

# TRASFORMAZIONI DI DATUM PER APPLICAZIONI CARTOGRAFICHE: ASPETTI TEORICI E PRATICI

## *DATUM TRANSFORMATIONS FOR MAPPING APPLICATIONS: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS*

**Riccardo Barzagni (\*)**, **Daniela Carrion (\*)**,  
**Alonzo Testaverde (\*\*)**, **Vincenza Tornatore (\*)**

(\*) DIIAR – Sezione Rilevamento, Politecnico di Milano.

(\*\*) Istituto Geografico De Agostini.

### **Sommario**

Il problema delle trasformazioni tra sistema di riferimento globale, cui si appoggiano le moderne tecniche di posizionamento spaziale GNSS (Global Navigation Satellite System), e sistemi di riferimento nazionali, adottati storicamente per la cartografia, è un problema che ciascun tecnico deve affrontare ogni volta che si debba importare un rilievo GPS su una carta o quando si voglia rendere 'navigabile' una carta tradizionale ad un utilizzatore GPS.

Dopo un breve inquadramento del problema dal punto di vista teorico e una breve panoramica su alcune metodologie attualmente disponibili per gestire le trasformazioni tra sistema globale e sistemi nazionali, viene presentata una applicazione di ArcGis utilizzata per riportare dal sistema ED50 al sistema WGS84 alcune aree coperte dal DB100, base dati cartografica in scala nominale 1:100.000 prodotta dall'Istituto Geografico De Agostini. L'obiettivo del presente lavoro è quello di confrontare tale metodologia con altre metodologie più rigorose che potrebbero risultare più idonee a scala maggiore e valutare la presenza di eventuali deformazioni.

### **Abstract**

*Modern spatial positioning techniques GNSS (Global Navigation Satellite System) are based on a global reference system, while historically cartography is based on a national reference system. The problem of transformations between these two reference systems is a problem that every technician has to face every time a GPS survey needs to be included on a map or every time he needs to make available a traditional map to a GPS user.*

*After a brief introduction of the problem from a theoretical point of view and a short overview on some methodologies, now available to manage transformation between global and national systems, we present an ArcGis application used to convert from the ED50 system to the WGS84 system, some areas covered by DB100. This is a cartographic data base at scale 1:100.000 produced by the Istituto Geografico De Agostini. The objectives of this work are to compare such a methodology with more rigorous approaches, that could be more suitable at a higher scale, and to detect possible deformations.*

## 1. Introduzione

La stima di trasformazioni affidabili di *datum* è oggi uno dei problemi più sentiti da tutti i fruitori di cartografia. Il sempre più diffuso utilizzo del GPS come strumento di rilievo del territorio e di aggiornamento della cartografia ha imposto la necessità di definire accurate metodologie che permettano il passaggio dal sistema GPS a quelli utilizzati sul territorio nazionale.

L'IGM (Istituto Geografico Militare) ha da tempo fornito programmi e standard per effettuare questi passaggi in modo affidabile e preciso. Il programma Verto dell'IGM (Donatelli et al., 2002) è attualmente il software che permette di effettuare trasformazioni di *datum* dal sistema GPS a quelli tradizionalmente utilizzati sul territorio nazionale. Esistono molti altri software che implementano le trasformazioni di *datum* anche se con diversa affidabilità. Alcune di queste procedure sono poi definite all'interno di GIS di ampia diffusione, come per esempio, sono ArcGIS e Grass.

È quindi importante valutare quali siano le effettive precisioni di queste trasformazioni che sono direttamente applicabili all'interno dei GIS.

## 2. Definizione di sistema geodetico-cartografico

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

- il sistema geodetico di riferimento (*geodetic datum*),
- le misure e i calcoli di compensazione della rete geodetica che lo realizzano,
- la rappresentazione cartografica.

Storicamente ogni Stato ha adottato un proprio sistema di riferimento (*datum* locale) e almeno una rappresentazione cartogra-

fica. Attualmente i metodi di posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) che utilizzano il segnale di diverse costellazioni satellitari (GPS, GLONASS, e in futuro Galileo) hanno consentito la realizzazione di un unico sistema di riferimento a livello globale (*datum* globale o geocentrico). In questo momento è necessario disporre di metodologie efficienti e affidabili per gestire le trasformazioni tra i sistemi di riferimento nazionali e il sistema di riferimento globale. Nella pratica GPS si pone regolarmente l'esigenza di effettuare trasformazioni dal sistema di riferimento o *datum* globale al sistema di riferimento geodetico-cartografico nazionale quando si voglia ad esempio riportare un rilievo in cartografia. In questo lavoro verrà brevemente illustrato che cosa è un *datum*, quali sono i *datum* planimetrici e altimetrici, quali sono i *datum* di interesse per l'Italia, quando e perché è necessario effettuare una trasformazione di *datum*, e quali metodi possono essere impiegati per effettuare trasformazioni di *datum*.

### 2.1. Definizione di *datum* globale e locale, planimetrico e altimetrico

Il *datum* rappresenta il sistema di riferimento rispetto al quale sono riferite le posizioni dei punti. Esso consente quindi di caratterizzare la posizione dei punti che si trovano sulla superficie terrestre e di associare loro in modo univoco delle coordinate. Il *datum* è definito da sei parametri di posizionamento spaziale rispetto al corpo fisico della Terra e da due parametri di forma e dimensione dell'ellissoide ad esso associato (semiasse equatoriale  $a$  e schiacciamento  $f$ ).

