistema ED50 forniscono risultati della medesima qualità.

Il modello "GPS7", oltre ad essere contenuto all'interno del software regionale ConvER, è disponibile anche in forma di griglie NTV2, utilizzabili da parte dei principali software GIS:

RER_MM_ETRS89_GPS7_K2.gsb

RER_MM_ED50_GPS7_K2.gsb

RER_ED50_ETRS89_GPS7_K2.gsb

4.4. Uso di griglie NTV2 per il riallineamento delle geometrie CTR

Già alcuni anni fa la Regione aveva sviluppato uno strumento per operare alcune correzioni geometriche ai dati del DB Topografico (DBT), applicabili contestualmente alla conversione dal sistema di riferimento nativo ROMA40 (Gauss-Boaga) verso i moderni sistemi globali ETRS89.

La soluzione era stata ottenuta realizzando una "griglia" adattiva in formato NTV2, utilizzabile nei principali software GIS, contenente sia i parametri di passaggio fra i diversi sistemi di riferimento sia il modello di correzioni utile a rendere la geometria del DBT più vicina a quella fornita dalle moderne acquisizioni fotogrammetriche.

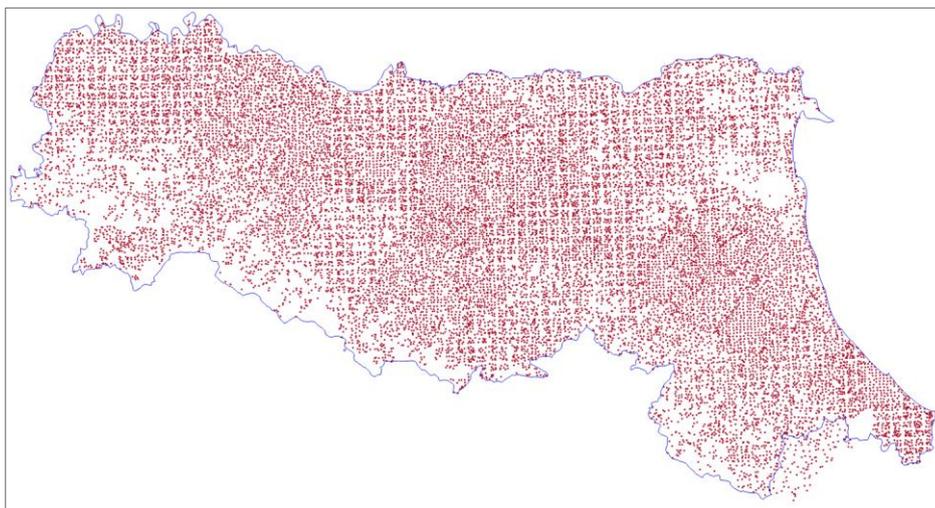
Tale griglia adattiva, denominata *RER_AD400_V1A*, era stata ricavata avendo come riferimento di destinazione l'ortofoto AGEA 2008. Sulla base di un consistente numero di "punti doppi", cioè riconosciuti sia sui dati del DBT sia sulle ortofoto, era stato possibile costruire un modello di trasformazioni in grado di raddrizzare buona parte delle deformazioni geometriche contenute nel dato originale.

Recentemente, la disponibilità di nuovi riferimenti con i quali confrontarsi (AGEA 2018), caratterizzati da una qualità geometrica superiore, ha suggerito l'opportunità di aggiornare la griglia, definendo un nuovo set di punti doppi sui quali generare una nuova versione ancor più performante dei modelli adattivi.

Dal punto di vista concettuale, l'approccio scelto per l'aggiornamento dei modelli adattivi è simile a quello usato nell'attività precedente: l'individuazione di un congruo numero di punti doppi e la conseguente generazione dei modelli interpolativi. Complessivamente sono stati identificati oltre 20000 punti doppi, distribuiti su tutto il territorio regionale.

Sulla base di tali punti doppi si è proceduto alla generazione dei modelli regolari con le differenze di coordinate fra le coppie di sistemi, ottenuti interpolando i valori noti corrispondenti ai punti doppi per ottenere una griglia a maglia quadrata in coordinate geografiche, poi esportata in formato NTV2.

Questa nuova versione è stata denominata *RER_AD400_V2M*.



distribuzione dei punti doppi sul territorio

L'operazione è stata eseguita sia per la griglia relativa al passaggio fra i sistemi ROMA40 (4265) e RDN2008 (o ETRF2000, 6706) sia per quella relativa al passaggio fra ROMA40 e ED50 (4230).

