

LA RETE DINAMICA NAZIONALE (RDN) ED IL NUOVO SISTEMA DI RIFERIMENTO ETRF2000

**L. Baroni, F. Cauli, D. Donatelli, G. Farolfi, R. Maseroli,
Servizio Geodetico - Istituto geografico Militare - Firenze**

1. Premessa

La Rete Dinamica Nazionale ha lo scopo di organizzare, sul territorio italiano, un network di stazioni permanenti GPS stabilmente materializzate, che osservano con continuità i segnali satellitari GNSS e li trasmettono per via telematica ad un Centro di Calcolo appositamente istituito presso il Servizio Geodetico dell'IGM. La disponibilità continua delle osservazioni consentirà di contribuire a vari progetti scientifici e tecnici di interesse nazionale, fra i quali assumono certamente rilevanza quelli connessi allo studio dei movimenti crostali ed al monitoraggio delle deformazioni sia a livello regionale che locale. I risultati di maggior interesse per l'IGM sono però quelli derivanti dall'utilizzo di tale struttura dinamica per la materializzazione ed il monitoraggio di precisione, sul territorio nazionale, del Sistema di Riferimento Globale.

L'esigenza scaturisce dalla necessità di dotare la nazione di un Riferimento Geodetico in linea con i tempi, dotato di caratteristiche adatte a supportare qualunque attività geodetica e valide anche per le applicazioni che richiedono le precisioni più elevate. In particolare la gestione dei network di stazioni permanenti GPS recentemente istituiti in Italia (essenzialmente a livello regionale) allo scopo di distribuire le correzioni per il posizionamento differenziale in tempo reale (RTK), necessitano di Riferimenti dotati di alte precisioni, non sempre raggiunte dalla realizzazione del Sistema Globale fino ad ora adottata: l'ETRF89. E' stato quindi deciso di allinearsi al più recente frame convenzionale del Sistema ETRS89 ufficializzato in Europa: l'ETRF2000. Come riferimento temporale è stato scelto, secondo le più recenti direttive EUREF, il 2008.0.

I calcoli necessari alla definizione della posizione delle stazioni della RDN sono stati svolti dal Centro di Calcolo del Servizio Geodetico dell'IGM, utilizzando il software BERNESE versione 5.0. Gli stessi calcoli sono stati ripetuti per controllo, in modo indipendente, da altri due Centri di Calcolo: il gruppo G3 di Milano diretto dal Prof. Sansò, ed il gruppo di Padova del Prof. Caporali.

2. Consistenza della rete

La RDN è stata istituita selezionando 99 stazioni permanenti GPS (vds. grafico in allegato 1), fra quelle già esistenti in Italia, di proprietà di Enti Pubblici ed omogeneamente distribuite, in modo da consentire in seguito l'accesso al Riferimento Globale su tutto il territorio nazionale. Le stazioni considerate hanno una interdistanza media di 100÷150 km, in modo da poter disporre, avendo avuto particolare attenzione alla copertura delle zone marginali, di una stazione ogni 3000 km² circa. In effetti 99 stazioni sono un numero esuberante rispetto alla quantità effettivamente necessaria alle finalità dichiarate. Ciononostante abbiamo ritenuto opportuno includere più stazioni, in modo da garantire un efficace monitoraggio del Sistema nel tempo anche nei casi, purtroppo frequenti, di stazioni che cessano l'attività o subiscono spostamenti. Nella rete sono state incluse, ovviamente, tutte le stazioni presenti sul territorio nazionale e già calcolate nei network internazionali ITRS e IGS (Matera, Noto, Medicina, Padova, Torino, Genova, Cagliari e Lampedusa). Nella scelta delle

altre stazioni è stata posta attenzione, pur cercando di mantenere una omogenea distribuzione, alle caratteristiche di stabilità della materializzazione e del sito. Sono state comunque incluse alcune stazioni appartenenti alle reti che forniscono le correzioni per il posizionamento in tempo reale, in modo da facilitare il successivo allineamento di tali network al Riferimento Ufficiale Nazionale.

Al fine di evitare calcoli in estrapolazione, e di disporre di punti noti anche e soprattutto nelle zone marginali, sono state incluse nella RDN le seguenti stazioni ITRS site fuori dal territorio nazionale: Sofia, Graz, Wettzel, Zimmerwald e Grasse.