L'equazione dell'ellissoide di rotazione è la

seguinte  $\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$ , lo schiacciamento

è dato da  $f = \frac{a-b}{a} = 1 - \frac{b}{a}$

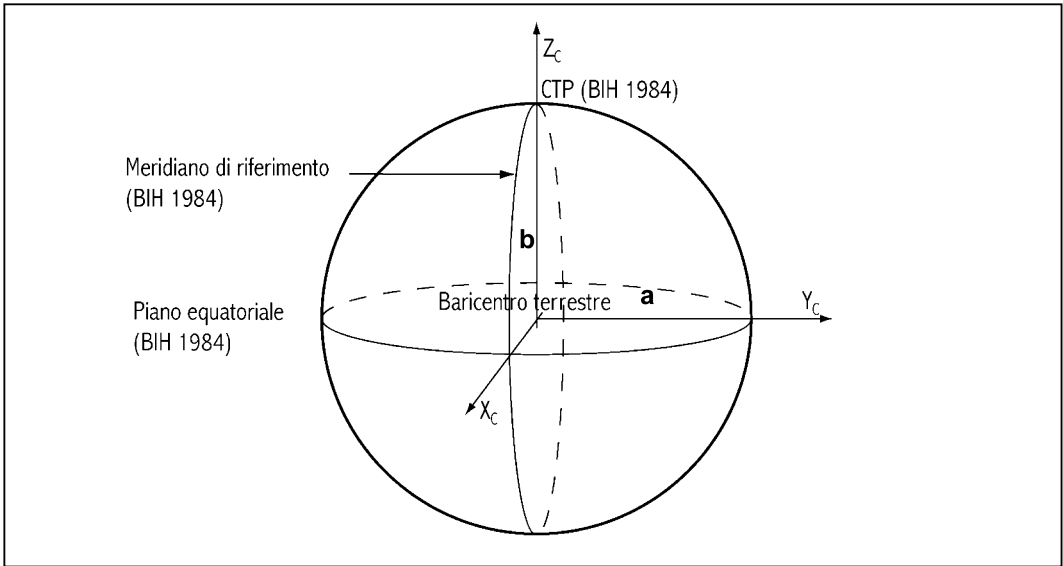


FIGURA 1 – Definizione di datum geocentrico.

Il sistema di riferimento adottato dal GPS è il sistema WGS84 (World Geodetic System 1984) esso è un sistema geocentrico convenzionale terrestre, solidale con la Terra (segue la Terra nei suoi moti di rotazione e rivoluzione) con parametri riferiti a elementi convenzionalmente fissati (vedi figura 1). L'origine è nel centro di massa terrestre, l'asse  $Z$  è diretto verso il polo nord convenzionale (CTP) definito dal BIH al tempo 1984.0. L'asse  $X$  è l'intersezione tra il meridiano origine (Greenwich 1984.0) e il piano equatoriale terrestre associato al CTP, asse  $Y$  tale da completare la terna destrorsa.

Questo sistema di riferimento è stato sviluppato dal Defence Mapping Agency (DMA ora NGA) inizialmente sulla base di misure Doppler del sistema satellitare TRANSIT (predecessore del GPS). Oltre al WGS84 esistono molte altre realizzazioni del sistema di riferimento globale. Ciascuna di queste realizzazioni consiste di un set di coordinate e velocità dei vertici delle reti mondiali. L'IERS (International Earth Rota-

tion Service) ha il compito di integrare le differenti metodologie che concorrono alla stima di queste realizzazioni del sistema di riferimento convenzionale terrestre e di aggiornarle nel tempo.

I *datum* tradizionali o *datum* locali si discostano notevolmente dal WGS84 non solo per i diversi parametri dell'ellissoide associato, ma soprattutto per la posizione del centro dell'ellissoide e per l'orientamento degli assi. Infatti storicamente le diverse nazioni hanno adottato ellissoidi di diversa dimensione e forma che sono stati orientati localmente (vedi figura 2).

Le coordinate geografiche di uno stesso punto nei due sistemi risultano sensibilmente diverse e le differenze tradotte in lunghezze possono essere anche di un centinaio di metri. Inoltre tradizionalmente si è avuto un dualismo tra componenti planimetriche  $(\varphi, \lambda)$  e componente altimetrica  $H$ . L'altimetria è stata riferita alla superficie del geoide che è una particolare superficie equipotenziale del campo della gravità. Ogni nazione

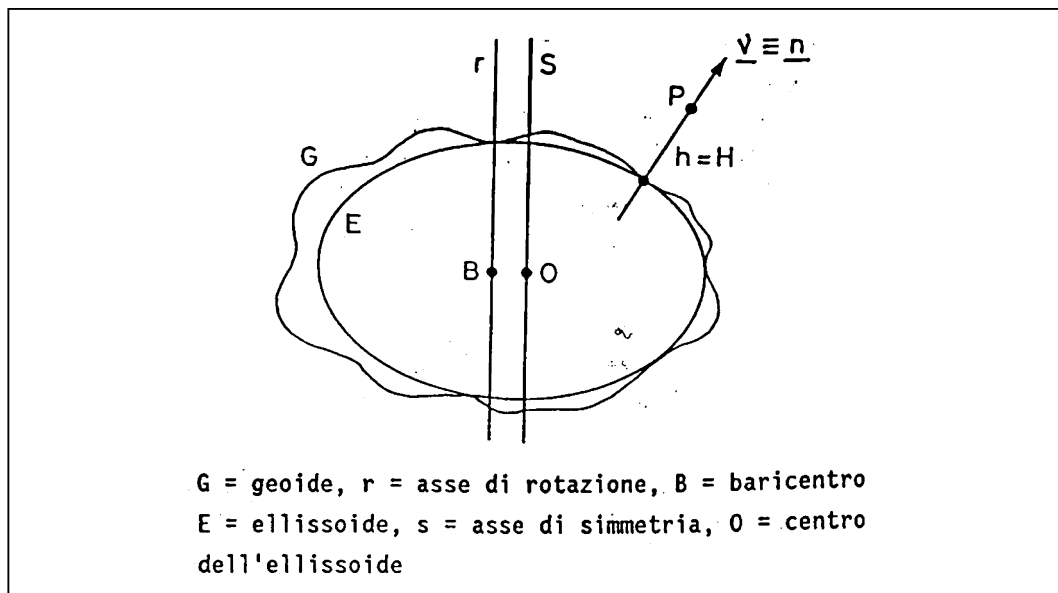


FIGURA 2 – Orientamento locale dell'ellissoide.