È stata inoltre prodotta la griglia con le differenze fra le due versioni V2M e V1A.

Le griglie sono contenute nei seguenti file:

RER_MM_RDN2008_AD400_V2M.gsb

RER_MM_ED50_AD400_V2M.gsb

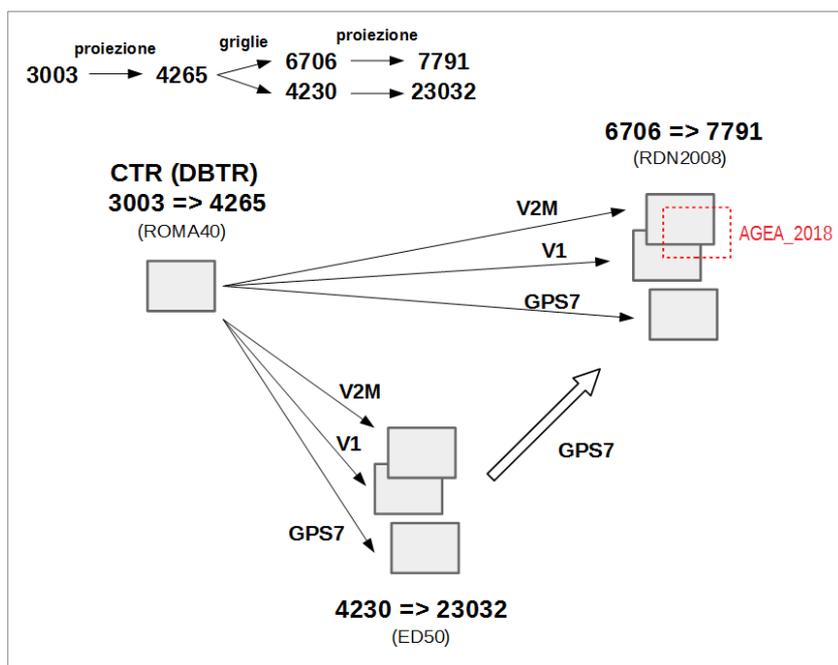
RER_MM_ETRS89_AD400_V1A.gsb

RER_MM_ED50_AD400_V1A.gsb

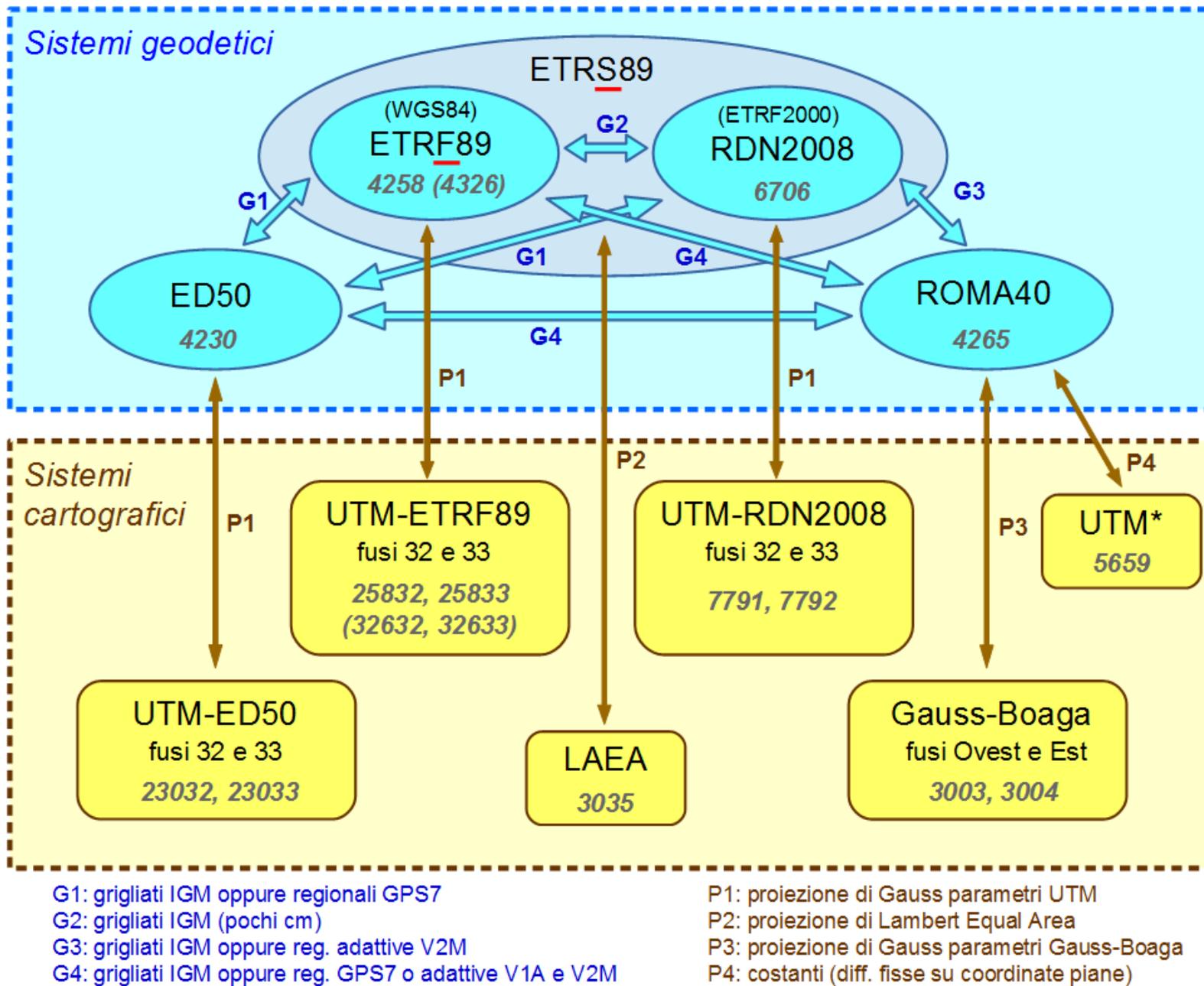
RER_AD400_ETRS89_V1A_RDN2008_V2M.gsb (differenze fra i due adattamenti 2008 e 2018)

