

84-40-50, l'evoluzione dei sistemi di riferimento in tre tappe

- In questo lavoro si descrive la procedura adottata per realizzare una trasformazione di coordinate geografiche tra il sistema geodetico nazionale Roma40 (nel seguito RM40), il Sistema ED50 (European Datum) ed il World Geodetic System 1984 finalizzata principalmente all'utilizzazione da parte di utenti operanti in mare.
- La diversa struttura dei dati disponibili ha imposto l'impiego di procedure diverse per quanto riguarda il passaggio da RM40 ad ED50 rispetto a quello da RM40 a WGS84, ma si è comunque mantenuta la filosofia procedurale e l'identità strutturale del "prodotto finale".
- Per quanto riguarda il primo dei due passaggi citati, la procedura si basa sulla stima ai minimi quadrati, in ambito locale, dei 7 parametri del modello di Helmert.
- Per consentire una copertura il più possibile omogenea delle coste, si sono scelti dei "punti doppi" selezionati opportunamente tra i vertici di 1° ordine della rete geodetica italiana; ad ognuno di essi sono stati assegnati i 7 parametri di trasformazione, stimati con il contributo del vertice stesso e con quello fornito dai punti doppi più vicini. La "rete" così determinata rende possibile la conversione di qualsiasi punto delle "acque metropolitane" utilizzando i 7 parametri del punto più vicino.
- Tale procedura presenta però delle discontinuità in corrispondenza della linea di confine tra "aree di competenza" di punti diversi. Per ovviare a ciò si sono stimati gli shifts, in latitudine e longitudine, tra i due sistemi di riferimento. Tali shifts si sono ottenuti impiegando i parametri dei punti più vicini, il cui contributo è stato pesato con l'inverso del quadrato della distanza. Essi sono stati determinati su di una matrice che copre il mare metropolitano, con una spaziatura di un primo d'arco, sia per la latitudine che per la longitudine, e permettono quindi la conversione di coordinate geografiche semplicemente sommando (o sottraendo) tali valori alle coordinate riferite al sistema di riferimento iniziale.
- Nel passaggio da RM40 a Wgs84 non è stato necessario il calcolo preventivo dei 7 parametri in quanto essi risultano già determinati dall'I.G.M. ed associati ad ognuno dei vertici della rete geodetica fondamentale IGM95. Il numero dei suddetti vertici e la loro fitta distribuzione sul territorio nazionale hanno permesso l'impiego di un numero notevolmente superiore (oltre 500) di "punti doppi" rispetto alla procedura illustrata in precedenza. In maniera del tutto analoga a quanto realizzato per la conversione da RM40 a ED50, si sono convertite le coordinate dei nodi di un grigliato distribuito sull'area di interesse con passo di 1 primo in entrambe i sistemi, ottenendo così attraverso una semplice sottrazione le due matrici che contengono gli shifts che occorre applicare per la trasformazione.

Premessa

I numeri nel titolo individuano gli anni di realizzazione dei tre più importanti sistemi di riferimento su cui si basa la quasi totalità dei rilievi nazionali:

- il sistema geodetico italiano classico (RM40),
- il datum europeo (ED 1950)
- sistema geodetico mondiale '84 (WGS84).

Al fine di introdurre in maniera adeguata il lavoro è utile una breve premessa sui sistemi di riferimento appena citati ed alcune delle trasformazioni attualmente disponibili ed implementate da diversi software in uso.

Per poter compiutamente descrivere un sistema di riferimento geodetico è, innanzitutto, indispensabile precisare quali siano:

- i parametri del datum;
- le misure ed i calcoli di compensazione della rete di inquadramento che lo realizza.

Per quanto concerne il primo dei due elementi esso è generalmente costituito da un ellissoide rotazionale ovvero bi-assiale definito dalla [1] dove **a** e **b** sono rispettivamente l'asse maggiore e l'asse minore; occorre inoltre che tale ellissoide venga opportunamente orientato e posizionato. Tralasciando i dettagli, i 6 para-

metri² che determinano l'orientamento ed il posizionamento risultano univocamente determinati una volta che si sia fissato il punto di emanazione, facendo in esso coincidere le coordinate astronomiche con le coordinate ellissoidiche³, l'azimut, determinato anch'esso attraverso misure astronomiche, di un altro punto⁴ con quello ellissoidico ed infine dall'aver imposto la coincidenza nel punto della quota geoidica con quella ellissoidica.

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1 \quad [1]$$

Per permettere l'inquadramento geometrico del territorio e provvedere un adeguato supporto alle esigenze di carattere scientifico e topografico è indispensabile che il datum geodetico venga materializzato sul terreno.

Tale materializzazione è realizzata attraverso l'istituzione di una rete compensata di punti estesa sull'area di interesse, nel nostro paese tale opera proviene dai lavori dell'Istituto Geografico Militare.

L'impianto di una rete passa attraverso tre distinte fasi: la materializzazione dei vertici, che ne permetta un valido utilizzo da parte dell'utenza; le misure, che in generale devono essere eseguite mantenendo un giusto compromesso tra precisione ed economicità; ed infine il calcolo e la compensazione, quest'ultima con lo scopo di geometrizzare il problema e distribuire in maniera omogenea gli inevitabili errori accidentali da cui sono affette le misure, nonché di stimare l'affidabilità dei risultati.

Alla luce di quanto sopra è ora possibile illustrare brevemente i tre sistemi geodetici oggetto del lavoro.