ha definito un punto di quota nota sul geoida cui riferire le quote ortometriche. Questo punto viene convenzionalmente stimato da osservazioni mareografiche nell'ipotesi di approssimare il livello medio del mare con il geoida (si trascura cioè quella che viene detta la Sea Surface Topography). Per l'Italia è stato scelto il livello del mare medio determinato mediante il mareografo di Genova. Anche i *datum* altimetrici devono essere materializzati (o realizzati) da reti di punti. Il sistema di riferimento altimetrico italiano è realizzato dalla rete di livellazione geometrica di alta precisione dell'IGM, la rete di livellazione italiana.

I moderni metodi di posizionamento satellitari forniscono coordinate nel sistema geocentrico globale, in forma direttamente tridimensionale. Le misure GPS forniscono coordinate 3D ( $\varphi, \lambda, b$ ) ma occorre tenere presente che  $b$  rappresenta l'altezza del punto rispetto all'ellissoide e non rispetto al geoida. Per un certo punto, la differenza tra l'altezza ellissoidica  $b$  e la quota (ortometri-

ca)  $H$  è detta ondulazione geoidica  $N$  (vedi figura 3).

La formula è approssimata, ma sufficiente per passare dall'altezza ellissoidica alla quota ortometrica. Una volta determinato  $b$  dal GPS, se siamo in grado di conoscere  $N$  (solitamente da misure gravimetriche), si può ricavare la quota  $H$ ; si parla in questi casi di livellazione GPS.

## 2.2. I sistemi geodetico-cartografici più utilizzati in Italia

I principali *datum* di interesse nazionale sono tre: due tradizionali definiti e coerenti su scala locale e uno moderno definito e coerente su scala planetaria. I due *datum* locali ROMA40 (scala nazionale) ed ED50 (scala continentale europea) mantengono la tradizionale separazione tra il riferimento planimetrico (ellissoide) e riferimento altimetrico (geoida). Nel *datum* globale sono invece fornite direttamente coordinate tridimensionali.

Stabilito il sistema di riferimento occorre poi definire il sistema di rappresentazione car-

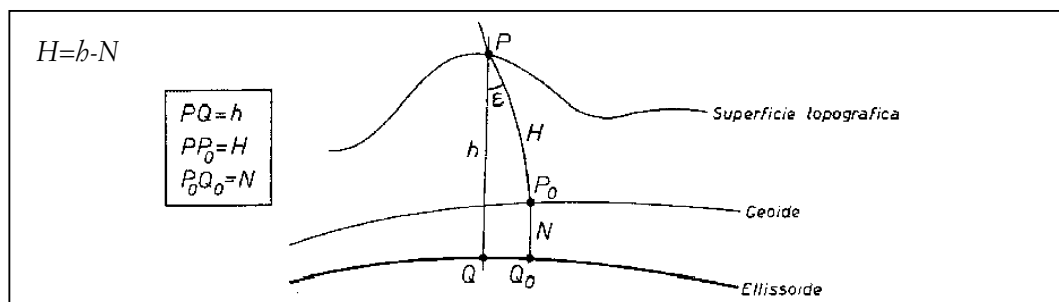


FIGURA 3 – Quota ortometrica, altezza ellissoidica, ondulazione del geoide.

tografica, ossia occorre indicare le relazioni matematiche che consentono di mettere in corrispondenza i punti sull'ellissoide con i punti di un sistema di coordinate cartesiane piane. In Italia si utilizzano sistemi basati sulla rappresentazione di Gauss: Gauss-Boaga, associato al datum ROMA40, e UTM associato ai datum ED50 e geocentrico. Le caratteristiche dei tre sistemi geodetico-cartografici italiani sono riportate nella tabella 1.

Data l'eterogeneità sia di tipologia che di precisione delle diverse reti che materializzano i tre sistemi geodetici di interesse nazionale, non esistono delle relazioni geometriche semplici che, con buona precisione, consentano il passaggio da un sistema all'altro. Formule generali che utilizzino un unico set di parametri (ad esempio quelli di una roto-traslazione nello spazio) valido su tutto il territorio nazionale non sono consigliabili

	Ellissoide	a	f	Orientamento	Realizzazione	Rappresentazione cartografica
ROMA40	Internazionale (Hayford)	6378388	1/297	Orientato a Roma Monte Mario	Rete di triangolazione fondamentale dell'IGM (calcolo di compensazione del 1908-1919) e reti di raffittimento	Conforme di Gauss
ED50	Internazionale (Hayford)	6378388	1/297	Orientamento Medio Europeo	Non ha propria realizzazione, si basa su una rete di inquadramento consistente in una selezione delle reti di 1° ordine europee	Universal Transverse Mercator
WGS84	WGS84	6378137	1/298.257 223563	Sistema cartesiano geocentrico	GLOBALE: rete di stazioni permanenti gestite dal DoD  EUROPEA: rete EUREF89 = ETRF89  ITALIANA: rete IGM95	Sempre più frequente l'adozione di UTM

TABELLA 1 – Principali caratteristiche dei datum utilizzati in Italia.

a causa delle forti distorsioni delle reti locali. Ad esempio (vedi figura 4) i vertici della rete di primo ordine, realizzazione del sistema ROMA40 (indicata per brevità con la sigla IGM40), presentano un evidente sistematismo rispetto alle coordinate degli stessi vertici ricalcolate nella rete IGM83 (Surace 1992). Per tale sistematismo a doppio vortice che vede convergere i punti verso Roma Monte Mario, è impossibile ricavare un semplice modello matematico.