Le griglie relative all'adattamento obsoleto (V1A 2008) vengono mantenute per eventuali esigenze di recupero di conversioni precedentemente eseguite con tale modello.

Le griglie adattive non interessano il passaggio dal sistema ED50 al sistema ETRS89, trattandosi di adattamenti da applicare alle geometrie originarie della CTR che erano espresse in Gauss-Boaga. La conversione da ED50 a ETRS89 e viceversa avviene quindi con le griglie IGM oppure GPS7.



5. Schema sintetico di principali sistemi di riferimento geodetici e dei sistemi cartografici ad essi associati



6. Tavola dei sistemi di coordinate geografiche e cartografiche trattate in Regione Emilia-Romagna

		DESCRIZIONI RER				EPSG		ESRI		Axis
Estensione/ Fuso	Tipo	Denominazione	Alias.	SIGLA	SIGLA alternativa	CODE	NAME	FILE PRJ (Nome ESRI)	EPSG: CODE (Riconoscim.)	
RER / Fuso 32	P	RDN2008 / UTM 32N		RDN32		7791	RDN2008 / UTM zone 32N	RDN2008 UTM zone 32N (RDN2008_UTM_zone_32N)	Si	E, N
Fuso 33	P	RDN2008 / UTM 33N		RDN33		7792	RDN2008 / UTM zone 33N	RDN2008 UTM zone 33N (RDN2008_UTM_zone_33N)	Si	E, N
RER / Fuso 32	P	ETRS89 / UTM 32N		ES32		25832	ETRS89 / UTM zone 32N	ETRS 1989 UTM Zone 32N.PRJ (ETRS_1989_UTM_Zone_32N)	Si	E, N
Fuso 33	P	ETRS89 / UTM 33N		ES33		25833	ETRS89 / UTM zone 33N	ETRS 1989 UTM Zone 33N.PRJ (ETRS_1989_UTM_Zone_33N)	Si	E, N
Fuso Ovest	P	MONTE MARIO ITALY 1	GAUSS-BOAGA OVEST	GBO	MM1	3003	MONTE MARIO ITALY 1	Monte Mario Italy 1.PRJ (Monte_Mario_Italy_1)	Si	X, Y
Fuso Est	P	MONTE MARIO ITALY 2	GAUSS-BOAGA EST	GBE	MM2	3004	MONTE MARIO ITALY 2	Monte Mario Italy 2.PRJ (Monte_Mario_Italy_2)	Si	X, Y
Fuso 32	P	ED50 / UTM 32N		UTM32		23032	EUROPEAN DATUM 1950 UTM Zone 32N	European Datum 1950 UTM Zone 32N.PRJ (ED_1950_UTM_Zone_32N)	Si	E, N
Fuso 33	P	ED50/UTM 33N		UTM33		23033	EUROPEAN DATUM 1950 UTM Zone 33N	European Datum 1950 UTM Zone 33N.PRJ (ED_1950_UTM_Zone_33N)	Si	E, N
RER	P	UTMRER	MONTE MARIO ITALY 1 TRASLATO	UTMRER		5659	Monte Mario / UTMRER	UTMRER.PRJ	Si	X, Y
RER	P	UTMRER	ED50/UTM 32N TRASLATO	UTMRER	UTM-ED'50*	* 202003	Codice Custom riferito al sistema in uso presso RER	UTMRER.PRJ	* Custom in uso presso RER	X, Y
RER	P	UTMA	ED50/UTM 32N TRASLATO	UTMA	UTM-ED'50*	* 202032	Codice Custom riferito al sistema in uso presso RER	UTMA.PRJ (definito da RER)	* Custom in uso presso RER	X, Y
RER	G	RDN2008	RDN2008	RDN2008		6706	RETE DINAMICA NAZIONALE 2008	RDN2008.PRJ (GCS_RDN2008)	Si	Lat, Lon
RER	G	ETRS 1989	ETRS89	ETRS89		4258	EUROPEAN TERRESTRIAL REFERENCE SYSTEM 1989	ETRS 1989.PRJ (GCS_ETRS_1989)	Si	Lat, Lon
RER	G	MONTE MARIO	ROMA 1940	MM40	RM40	4265	MONTE MARIO (ORIGINE GREENWICH)	Monte Mario.PRJ (GCS_Monte_Mario)	Si	Lat, Lon
RER	G	ED1950	EUROPEAN DATUM 1950	ED50		4230	EUROPEAN DATUM 1950	European Datum 1950.PRJ (GCS_European_1950)	Si	Lat, Lon
RER	G	WGS 1984	WGS84	WGS84		4326	WORLD GEODETIC SYSTEM	WGS 1984.PRJ	Si	Lat, Lon