Nel Novembre del 1940, a Torino, su raccomandazione dell'Associazione Internazionale di Geodesia, la Commissione Geodetica Italiana decise il passaggio della rete geodetica italiana dall'ellissoide di Bessel a quello di Hayford o Internazionale. Allo scopo fu realizzata una nuova stazione astronomica sul vertice di Roma M. Mario e non fu effettuata nuovamente la compensazione dei rimanenti vertici ma semplicemente il loro trasporto nel nuovo sistema, mantenendo, di fatto, le inesattezze e la disomogeneità proprie della vecchia rete⁵. Il frutto di questo lavoro è il sistema geodetico nazionale RM40 che costituisce tuttora il riferimento ufficiale italiano. Si ritiene significativo riportare (figura 1) l'istogramma di frequenza degli errori medi, espressi in decimetri, dei vertici del 1° ordine per quanto riguarda la componente Nord-Sud.

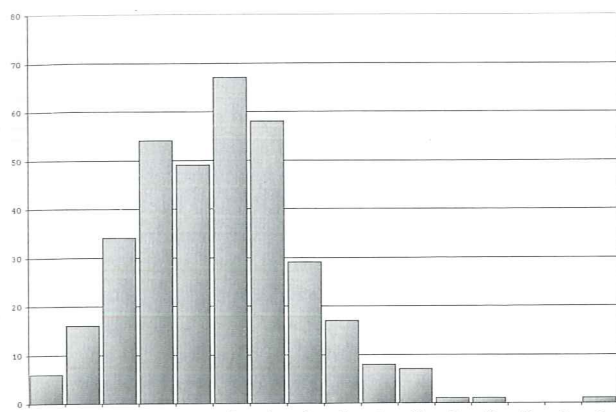


Figura 1- Errori medi σ_N in decimetri

La fine della Seconda Guerra Mondiale ha segnato il nascere di un clima teso all'uniformazione di metodi e sistemi che si è riflesso anche in ambiente cartografico⁶. Il parallelo affermarsi dei primi sistemi di calcolo automatico ha permesso la realizzazione dello European Datum 1950. Si stabilì come ellissoide di riferimento quello di Hayford con punto di emanazione nei pressi di Postdam, e fu quindi realizzata una compensazione dei vertici delle reti nazionali⁷. L'orientamento dell'ellissoide nasce, anch'esso, da una compensazione atta a minimizzare le deviazioni dalla verticale nei punti di coordinate astronomiche note presenti in ognuna delle reti nazionali, ed ha avuto come risultato quello di lasciare anche a Postdam una deviazione residua; è per questo motivo che si parla generalmente di "orientamento medio europeo". È utile sottolineare che la compensazione ED50, essendo nata allo scopo di omogeneizzare la cartografia a media e piccola scala, può essere utilizzata per taluni scopi pratici, soprattutto di carattere cartografico⁸, ma non per quelli geodetici, né operativi né tantomeno scientifici.

L'avvento della geodesia satellitare ha determinato, a partire dalla fine degli anni 50, la nascita dei sistemi di riferimento geocentrici che potessero essere, quindi, in accordo con il moto dei satelliti, anch'esso riferito al centro di massa della terra. L'ultimo di tali sistemi di riferimento cade sotto il nome di WGS84⁹ e costituisce un modello matematico della terra che comprende l'aspetto puramente geometrico, quello geodetico e quello gravitazionale. Esso è costituito da una terna ortogonale destrorsa OXYZ con origine nel centro della terra (3 parametri di posizione), asse Z diretto secondo l'asse di rotazione terrestre convenzionale (2 parametri di orientamento) ed asse X passante per il meridiano zero definito

dal Bureau International de l'Heure¹⁰ (il 3° parametro di orientamento). A tale terna cartesiana viene associato un ellissoide con centro nell'origine, ed asse minore coincidente con l'asse Z. Le realizzazioni comprendono la rete mondiale di stazioni permanenti gestite dal Dipartimento della Difesa USA, i satelliti GPS stessi, la rete europea EUREF89 e, in Italia, la rete IGM95.

La coesistenza di due sistemi di riferimento geodetici (RM40 e IGM95) fondamentali e di uno "derivato" (ED50) ha fatto sì che si debba ricorrere frequentemente all'impiego di punti le cui posizioni sono note mediante coordinate riferite a sistemi differenti. Ne è conseguita un'opera di studio che fornisce delle relazioni tra i sistemi e che permettesse un'agevole "passaggio" da un sistema ad un altro.

Varie sono state le realizzazioni in questo senso, di seguito se ne illustrano alcune tra le più significative.

In "Sulla trasformazione di coordinate geografiche riferite a sistemi ellissoidici diversi" di M. Mainardi edita dall'Istituto Idrografico della Marina (Genova 1979), l'autore propone un procedimento teorico di applicabilità generale che ricalca essenzialmente quanto avviene nella procedura di orientamento di un ellissoide; realizza in sostanza una roto-traslazione spaziale. Alla definizione dei parametri di roto-traslazione si giunge, di volta in volta, attraverso l'impiego di un numero di punti doppi noti sufficiente alla soluzione ai minimi quadrati di un sistema di equazioni lineari. La metodologia in questione riflette nelle sue linee essenziali quella proposta all'inizio del secolo scorso da Helmert, semplificata dall'aver tralasciato il fattore di scala.