### 3. Come si effettua un cambio di datum geodetico?

Innanzitutto è opportuno considerare due distinti aspetti: la trasformazione tra un sistema di riferimento o *datum* e un altro *datum*, e la trasformazione di coordinate che può essere effettuata all'interno dello stesso *datum*. I cambiamenti di sistema di riferimento non vanno confusi con le trasformazioni di coordinate.

È utile pensare ai sistemi di riferimento come a terne cartesiane nello spazio. Due *datum* diversi sono rappresentati da due terne diverse per posizione dell'origine, orientamento degli assi, unità di misura. Quest'ultima caratteristica è meno facile da intuire, ma spesso si riscontra che due diversi *datum* misurano le distanze con unità leggermente diverse. L'entità di tale variazione di scala è in genere di alcuni ppm (parti per milione). Un ppm corrisponde a una variazione di 1 mm al Km.

Le regole di trasformazione tra sistemi di riferimento sono solitamente derivate da formule di rototraslazione con fattore di scala. Una rototraslazione con cambiamento di scala è detta trasformazione di Helmert a 7 parametri. Tali parametri sono:

- tre traslazioni  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$
- tre rotazioni  $rx$ ,  $ry$ ,  $rz$
- e un fattore di scala  $ds$ .



FIGURA 4 – Spostamento dei vertici di primo ordine IGM83 – IGM40 (Surace 1992).

Nel caso sia possibile trascurare le rotazioni tra i due sistemi di riferimento e la variazione di scala si può effettuare una trasformazione a tre soli parametri: le tre traslazioni  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$ .

Poiché, come visto, la deformazione della rete geodetica nazionale del sistema ROMA40 è complessa, non è possibile effettuare una trasformazione di precisione nel caso in cui si utilizzino gli stessi parametri su tutto il territorio nazionale. Tali parametri infatti potrebbero essere adatti a descrivere la trasformazione in alcune regioni, ma potrebbero essere del tutto inappropriati su altre aree. L'IGM ha affrontato questo problema proponendo diverse strategie che verranno presentate nel seguito.

#### 3.1. La prima soluzione IGM (Monografie vertici IGM95)

Per quanto riguarda la trasformazione tra sistema di riferimento GPS e ROMA40,

in seguito alla realizzazione della rete GPS IGM95 (Surace 1997) si è utilizzata una soluzione basata sulle relazioni di Helmert (rototraslazione conforme a 7 parametri) nella formulazione di Molodenskii. Tale soluzione associa a ciascun punto IGM95 (1236 punti su tutto il territorio nazionale con una interdistanza di circa 15-20 Km) un diverso set di parametri con validità in un intorno di 10-15 chilometri del punto stesso.

È bene ricordare che la precisione della trasformazione planimetrica è comunque intorno a 15-20 cm. Tale metodologia tuttavia presentava alcuni problemi che ne hanno suggerito il superamento. Ad esempio, nel caso di rilievi in aree molto estese era difficile stabilire quali parametri usare; inoltre esistevano fasce di ambiguità al confine tra zone limitrofe (un punto equidistante da due IGM95 otteneva coordinate diverse a secon-

da del set di parametri usati). Infine, nel caso di IGM95 coincidenti con vertici trigonometrici, applicando alle coordinate ricavate con il GPS i parametri della trasformazione si potevano ottenere coordinate ROMA40 diverse da quelle contenute nella scheda.

La procedura qui descritta consentiva di realizzare solo l'inquadramento planimetrico del rilievo; l'inquadramento altimetrico andava effettuato separatamente, utilizzando l'ondulazione del geoida ricavata da dati gravimetrici.

### 3.2. La seconda soluzione IGM (Il programma Verto)

Il nuovo metodo per la trasformazione tra sistemi di riferimento realizzato dall'IGM (Donatelli et al. 2002) si basa su procedure che escludono ogni possibile ambiguità e generano quantità identiche nei diversi documenti e software utilizzati per le trasformazioni tra i diversi sistemi di riferimento. Gli stessi dati di partenza (doppie coordinate note nei due sistemi di riferimento di interesse) sono stati precedentemente vagliati per eliminare errori e incoerenze da cui sono affette le reti storiche. A partire da questa serie di differenze sono state stimate matrici delle differenze (grigliati)  $\Delta\phi$ ,  $\Delta\lambda$  che consentono di assegnare ad ogni punto valori univoci con una interpolazione bilineare. Tale metodo permette il passaggio tra i due sistemi ed il ritorno sui dati di partenza in modo privo di ambiguità con una precisione della trasformazione planimetrica di circa 7 cm. Questo metodo è pertanto consigliabile ogni volta che si voglia mantenere il più possibile la precisione del rilievo GPS. I singoli grigliati hanno un'interdistanza di 5' in latitudine e 7'30" in longitudine e costituiscono una maglia quasi quadrata che si estende anche fuori dai confini nazionali. Sul territorio nazionale questa coincide perfettamente con le tavolette della cartografia 1:25.000. La trasformazione tra i sistemi di riferimen-