3. *Dati utilizzati*

Sono state considerate le osservazioni relative alle seguenti 4 settimane GPS: 1459, 1460, 1461 e 1462; complessivamente 28 giorni, dal 23/12/2007 al 19/01/2008 compresi. Per il calcolo sono stati utilizzati i dati in formato RINEX a 30". Alcune stazioni non hanno acquisito dati validi per tutti i 28 giorni; ciononostante sono state ugualmente considerate per una delle seguenti ragioni:

- stazioni note in ITRF05 importanti per l'allineamento al Datum;
- stazioni appartenenti a network regionali il cui coinvolgimento nella RDN è considerato strategico;
- uniche stazioni attive in zone particolari.

Le stazioni non sempre operanti, insieme ad altre che hanno fornito dati particolarmente rumorosi (ad es. CUCC), saranno sostituite nei successivi calcoli qualora permangano tali problematiche.

L'effettiva disponibilità dei dati è riportata nella tabella in allegato 2. Il tipo di ricevitore e di antenna installati su ciascuna stazione, insieme agli offset dell'antenna, sono riportati nella tabella in allegato 3.

Sono stati inoltre introdotti in calcolo i seguenti dati:

- moto del polo e orbite precise espresse nel sistema di riferimento IGS05;
- offset assoluti del centro di fase delle antenne dei satelliti (IGS05.atx);
- tabelle di correzione per carico mareale GOT00.2 (Goddard Ocean Tide Loading).

Tutti i file Rinex sono stati controllati confrontando l'header del file con il log della stazione (tipo antenna e ricevitore, nome del marker, identificativo stazione, ecc.).

4. *Procedura utilizzata nell'elaborazione dei dati*

Nell'elaborazione dei dati sono state seguite di massima le procedure standard implementate da AIUB (Ist. Astr. Univ. Berna) e le raccomandazioni EUREF diffuse dai centri di calcolo della rete EPN. E' stata adottata la strategia di elaborare in modo indipendente ogni sessione giornaliera di dati; in particolare il calcolo è stato condotto attraverso gli step di seguito descritti.

1. Elaborazione preliminare del codice: stima offset orologi dei ricevitori, individuazione ed eliminazione outliers.
2. Costruzioni dello schema delle basi: metodo OBS-MAX (numero massimo delle osservazioni a comune), ove possibile non superiori a 200 km (a titolo di esempio si riporta in fig. 1 lo schema delle basi relativo ad una giornata).