Il prof. A. Vassallo, in "Trasformazione, in rete, di punti RM40 in punti WGS '84 per una cartografia internazionale dell'ellissoide baricentrico", propone un'ulteriore semplificazione nell'approccio trascurando anche la rotazione e trasladando nelle tre coordinate; si assume, cioè, il parallelismo tra i tre assi e tra le superfici

dei due ellissoidi, quasi sempre valido in ambito strettamente locale o per trasformazioni di bassa precisione.

In entrambi i casi appena illustrati si tratta di procedure "ad hoc" che richiedono il calcolo dei parametri di volta in volta per aree separate e definite solo in base all'estensione del rilievo e che presentano il rischio che rilievi effettuati in tempi diversi e/o su estensioni diverse della medesima area abbiano coordinate disuniformi in maniera incontrollata.

Un approccio al problema sostanzialmente diverso e mirato esclusivamente alla conversione tra il sistema geodetico RM40 e quello cartografico ED 50, è quello adottato da A. Stoppini e L. Surace. Gli autori forniscono tre set di tre parametri¹¹ che, applicati a comuni formule di roto-traslazione nel piano, permettono di realizzare la trasformazione diretta e inversa tra sistema UTM (ED50) e sistema nazionale (Gauss-Boaga). Come, peraltro, chiaramente indicato nel titolo si tratta, in questo caso, di formule approssimate che ben risolvono ogni esigenza di carattere cartografico alle medie e piccole scale ma che, per la loro natura analitica, perdono quasi totalmente ogni caratterizzazione geometrica del problema.

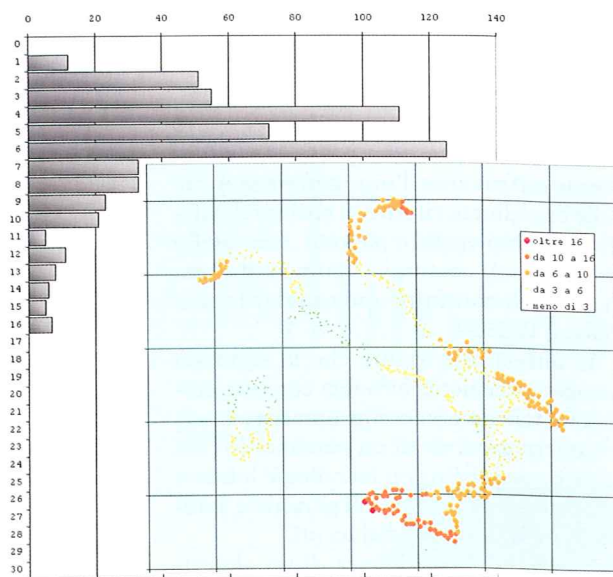


Figura 2 - Residui e loro distribuzione in metri

Per concludere la panoramica delle trasformazioni è opportuno descrivere quella indicata nell'appendice B.5 della "DoD World Geodetic System 1984. Its definition and Relationships with Local Geodetic Systems", edito dalla NIMA: nel documento sono riportati i parametri da inserire nelle formule di Molodensky (semplificate a tre parametri), per quanto concerne la conversione dal sistema RM40 al

WGS84, corredate dei relativi errori medi. Questi parametri sono gli stessi che vengono utilizzati dall'ambiente di sviluppo Pangea in uso presso l'Istituto Idrografico della Marina. Allo scopo di verificare il campo di applicabilità della suddetta conversione si riporta, in figura 2, l'istogramma di frequenza degli scostamenti tra i punti convertiti attraverso il suddetto ambiente di sviluppo e quelli riportati sulle monografie dei vertici IGM95.

Il consolidarsi dell'impiego della cartografia elettronica, in sostituzione della tradizionale su supporto cartaceo, diminuisce drasticamente il significato di quello che viene comunemente indicato come "errore di graficismo" e che, per anni, ha giustificato l'impiego di formule che garantivano precisioni sufficienti a far sì che l'errore da esse indotto fosse "mascherato" dall'inevitabile approssimazione derivante dall'uso del citato supporto cartaceo.

Parallelamente, oramai, la quasi totalità dell'opera di rilevamento nasce sotto forma digitale e soltanto le ultime fasi della produzione di una carta vedono il trasferimento dei dati su supporti tradizionali quali pellicole o lastre. L'indispensabile integrazione tra le nuove metodologie di archiviazione elettronica dei rilievi e quanto realizzato in passato, impone la "digitalizzazione" dell'importante quantità di dati presenti su supporto cartaceo; tale processo passa inevitabilmente attraverso l'omogeneizzazione delle coordinate riferite ai sistemi di riferimento impiegati in passato con quello che, oramai, costituisce l'unico sistema in grado di costituire uno standard mondiale, il WGS84.

E' altresì importante che la suddetta omogeneizzazione avvenga con una precisione tale da non compromettere la accuratezza generale di un patrimonio che, sebbene acquisito con tecnologie lontane dalle attuali, ha per secoli garantito standards qualitativi soddisfacenti.

Nasce quindi l'esigenza di un algoritmo che possieda sufficienti doti di precisione e che sia il più possibile semplice in termini computazionali; proprio per permetterne l'applicazione all'elevato numero di "entità geografiche" tipiche di un rilievo (fino a molti milioni) attraverso l'impiego di risorse macchina e di tempo ragionevoli.

Per poter rispondere ai suddetti requisiti occorre un approccio sostanzialmente differente da quanto sostenuto e realizzato in passato, ma che ne mante-

nesse i principi base. Si è quindi stabilito che il prodotto finale non dovesse essere una procedura o delle formule che consentissero le trasformazioni oggetto del lavoro ma, diversamente, una "struttura dati" contenente le informazioni necessarie e sufficienti a realizzare le trasformazioni e che fosse essa stessa georeferenziata.