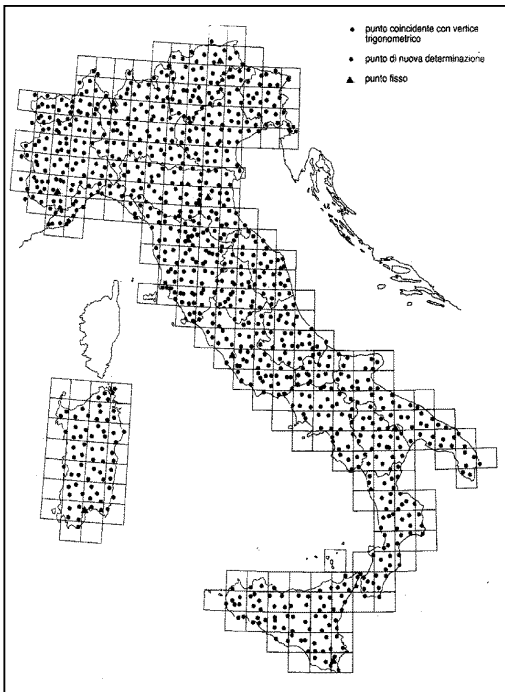


FIGURA 5 – Rete IGM95.

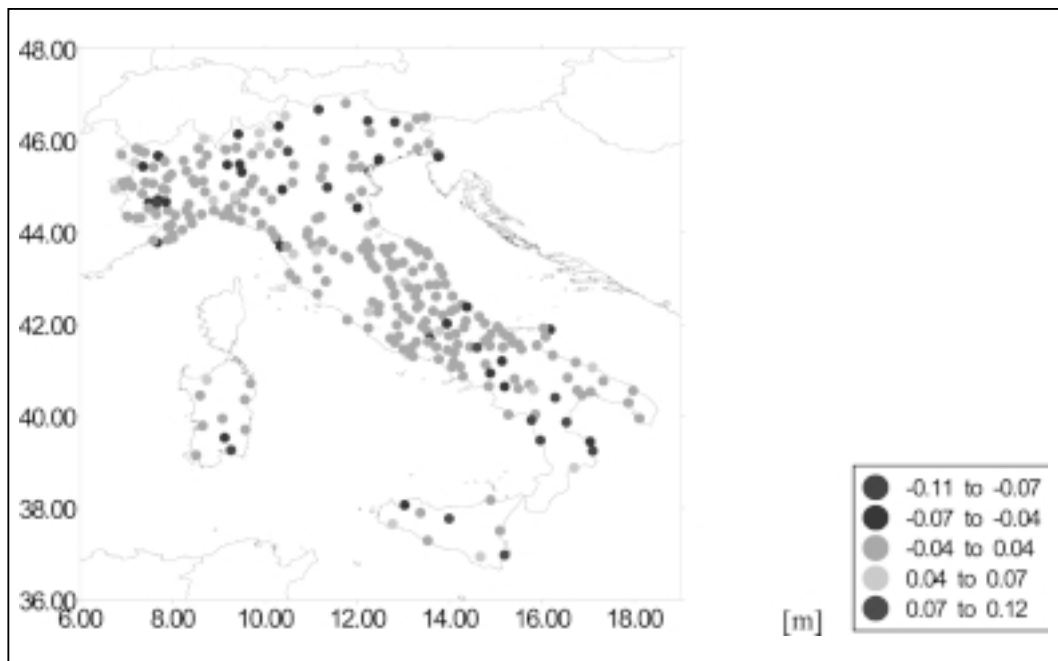


FIGURA 6 – Differenza tra i valori di ondulazione del geoido Italgeo05 e i valori ottenuti dalle campagne GPS-livellazione della rete GEOTRAV (Barzaghi et al., 2007).

to ROMA40, ED50 ed il sistema del GPS, in tutte le possibili combinazioni, è stata implementata nel software Verto dell'IGM.

Il software Verto consente di effettuare insieme alle trasformazioni delle coordinate planimetriche, anche la trasformazioni di altezze ellissoidiche in quote ortometriche mediante l'uso del geoido gravimetrico Italgeo05.

Il valore dell'ondulazione del geoido  $N$  stimato su tutto il territorio nazionale da dati gravimetrici (Barzaghi et al. 2007) ha una precisione di circa 4 cm su tutto il territorio nazionale (vedi figura 6) e viene distribuito dall'IGM.

Il software Verto comprende gli algoritmi, ma non i dati necessari ad eseguire le trasformazioni sia planimetriche che altimetriche; tali dati devono essere acquisiti separatamente come porzioni di grigliato.

### 3.3. Altre soluzioni per la trasformazione di datum

Oltre alle procedure descritte nei due paragrafi precedenti esistono altre possibilità di effettuare le trasformazioni di datum utilizzando software commerciali tra i quali ArcGIS, Cartlab, Geomedia Professional, Mapinfo Professional, Tn-ShArc Autocad-Map R3 e Grass, e software sperimentali come Traspunto. Alcuni di questi software sono in grado di effettuare sia trasformazione di coordinate che di sistema di riferimento, alcuni di essi possono lavorare non solo in ambito nazionale, ma anche in ambito internazionale. Le prestazioni di alcuni di questi software sono state analizzate dettagliatamente da Baiocchi et al. 2002. In tale lavoro è stato segnalato che tutti i software effettuano le trasformazioni all'interno dello stesso datum con una precisione centimetri-



ca mentre nelle trasformazioni tra *datum* vi sono sensibili differenze. Solo Traspunto produce errori di trasformazione inferiore al metro, tutti gli altri producono errori molto variabili e il più delle volte assorbibili solo negli errori delle carte a piccola scala (1:25.000-1:100.000). Inoltre alcuni di questi software non effettuano correttamente alcune trasformazioni, trasformano solo punti singoli o accettano solo valori e formati particolari.