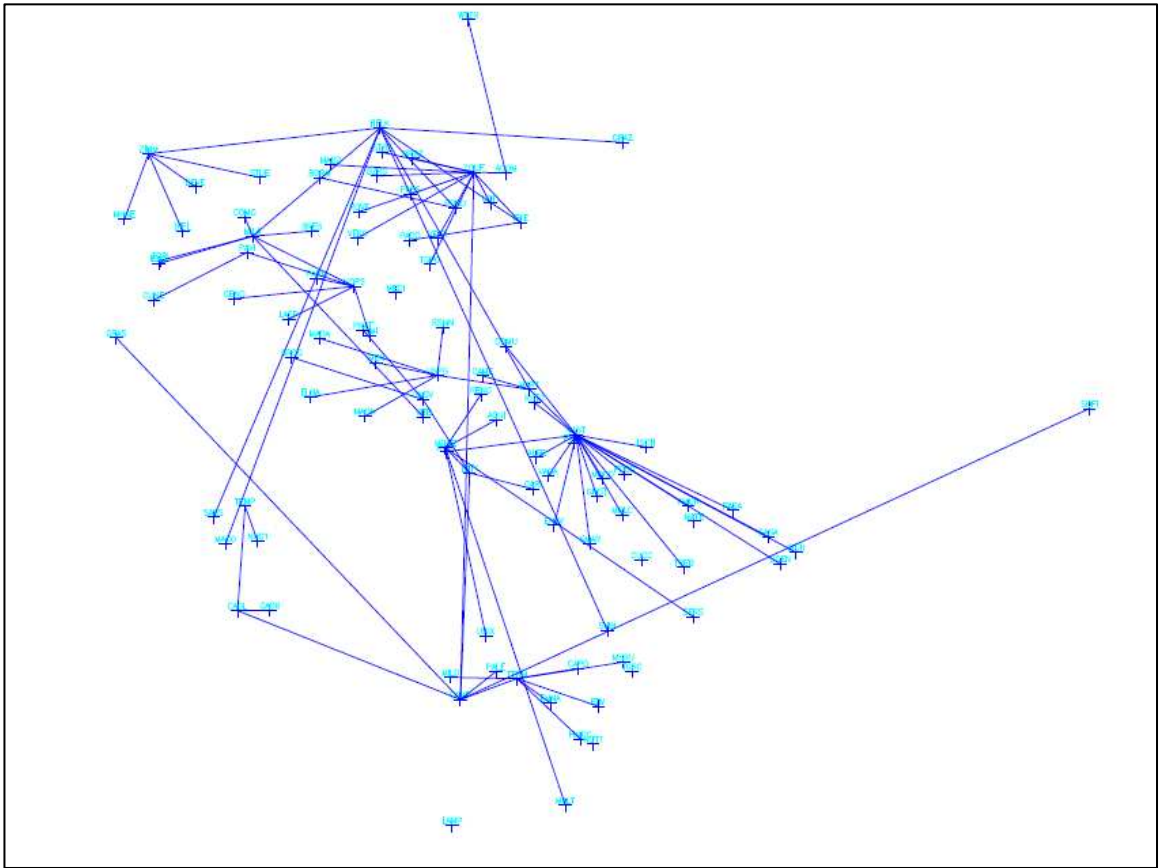


Fig. 1 – Schema delle basi relativo al giorno 10 gennaio.

3. Elaborazione preliminare in singola differenza di ogni singola base, con cut off di 3° e modello di osservazione pesato con l'elevazione (Elevation Dependent Weighting COSZ), individuazione ed eliminazione dei cycle slip;
4. Elaborazione in singola differenza, per ogni singola base, con soluzione iono free e con ambiguità irrisolte (Float); vincolo sulle stazioni fiduciali di 2 mm in planimetria e 4 mm in quota.
5. Risoluzione delle ambiguità con procedura QIF (Quasi Iono-Free), modello a priori per la troposfera: Mapping function "Dry Niell".
6. Soluzione finale Fixed Iono Free per combinazione lineare su frequenze L1 ed L2 in multibase, ritardi troposferici stimati ogni ora con Mapping function "Wet Niell" determinati rispetto alle coordinate medie giornaliere.
7. Eliminazione delle stazioni che presentano $\sigma > 20$ mm nelle componenti planimetriche e $\sigma > 30$ mm in quota nell'arco giornaliero e rielaborazione dei dati.

Sono state così ottenute 28 equazioni normali giornaliere in formato SINEX (Solution Independent Exchange Format).

5. Aggiornamento del Datum

Come Datum convenzionale per l'allineamento della RDN è stato scelto il riferimento ITRS più recente (ITRF2005) e sono state considerate le 13 stazioni, presenti in tale realizzazione, che circondano efficacemente il territorio italiano e che risultavano attive all'epoca considerata: dal 23.12.2007 al 19.01.2008 (vds. fig. 2).