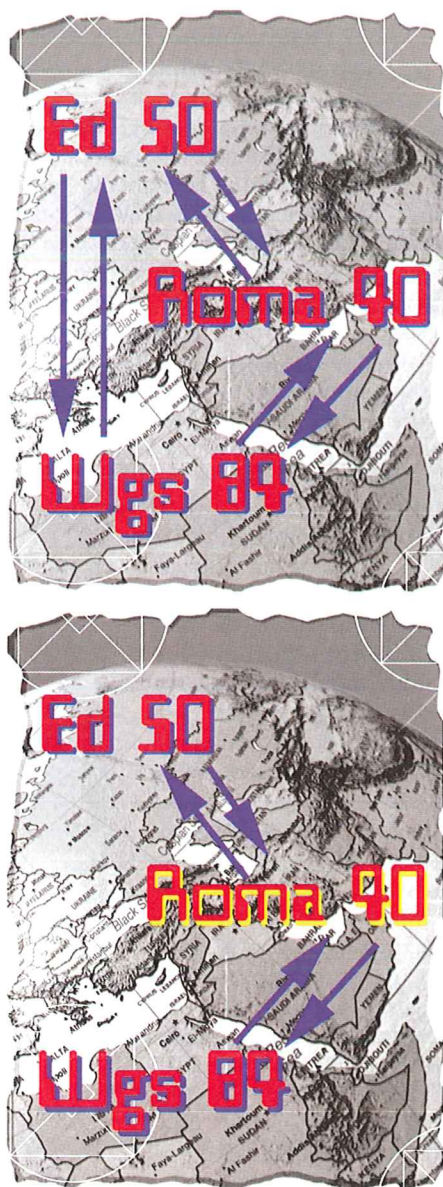


Figura 3 - 4

La procedura adottata

Tre sistemi di riferimento impongono, evidentemente, 6 possibili passaggi (figura 3) e la "base" dati cui occorre far riferimento è necessariamente costituita dalle coordinate dei vertici che realizzano la materializzazione delle reti. Ripercorrendo la storia che ha visto nascere i singoli sistemi, il RM40 è quello dei tre che, in maniera naturale, può costituire il link tra gli altri. Si è quindi deciso di ridurre a

quattro i passaggi oggetto di studio (figura 4). La scelta è stata altresì determinata dal fatto che non sempre i "punti doppi" relativi ai due sistemi classici possiedono un corrispondente nella rete IGM95 ed inoltre l'"allontanamento" conseguente tra il WGS84 e l'ED50 riflette perfettamente la sostanziale differenza che esiste tra i due sistemi sia per quanto riguarda la loro precisione sia per gli scopi che si prefiggono.

40-50

A causa della loro stessa definizione non è possibile riconoscere tra i due sistemi di riferimento alcuna relazione geometrica.

Il recente affermarsi delle formule di Molodensky ha suggerito la loro implementazione anche per le trasformazioni oggetto di questo lavoro.

$$\begin{pmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{pmatrix} + (1+K) \cdot \begin{pmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{pmatrix} \quad [2]$$

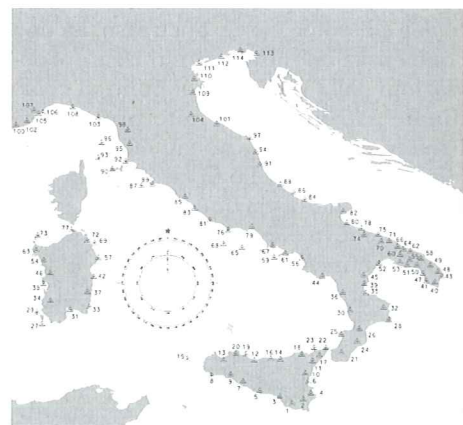


Figura 5

L'adozione del modello a 7 parametri (3 traslazioni, 3 rotazioni ed un fattore di scala), che è alla base della trasformazione di Helmert [2], presuppone una buona congruenza geometrica globale dei due sistemi, cosa che non si verifica nella realtà; questo è essenzialmente dovuto alle distorsioni indotte dalle differenti procedure di compensazione che hanno subito i due sistemi durante la fase di realizzazione. Per poter lecitamente ritenere lineare la relazione che intercorre tra i due sistemi, è necessario limitare l'area di applicazione del modello.

Il desiderio di mirare il lavoro alla conversione di coordinate in mare, o comunque in zone costiere, ha permesso l'im-

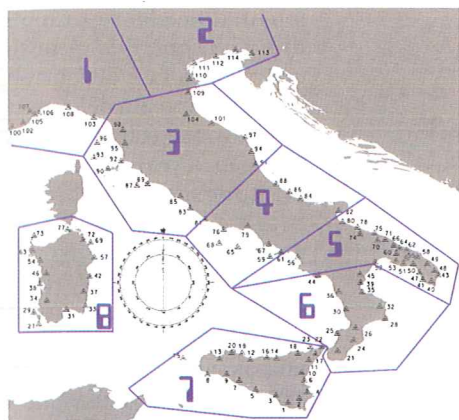


Figura 6

piego di un numero limitato di punti della rete geodetica nazionale. La scelta è stata fatta sui punti del 1° ordine affinché risultassero distribuiti il più possibile in maniera omogenea lungo le coste. Con questi presupposti si è deciso di impiegare 115, come illustrato in figura 5.