#### 4. Esperienza De Agostini: la nuova base dati cartografica d'Italia in scala 1:100000

La recente pubblicazione da parte dell'Istituto Geografico De Agostini della nuova banca dati cartografica d'Italia in scala 1:100000 (DB100) ha reso disponibile un prodotto cartografico digitale tridimensionale, sotto forma di modello digitale del terreno, con caratteristiche omogenee per l'intero territorio nazionale. Il DB comprende ventiquattro strati informativi relativi alle componenti naturali ed antropiche.

Per la realizzazione della base di dati è stato necessario affrontare una serie di problematiche relative alla trasformazione tra Sistemi di Rappresentazione, risolte di volta in volta con l'ausilio di software opportuni.

Il sistema di rappresentazione attualmente adottato per il DB100 è UTM-ED50, scelta motivata dal fatto che quasi tutta la cartografia italiana di riferimento (IGMI, CTR) utilizzata per la derivazione di alcuni strati informativi e per le attività di collaudo (DB100 e DTM) è basata su Datum Roma 40 e ED50.

Il Sistema di Rappresentazione finale selezionato per il DB100 è UTM-ED50, tuttavia è possibile restituire il DB in un altro sistema, su richiesta da parte dell'utente adottando idonee trasformazioni.

Un esempio di richiesta possibile è ottenere la carta in coordinate UTM-WGS84:

(N,E) UTM-ED50 → (N,E) UTM-WGS84

Per ottenere il DB in questo sistema geodetico-cartografico, considerata la scala della banca dati, è stato scelto di utilizzare la trasformazione, valida per tutto il territorio nazionale, implementata nel software ArcView. Le modalità e le precisioni ottenibili per questo tipo di operazione sono illustrate nel prossimo paragrafo.

##### 4.1. Valutazione dell'accuratezza delle trasformazioni

È stata valutata la precisione di due tipi di trasformazioni tra Sistemi Rappresentazione implementate nel software commerciale ArcView® della ESRI:

- una trasformazione che sfrutta i parametri stimati dal DMA (Defense Mapping Agency) per 16 Paesi europei, che valgono per tutto il territorio nazionale, disponibili nella funzione "Project" dell'ArcToolbox. Si tratta di una trasformazione a tre parametri, quindi di una semplice traslazione ( $dx = -87m$   $dy = -98m$   $dz = -121m$ );
- una trasformazione affine stimata localmente sulla base di punti doppi noti, grazie alla funzione denominata "Spatial Adjustment".

Per valutare le accuratezze delle trasformazioni sono stati utilizzati 100 punti estratti dalle reti della Regione Lombardia e della Regione Calabria, noti sia nel Sistema di Rappresentazione UTM-ED50, sia nel sistema UTM-WGS84.

Per stimare i parametri della trasformazione affine locale sono stati utilizzati altri 30 punti doppi, presi dalle rispettive reti regionali, diversi dai 100 utilizzati per la verifica.

Nelle tabelle 2 e 3 sono riportate le statistiche degli scarti tra le coordinate trasformate con i due metodi e le coordinate note,

Trasf. Globale				Trasf. Locale			
Coord. Est		Coord. Nord		Coord. Est		Coord. Nord	
#	100	#	100	#	100	#	100
Media	1.90	Media	0.10	Media	-0.02	Media	0.03
Sqm	0.40	Sqm	0.46	Sqm	0.25	Sqm	0.34
Min	1.23	Min	-1.67	Min	-0.55	Min	-0.84
Max	2.96	Max	0.78	Max	0.63	Max	0.61

TABELLA 2 – *Statistiche degli scarti tra le coordinate trasformate e le coordinate note in UTM-WGS84 nel caso della Regione Lombardia.*

Trasf. Globale				Trasf. Locale			
Coord. Est		Coord. Nord		Coord. Est		Coord. Nord	
#	100	#	100	#	100	#	100
Media	11.46	Media	-3.29	Media	-0.13	Media	0.15
Sqm	2.13	Sqm	0.66	Sqm	0.36	Sqm	0.49
Min	7.88	Min	-4.87	Min	-0.77	Min	-0.99
Max	15.14	Max	-1.52	Max	0.99	Max	1.30

TABELLA 3 – *Statistiche degli scarti tra le coordinate trasformate e le coordinate note in UTM-WGS84 nel caso della Regione Calabria.*

Trasf. Globale – parametri continente				Trasf. Globale – parametri Sicilia			
Coord. Est		Coord. Nord		Coord. Est		Coord. Nord	
#	100	#	100	#	100	#	100
Media	11.46	Media	-3.29	Media	-1.03	Media	3.12
Sqm	2.13	Sqm	0.66	Sqm	2.14	Sqm	0.65
Min	7.88	Min	-4.87	Min	-4.53	Min	1.78
Max	15.14	Max	-1.52	Max	2.76	Max	4.77

TABELLA 4 – *Statistiche degli scarti tra le coordinate trasformate e le coordinate note in UTM-WGS84 nel caso della Regione Calabria, con i parametri relativi all'Italia peninsulare, a sinistra, e con i parametri relativi alla Sicilia, a destra.*

in UTM-WGS84, rispettivamente nel caso di Lombardia e Calabria.