								(GCS_WGS_1984)		
Fuso 32	P	WGS 84 / UTM zone 32N		WU32		32632	WGS 84 /UTM Zone 32N	WGS 1984 UTM Zone 32N.prj (WGS_1984_UTM_Zone_32N)	Si	E, N
Fuso 33	P	WGS 84 / UTM zone 33N		WU33		32633	WGS 84 / UTM zone 33N	WGS 1984 UTM Zone 33N.prj (WGS_1984_UTM_Zone_33N)	Si	E, N
RER	P	WGS 84 Web Mercator	WGS 1984 Web Mercator Auxiliary Sphere	WGS84WM		3857	WGS 84 / Pseudo-Mercator	WGS 1984 Web Mercator (Auxiliary Sphere).prj (WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere)	Si	X, Y
RER	P	UTM32CTR	MONTE MARIO ITALY 1 TRASLATO	UTM32CTR		NONE		UTM32CTR.PRJ (definito da RER)	Non definito	X, Y
RER	G	MONTE MARIO (ROMA)	ROMA 1940 (ROMA)	MM40RM	RM40RM	4806	MONTE MARIO (ORIGINE ROMA)	Monte Mario (Rome).PRJ (GCS_Monte_Mario_Rome)	Si	Lat, Lon

Estensione RER: viene accettato l'uso del SR proiettato sul fuso 32/ovest esteso alla parte di territorio regionale appartenente al fuso 33/est, consentendo il continuo territoriale; l'errore di deformazione lineare dovuto alla proiezione è accettabile nella maggior parte delle applicazioni cartografiche/GIS.

DESCRIZIONI RER: Descrizioni frequenti dei sistemi abitualmente in uso in Regione Emilia-Romagna.

EPSG: codifiche dei sistemi proposta da EPSG (www.epsg.org), standard di riferimento per la maggior parte delle soluzioni GIS.

ESRI: denominazione dei file di proiezione proposta da ESRI per l'ambiente ArcGIS o proposta da Regione per gli ambienti GIS ESRI e relativo riconoscimento delle codifiche EPSG.

Nota: alle proiezioni UTM-32 e UTM-33 del sistema RDN2008 corrispondono, oltre ai codici EPSG 7791 e 7792 più appropriati all'utilizzo in ambito GIS, anche i codici EPSG 6707 e 6708, che sono però definiti con l'ordine degli assi invertita (Nord, Est).