Il primo approccio alla soluzione del problema è stato quello di adottare il modello a 7 parametri limitatamente a zone geografiche ristrette ricalcando le aree per le quali era stata realizzata la compensazione a blocchi della rete geodetica RM40. (figura 6)

In particolare si è cercato di suddividere l'Italia ed il mare metropolitano in aree di media estensione in modo da limitare il numero dei set di parametri da determinare. I risultati ottenuti hanno messo in evidenza molte discontinuità nelle zone di confine tra le varie aree dando luogo ad ambiguità spesso inaccettabili. Il passo successivo è stato, quindi, quello di ridurre al minimo l'estensione delle aree geografiche e parallelamente estendere al massimo la zona di intersezione delle stesse. Si è così realizzata la determinazione dei sette parametri¹² di conversione locali utilizzando il punto stesso ed i 4 punti ad esso più vicini, pesandone il contributo con l'inverso del quadrato della distanza (figura 7).

L'algoritmo impiegato per l'associazione biunivoca di ogni set di parametri a ciascun punto ha visto il susseguirsi di varie distinte fasi: si è innanzitutto provveduto alla conversione delle coordinate, in entrambi i sistemi, da geografiche a cartesiane ellissocentriche [3].

$$\begin{aligned} X &= (N+H) \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda \\ Y &= (N+H) \cdot \cos \phi \cdot \sin \lambda \\ Z &= [(1-e^2) \cdot N+H] \cdot \sin \phi \\ N &= a \cdot (1-e^2 \cdot \sin^2 \phi)^{-\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad [3]$$

Sono state poi determinate le mutue distanze tra i 115 punti e successiva-

mente individuati i gruppi di 5 punti ed i pesi da associare ad essi¹³. Ciascuno dei gruppi ha fornito le 15 equazioni impiegate per la determinazione ai minimi quadrati delle 7 incognite (parametri) delle formule di Molodensky. Al fine di verificare gli ordini di grandezza dei parametri così ottenuti, si riportano in figura 8 alcuni istogrammi dei parametri di trasformazione come rotazioni totali Ts [4] ed Rs [5] sui quali si riportano anche i loro valori medi e la deviazione standard.

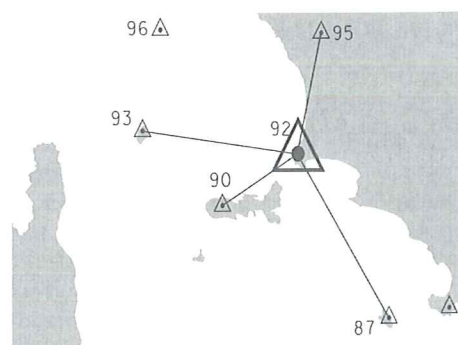


Figura 7

A questo punto, allo scopo di testare la precisione (interna) dell'algoritmo si sono invertiti i termini del problema. Si è applicato il modello di Molodensky alle coordinate geografiche in RM40 di ognuno dei 115 punti con i parametri di trasformazione ad esso associati e si è poi confrontato il risultato con le coordinate in ED50: i residui riscontrati sono risultati ovunque ampiamente al di sotto dei 50 cm.

$$T_s = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2} \quad [4]$$

$$R_s = \sqrt{R_x^2 + R_y^2 + R_z^2} \quad [5]$$

L'impiego, a livello operativo, dei parametri così determinati presentava però alcuni inconvenienti: la necessità di convertire dapprima le coordinate geografiche in coordinate cartesiane ellissocentriche, la determinazione del punto più vicino per la scelta di quali parametri impiegare, l'implementazione delle formule di Molodensky e la successiva conversione del risultato da coordinate cartesiane ellissocentriche nuovamente a geografiche, ne limitano notevolmente l'impiego, richiedendo l'ausilio di software appositi o comunque di potenti calcolatrici o di CAD matematici. Questo non rispettava il requisito di semplicità computazionali citato in prefazione. Seguendo tale procedura, inoltre, non veniva scongiurato il rischio che si riscontrassero disconti-

nuità al confine tra aree a cui competono set di parametri differenti. Considerando infatti 2 distinte entità geografiche situate su fronti opposti rispetto alla linea di equidistanza tra due "vertici principali", nel subire la conversione attraverso differenti parametrizzazioni delle formule di Molodensky, potrebbero non mantenere, e di fatto non mantengono invariata la reciproca distanza (figura 9). Allo scopo di rendere più agevole il calcolo necessario alla conversione e parallelamente tentare di annullare le suddette discontinuità, sono state determinate le correzioni additive, in termini di secondi d'arco, che occorre apportare alle coordinate geografiche riferite a RM40 affinché si riferiscano allo European Datum. Si è, in sostanza, convertito ogni singolo nodo di un grigliato che coprisse l'area di interesse con una "frequenza" di un primo in latitudine ed in longitudine.