Dalle statistiche si evidenzia il carattere locale delle deformazioni. Infatti la trasformazione con i parametri nazionali presenta precisioni molto diverse nelle due Regioni: nella Regione Lombardia la deviazione standard rimane al di sotto del mezzo metro e i valori medi si attestano vicino allo zero per la coordinata Nord e presentano un sistematismo di quasi 2 m nella coordinata Est. Nel-

la Regione Calabria il sistematismo si presenta molto più marcato, raggiungendo addirittura gli 11 m nella coordinata Est; anche la deviazione standard assume valori più grandi, raggiungendo i 2 m, sempre nella coordinata Est.

Per il territorio italiano sono disponibili nel software ArcView® altri due set di parametri, sempre stimati dal DMA, relativi a Sicilia e Sardegna. È possibile verificare i risultati della trasformazione per la Regione

Scala della carta	Tolleranza planimetrica
1:100000	40 m
1:50000	20 m
1:25000	10 m
1:10000	4 m
1:5000	2 m
1:2000	0.8 m
1:1000	0.40 m
1:500	0.20 m

TABELLA 5 – Tolleranza planimetrica della carta in funzione della scala.

Calabria anche con i parametri della Sicilia, vista la vicinanza tra queste due regioni. I risultati sono riportati nella Tabella 4.

Si può vedere come i risultati relativi alla trasformazione effettuata con i parametri della Sicilia siano migliori, in particolare

viene notevolmente ridotto il sistematismo nella coordinata Nord. Tuttavia rimane evidente la differenza dei risultati con quelli della Lombardia, a sottolineare il carattere prettamente locale dei parametri. Come detto, il software ArcView® permette di personalizzare i parametri delle trasformazioni; è però necessario stimarli localmente grazie a punti doppi. L'operazione di stima locale è stata effettuata implicitamente grazie all'utilizzo della funzione Spatial Adjustment che permette di calcolare una trasformazione affine locale. Come si vede dai risultati riportati in Tabella 2 e Tabella 3, questa stima presenta delle precisioni più omogenee, come si poteva prevedere, offrendo in ogni caso valori medi prossimi a zero e deviazioni standard sempre entro il mezzo metro.

In ogni caso è importante tenere conto della precisione della trasformazione considerata in relazione alla scala della carta alla quale si opera. Nella tabella 5 sono riportati

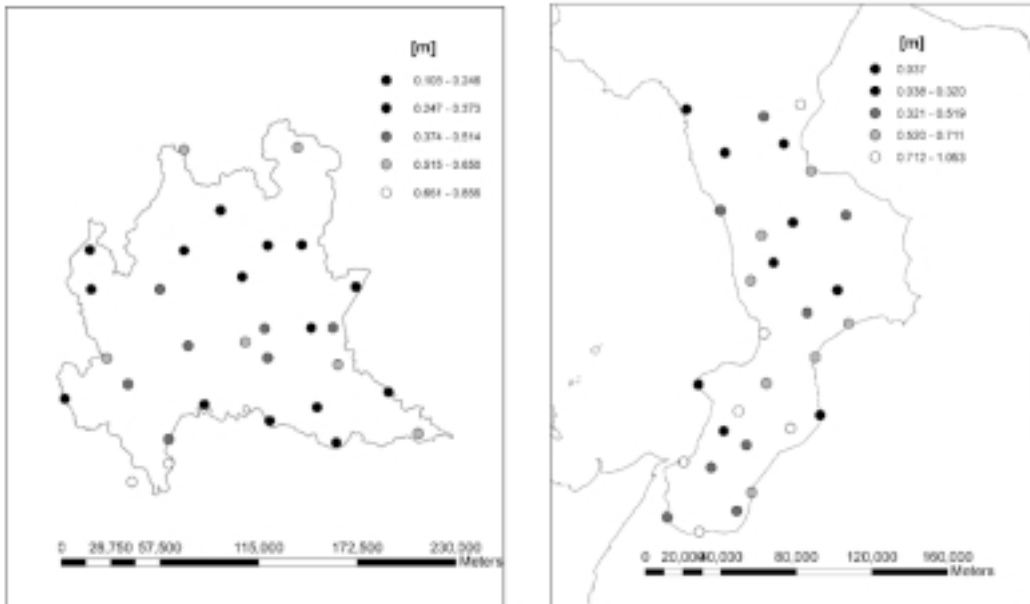


FIGURA 7 – Residui dopo la trasformazione affine locale sui punti utilizzati per la stima dei parametri.

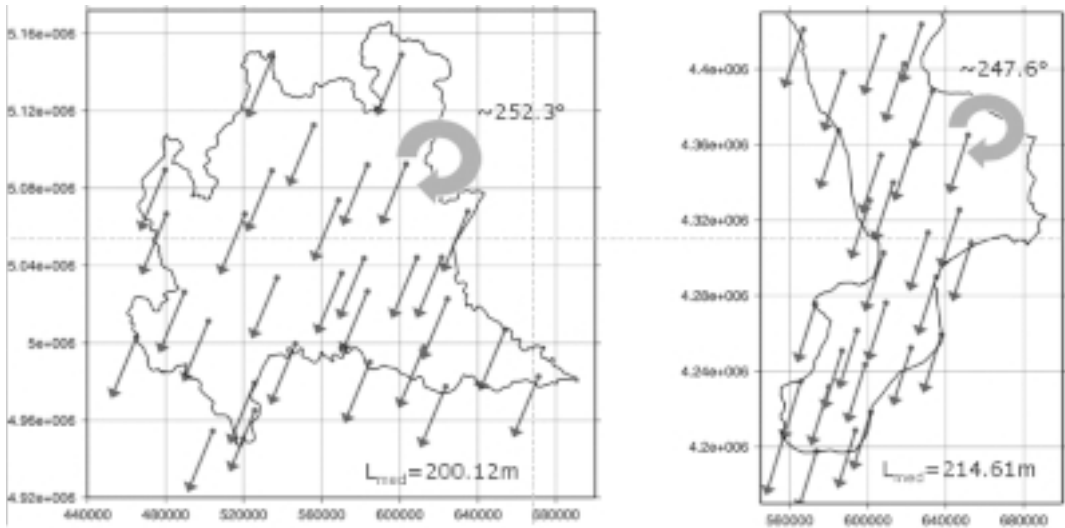


FIGURA 8 – Corrispondenza fra le coordinate dei punti doppi in (UTM – ED50 e UTM – WGS84). I vettori sono rappresentati con un fattore di amplificazione. La loro lunghezza media, di circa 200 m, non è visibile a questa scala.

i valori di tolleranza planimetrica in funzione della scala della carta di riferimento.