7. Bibliografia

- Birardi G. (1972), "Il sistema di riferimento geodetico 1967", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 2 – 1972, Firenze, IGM
- Inghilleri G. (1974), "Topografia Generale", Torino, ed. UTET
- Bencini P. (1978), "Appunti di Cartografia", Firenze, IGM
- Maseroli R. (1995), "Il sistema di riferimento WGS84", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 2 – 1995, Firenze, IGM
- Surace L. (1997), "La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 3 – 1997, Firenze, IGM
- Surace L. (1998), "La georeferenziazione delle informazioni territoriali", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 2 – 1998, Firenze, IGM
- NIMA - National Imagery and Mapping Agency (2000), "Department of Defense World Geodetic System 1984", *Technical Report 8350.2*, third ed.
- Fici R., Surace L. (2002), "Dialogo di un venditore di coordinate e di un passeggero", *Bollettino SIFET*, n. 1 – 2002
- Donatelli D., Maseroli R., Pierozzi M. (2002), "Le trasformazioni tra i sistemi di riferimento utilizzati in Italia", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 4 – 2002, Firenze, IGM
- Maseroli R., Nicolodi S. (2002), "Alcuni metodi per il passaggio dal sistema WGS84 ai sistemi geodetici locali", *Bollettino dell'ASIT*, n. 32 – 2002
- Radicioni F., Stoppini A. (2002), "Georeferenziazione delle informazioni territoriali ed evoluzione delle reti geodetiche", *Atti della V Conferenza Nazionale ASITA*
- Burchietti G., Cima V., Maseroli R., Surace L. (2003), "Geocoding of geological information for GIS implementation: the problem of global and local datums and its solution", *Proceedings of the 4th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*, Bologna, 17 -20 June 2003
- Cima V., Maseroli R., Surace L. (2003), "Il processo di georeferenziazione dal telerilevamento ai GIS", *Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA*
- Burchietti G., Cima V., Maseroli R., Surace L. (2003), "La georeferenziazione delle informazioni geologiche per GIS tematici a copertura nazionale: il problema dei sistemi di riferimento locali", *Atti della VII Conferenza nazionale ASITA*
- Surace L., Maseroli R., Cima V. (2005), "Mapping on the fly: the integration of user-defined map projection within different existing projections in an international context", *Atti del XXII International Cartographic Conference (ICC2005)*
- Caporali A., Turturici F., Maseroli R., Farolfi G. (2009), "Preliminary results of the computation of the new Italian Permanent Network RDN of GPS Stations", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 2 – 2009, Firenze, IGM
- Maseroli R. (2009), "Verto3k", *Istituto Geografico Militare - Firenze, gennaio 2009*
- Baroni L., Cauli F., Donatelli D., Farolfi G., Maseroli R. (2009), "La Rete Dinamica Nazionale (RDN) e la nuova realizzazione ETRF2000 del sistema di riferimento ETRS89", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 3 - 2009, Firenze, IGM
- Baroni L., Cauli F., Farolfi G., Maseroli R. (2009), "Final results of the Italian Rete Dinamica Nazionale (RDN) of Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) and its alignment to ETRF2000", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 3 - 2009, Firenze, IGM

- Farolfi G., Maseroli R. (2009), "Completamento e monitoraggio della rete dinamica nazionale", *Atti della XIII Conferenza Nazionale ASITA*
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2011), Decreto 10/11/2011 "Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale", *G.U. del 27/02/2012*
- Achilli V., Fabris M., Menin A., Targa G., De Gennaro M., Milan P., Trivelloni U., Zampieri A., Baroni L., Maseroli R. (2013), "Il problema della discontinuità fra fusi cartografici: una soluzione pensata per la Regione Veneto utilizzabile anche in altre realtà" – *Atti della XVII Conferenza Nazionale ASITA*
- Maseroli R. (2013), "Il nuovo sistema di riferimento geodetico nazionale: stato attuale e prospettive future", *Bollettino SIFET, n. 1 - 2013*
- Baroni L., Maseroli R. (2014), "Rete Dinamica Nazionale: versione 2", *Atti della 18a Conferenza Nazionale ASITA*
- Carroccio M., Cima V., Maseroli R. (2014), "Corretto utilizzo dei Sistemi Geodetici di Riferimento all'interno dei software GIS", *Atti della XVIII Conferenza Nazionale ASITA*
- Maseroli R. (2015), "Evoluzione del Sistema Geodetico di Riferimento in Italia: la RDN2 Nazionale", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia 2015 (153)*
- Baroni L., Maseroli R., Santoro E. (2017), "Il Sistema ETRF2000 (RDN) adottato dall'Italia: problematiche e prospettive a 10 anni dall'istituzione", *poster, Atti del 62° Convegno Nazionale SIFET*