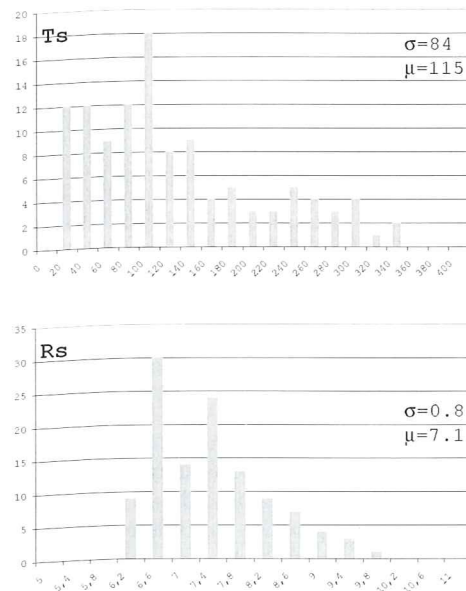


Figura 8

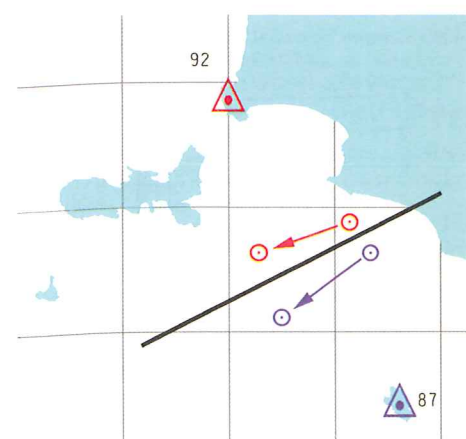


Figura 9

Per ognuno dei nodi della matrice sono stati individuati i 5 punti doppi più vicini, e, utilizzando i set di parametri di questi ultimi pesati con il quadrato della distanza dal nodo, ne sono state determinate le coordinate ED50 (figura 10).

Infine, attraverso una semplice sottrazione tra le due matrici così ottenute, è stato possibile ottenere la matrice dei "delta-latitudine" e dei "delta-longitudine" (figura 11).

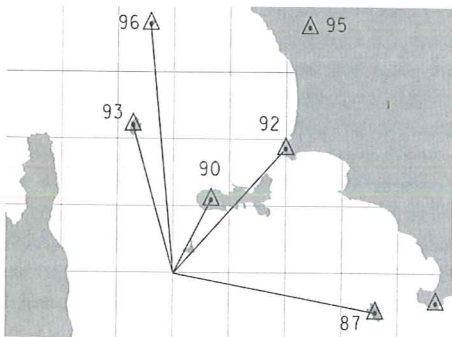


Figura 10

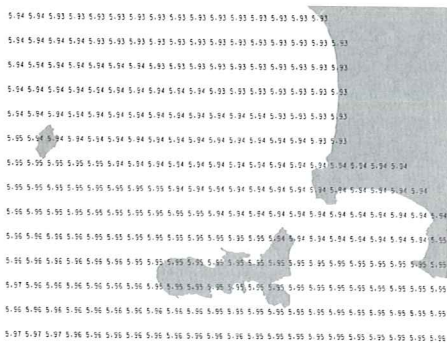


Figura 11

L'ultima fase del lavoro è stata dedicata al controllo della consistenza degli shift determinati. Per ognuno dei 115 punti del 1° ordine originali è stato determinato il nodo della matrice più vicino. Le coordinate sono state quindi convertite sommando gli shift di competenza e confrontate con le rispettive ED50 provenienti dalle monografie ufficiali: le differenze ri-

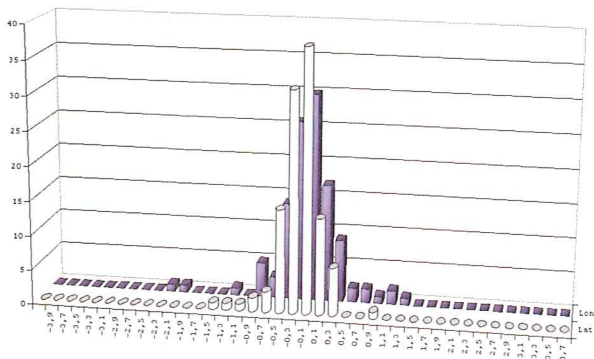


Figura 12 - residui in latitudine e longitudine espressi in centesimali di secondo d'arco

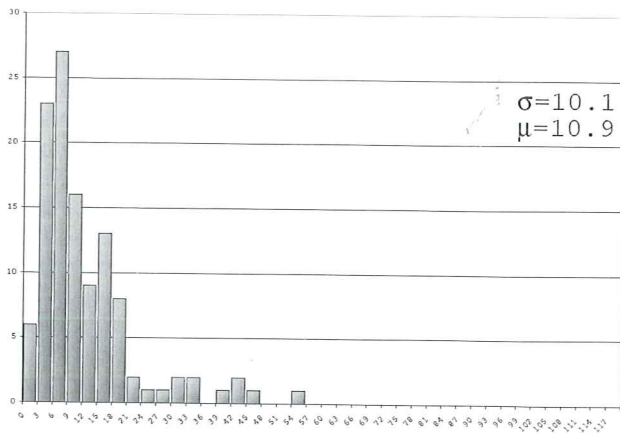


Figura 13 - residui espressi in centimetri

scontrate sono ovunque inferiori ai 50 cm, come evidenziato dagli istogrammi di frequenza riportati nelle figure 12 e 13.