Nel caso di carte a piccola scala, ad esempio 1:100000, risultano comunque accettabili anche i risultati ottenuti per la Regione Calabria con i parametri del continente (tabella 3).

È possibile fare ulteriori considerazioni sull'andamento dei residui della trasformazione nel piano della carta. In figura 7 sono riportati con colori diversi i residui sui punti utilizzati per la stima dei parametri della trasformazione affine. È possibile osservare come i residui presentino, in alcuni casi, dei *cluster* con comportamento omogeneo, portando ad evidenziare ulteriormente il carattere locale della trasformazione.

Nella figura 8 sono rappresentati i vettori (opportunamente amplificati per essere distinguibili alla scala di visualizzazione) che mettono in corrispondenza le coordinate dei punti doppi in UTM-ED50 e UTM-WGS84. Dalla figura si deduce che la trasformazione

si può in entrambi i casi assimilare in prima approssimazione ad una traslazione e che i parametri di questa trasformazione variano da una Regione all'altra.

## 5. Conclusioni

La stima di trasformazioni tra sistemi di riferimento è uno dei punti cruciali nelle applicazioni cartografiche. Sebbene in questi ultimi anni si sia fatta una sostanziale chiarezza teorica su questa problematica, permangono alcune incertezze di carattere più propriamente pratico relative alle metodologie di applicazione di queste trasformazioni. Giova ribadire che, anche da questo punto di vista, il lavoro svolto dall'IGM ha permesso di arrivare a soluzioni pratiche affidabili e precise, sia per gli aspetti planimetrici che per quelli altimetrici. In questo lavoro si sono volute sperimentare due alternative per la trasformazione di *datum* presenti nel software ArcGIS. Con

ciò non si è voluto certo sottoporre a verifica la bontà del software stesso, ma solo sperimentare la diversa attendibilità delle alternative che venivano proposte. I risultati hanno mostrato, come era da attendersi, che le trasformazioni a carattere nazionale presentano difformità di precisione e possono essere applicate solo per piccole scale di rappresentazione. Al contrario, molto buona è parsa la metodologia basata su una stima locale della trasformazione che, nei due casi esaminati, ha mostrato di essere di precisione sufficiente per cartografie a scala medio-grande.

---

## Bibliografia

---

- ARSENIO G., COTICCHIA A., DONATELLI D., MASEROLI R., PIEROZZI M. (2002) *Il nuovo metodo dell'IGM per il passaggio fra sistemi di riferimento ed il software verto1*, Atti 6° Conferenza Nazionale ASITA, Perugia 2002, Vol. I, pp. 189-194.
- BAIOCCHI V., CRESPI M., DE LORENZO C. (2002) *Il problema della trasformazione dei datum e di coordinate per applicazioni cartografiche: soluzioni informatiche e loro prestazioni*, Documenti del Territorio, Anno XV, N° 49, pp. 11-18.
- BAIOCCHI V., BORTOLOTTI C., CRESPI M., DEL MORO M.A. (2004) *Accuratezza delle trasformazioni tra Datum e Sistemi Cartografici Nazionali implementate nei software di maggiore utilizzo nelle applicazioni GIS*, Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, Roma 2004, Vol. I, pp. 195-200, ISBN 88-900943-6-2.
- BAIOCCHI V., BROVELLI M.A., CRESPI M., NEGRETTI M., ROSSI L. (2004) *Trasformazione tra Datum e Sistemi Cartografici in ambito nazionale: implementazione di un software in ambienti windows e grass*, Atti 8° Conferenza Nazionale ASITA, Roma 2004, Vol. I, pp. 201-204, ISBN 88-900943-6-2,
- BARZAGHI R., BORGHI A., CARRION D., SONA G. (2007), *Refining the estimate of the Italian quasi-geoid*, in pubblicazione sul Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, Anno LXVI, N° 3, 2007.
- COSTANZO M., AJMAR A. (2002) *La nuova banca dati cartografica d'Italia in scala 1:100.000: un processo di produzione digitale*. L'Elmo di Minerva n.3-4 / 2002, pp.55-58.
- DONATELLI D., MASEROLI R., PIEROZZI M. (2002) *La trasformazione tra i sistemi di riferimento utilizzati in Italia*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, Anno LXI, N° 4, pp. 248-281.
- PIEROZZI M. (1989) *Alcune considerazioni sulla trasformazione dal sistema WGS84 ad un sistema geodetico locale*, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, Anno XLVIII, N° 1, 1989, pp. 46-55.
- SURACE L. (1992) *La nuova rete geodetica fondamentale e il sistema IGM83*, Anno LI, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, N° 3, 1992, pp. 252-290.
- SURACE L. (1997) *La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione*, Anno LVI, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, N° 3, 1997, pp. 358-377.
- SURACE L. (2002) *La georeferenziazione delle informazioni territoriali*, MondoGis, N° 29 e 30, 2002.