40-84

Le monografie dei punti della rete IGM95 riportano i 7 parametri di rototraslazione conforme a che competono al vertice. Dei 1230 vertici costituenti la rete sono stati selezionati quelli posti lungo la fascia costiera (figura 14). Ripercorrendo la procedura adottata per la trasformazione tra le due reti classiche, su ognuno dei nodi di una matrice, anch'essa perfettamente analoga a quella impiegata nella trasformazione RM40-ED50, sono state calcolate le coordinate in WGS84 a partire da quelle riferite al RM40. Semplici sottrazioni hanno poi permesso di ottenere le matrici georeferenziate dei delta-latitudine e dei delta-

longitudine che separano i due sistemi. Per quanto concerne la fase di controllo, la numerosità dei vertici in questione (oltre 500) ha imposto la realizzazione di un apposito software. Il programma è stato realizzato nell'ambiente di sviluppo Delphi ed effettua tutte le semplici, ma numerose operazioni, necessarie alla determinazione dei residui ed alla loro analisi statistica. La suddetta analisi ha evidenziato, come è possibile riscontrare dagli

istogrammi di frequenza nelle figure 15 e 16, elevati doti di accuratezza.

Questi risultati riflettono le precisioni intrinseche delle due reti in questione e, d'altro canto, sono frutto della maggiore capillarità sul territorio dei set di parametri e della loro maggior accuratezza.

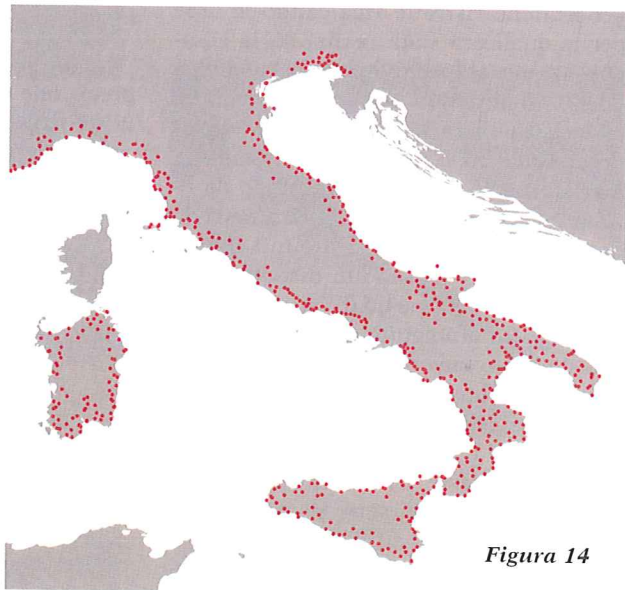


Figura 14

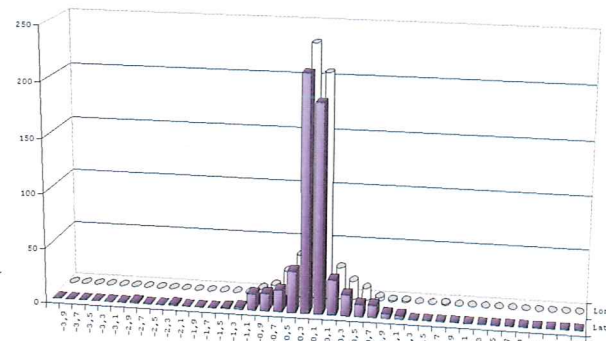


Figura 15 - residui in latitudine e longitudine espressi in centesimali di secondo d'arco

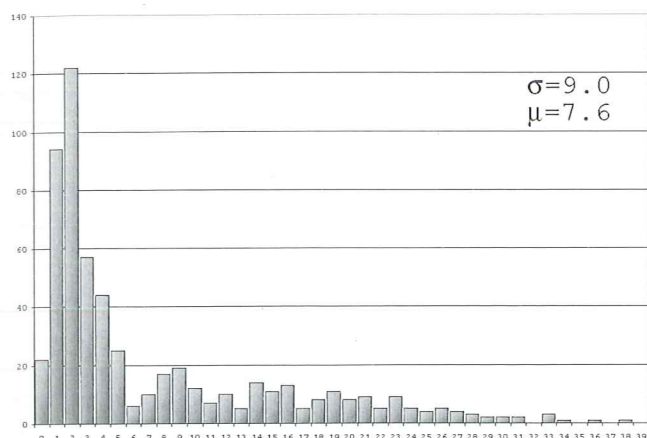


Figura 16 - residui espressi in centimetri

Sviluppi futuri

L'attuale versione disponibile è la 1, al momento sono in corso di attuazione delle modifiche che presto porteranno alla realizzazione della versione 2.

Lo studio dei gradienti presenti su ognuna delle matrici dovrebbe portare ad una loro selezione in modo da renderle meno impegnative in termini di memoria.

Un ulteriore miglioramento, questa volta in termini di accuratezza nel calcolo, verrà sicuramente apportato dall'introduzione del modello di ondulazione geoidica Italgeo95, che di fatto annullerebbe i seppur minimi errori derivanti dall'impiego di quote geoidiche in luogo delle ellissoidiche.

L'attuale versione delle matrici presenta dei gradienti leggermente più marcati nelle zone di mare prossime alle linee di equidistanza tra Sardegna ed Italia continentale e tra Sardegna e Sicilia. Si ritiene che questo sia dovuto essenzialmente al fatto che, allontanandosi da una delle due coste, si perde rapidamente il contributo dei 5 punti doppi situati in prossimità di essa a favore di quelli situati sulla costa opposta. Si ritiene peraltro che tale fenomeno possa essere adeguatamente affievolito negli effetti realizzando un'algoritmo che in luogo dei costanti, in numero, 5 punti doppi, calcoli i nodi della matrice con il contributo di un numero crescente con la distanza di vertici a terra. Operando in questo senso si viene a realizzare un'azione di smoothing coerente con l'intero processo, cosa che non accadrebbe se venissero implementate altre metodologie od una qualsiasi forma di filtro.

Un ultimo aspetto che potrebbe interessare la versione 2 è l'aumento dei vertici doppi RM40-ED50 attraverso l'impiego delle coordinate scaturite dalla compensazione originale effettuata dall'al-

ra A.M.S. (Army Map Service), oggi N.I.M.A., non appena queste risultassero disponibili.

E' in corso di realizzazione la procedura che, nei medesimi termini appena illustrati, dovrebbe portare alla definizione di una coppia di matrici atte alla conversione di coordinate dalla Rete geodetica italiana riferita all'ellissoide di Bessel alla rete RM40.

ALESSANDRO NOBILI
Nave Ammiraglio Magnaghi

Alessandro Nobili, Tenente di Vascello, è nato a Roma il 3 Gennaio 1972, ha frequentato il Corso Normale dell'Accademia Navale di Livorno dal 1990 al 1994. Promosso S.T.V. ha conseguito presso il centro Addestramento Aeronavale della Marina Militare la qualificazione di "rotta e comunicazioni". Nel biennio 1999-2000 si è specializzato in Idrografia conseguendo il brevetto internazionale in idrografia categoria "A". Ha ricoperto vari incarichi nel settore idroceanografico a bordo delle Unità idrografiche della Marina, tra i quali l'incarico di "Comandante" della spedizione che nel 2001 ha realizzato, in collaborazione con il Naval Oceanographic Office statunitense, la nuova carta nautica del porto di Brindisi. E' attualmente imbarcato sulla nave idrografica Ammiraglio Magnaghi con incarichi di carattere idro-topografico.

Bibliografia

MAINARDI M. (1979), "Sulla trasformazione di coordinate geografiche riferite a sistemi ellissoicidi diversi", Istituto Idrografico della Marina I.I.3118.

MASEROLI R. (1995), Il sistema di riferimento WGS84, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LIV, N. 2, PP.211-218

PIEROZZI M. (1989), "Alcune considerazioni sulla trasformazione dal Sistema WGS84 ad un sistema geodetico locale", *Bol-*

lettino di Geodesia e Scienze Affini, vol. XLVIII, n.1, pp.45-55.

STOPPINI A. SURACE L. (1991), "Formule approssimate per la trasformazione diretta e indiretta tra sistema UTM (ED50) e sistema nazionale (Gauss-Boaga)", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n.3, p.187.

SURACE L. (1995), "Il progetto IGM95", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LII, n.3, pp.219-230.

VASSALLO A. (1996), "Trasformazione, in rete, di punti ROMA'40 in punti WGS '84 per una cartografia internazionale dell'ellissoide baricentrico", *Bollettino della associazione italiana di cartografia*, n°96-97, Gennaio-Agosto 1996, pp.93-95.

SURACE L. (1997), "La nuova rete geodetica nazionale IGM95: risultati e prospettive di utilizzazione", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LVI, n.3, pp.357-378.

SURACE L. (1998), "La georeferenziazione delle informazioni territoriali", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LVII, n.2, pp.181-234.

PIEROZZI M., SURACE L. (2000), "I parametri di trasformazione tra il sistema WGS84 ed il sistema geodetico nazionale Roma40", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, vol. LIX, n.1, pp.37-54.

Note

- 1 Termine impiegato in ambito marino per indicare le acque sottocosta e/o in aree urbanizzate.
- 2 L'orientamento ed il posizionamento di un qualsiasi corpo in uno spazio tridimensionale richiede, ovviamente, che si stabiliscano le tre coordinate di uno qualsiasi dei punti che lo compongono, la definizione di una terna di assi cartesiani solidali con esso e dei rispettivi 3 valori di orientamento rispetto al sistema di riferimento.
- 3 La coincidenza delle coordinate ellissoidiche con le astronomiche realizza anche la coincidenza tra verticale e normale nel punto.
- 4 Condizione, questa, che corrisponde all'orientare l'asse di rotazione dell'ellissoide secondo il Nord astronomico.
- 5 La vecchia rete, a causa delle limitate potenzialità di calcolo dell'epoca (1908-1919) fu compensata suddividendola in 8 sottoreti, ciascuna con una propria base misurata.
- 6 In realtà, già durante la II Guerra, l'attività bellica delle F.F.A.A. avrebbe avuto necessità di una unificazione dei sistemi cartografici.
- 7 Furono messi in calcolo soltanto i vertici di una selezione dei punti delle reti di 1°ordine europee.
- 8 Ricordando, comunque, le mutate esigenze imposte dalla cartografia elettronica.
- 9 Preceduto dal WGS60, il WGS66 ed il WGS72.
- 10 La definizione dell'asse Y è insita nella definizione di terna ortogonale destrorsa.
- 11 Ogni set è da ritenersi valido per ognuna delle tre zone nelle quali è stato suddiviso il territorio italiano.
- 12 trattandosi di un sistema di 3 equazioni in 7 incognite occorrono almeno 3 punti per poter applicare i minimi quadrati.
- 13 i pesi sono calcolati attraverso la formula $peso_i = ((massima_distanza - distanza_i) / massima_distanza)^2$ dove: *massima_distanza* è la distanza massima tra le distanze intercorrenti all'interno di tutte le "stelle" di punti arrotondata all'intero superiore ed espressa in metri. In questo modo, al "punto stesso" compete un peso pari ad UNO ed alla coppia con la massima distanza un peso circa (in virtù dell'arrotondamento all'intero superiore) uguale a ZERO