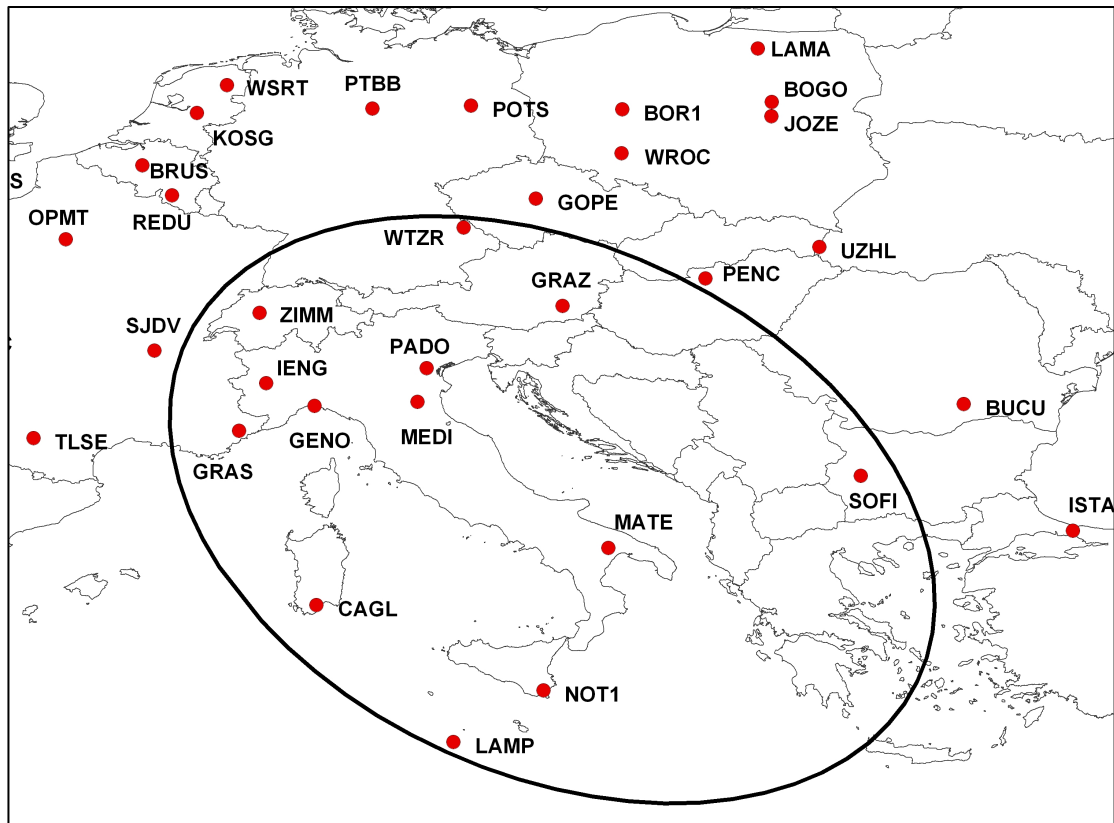


Fig. 2 – Stazioni presenti nella realizzazione ITRF2005 e attive all'epoca

L'ITRF2005 risulta però riferito al 2000.0, è quindi necessario l'aggiornamento delle coordinate all'epoca da noi scelta: 2008.0; tale aggiornamento è stato effettuato con la nota relazione:

$$X_{2005}^I(2008.0) = X_{2005}^I(2000.0) + V_{2005}^I(2000.0)(2008.0 - 2000.0)$$

utilizzando le velocità stimate nella stessa soluzione. I calcoli necessari per l'aggiornamento e le coordinate ITRF2005 all'epoca 2008.0 sono riportate nella sottostante tabella 1.

STATION	ITRF2005 (2000.0) X, Y, Z [m]	Vx, Vy, Vz [m/Y]	Shift from 2000.0 to 2008.0 [m]	ITRF2005 (2008.0) X, Y, Z [m]
CAGL 12725M003	4893378.8895	-0.0132	-0.1056	4893378.7839
	772649.6883	0.0197	0.1576	772649.8459
	4004182.0985	0.0127	0.1016	4004182.2001
GENO 12712M002	4507892.3897	-0.0139	-0.1112	4507892.2785
	707621.3852	0.0189	0.1512	707621.5364
	4441603.4530	0.0116	0.0928	4441603.5458
GRAS 10002M006	4581690.9745	-0.0139	-0.1112	4581690.8633
	556114.7440	0.0186	0.1488	556114.8928
	4389360.7387	0.0116	0.0928	4389360.8315
GRAZ 11001M002	4194423.9047	-0.0167	-0.1336	4194423.7711
	1162702.6028	0.0181	0.1448	1162702.7476
	4647245.3599	0.0107	0.0856	4647245.4455
IENG 12724S001	4476537.4748	-0.0120	-0.0960	4476537.3788
	600431.3354	0.0189	0.1512	600431.4866
	4488761.2723	0.0123	0.0984	4488761.3707
LAMP 12706M002	5073164.8296	-0.0147	-0.1176	5073164.7120
	1134512.4796	0.0168	0.1344	1134512.6140
	3683181.0677	0.0153	0.1224	3683181.1901
MATE 12734M008	4641949.6474	-0.0179	-0.1432	4641949.5042
	1393045.3337	0.0188	0.1504	1393045.4841
	4133287.3848	0.0155	0.1240	4133287.5088
MEDI 12711M003	4461400.8331	-0.0182	-0.1456	4461400.6875
	919593.4838	0.0190	0.1520	919593.6358
	4449504.7104	0.0110	0.0880	4449504.7984
NOT1 12717M004	4934546.3174	-0.0175	-0.1400	4934546.1774
	1321264.9237	0.0172	0.1376	1321265.0613
	3806456.0422	0.0155	0.1240	3806456.1662
PADO 12750S001	4388882.1126	-0.0171	-0.1368	4388881.9758
	924567.3734	0.0177	0.1416	924567.5150
	4519588.6769	0.0113	0.0904	4519588.7673
SOFI 11101M002	4319372.1716	-0.0163	-0.1304	4319372.0412
	1868687.6889	0.0190	0.1520	1868687.8409
	4292063.8891	0.0093	0.0744	4292063.9635
WTZR 14201M010	4075580.6330	-0.0151	-0.1208	4075580.5122
	931853.7122	0.0173	0.1384	931853.8506
	4801568.0814	0.0114	0.0912	4801568.1726
ZIMM 14001M004	4331297.1313	-0.0126	-0.1008	4331297.0305
	567555.7888	0.0181	0.1448	567555.9336
	4633133.8719	0.0127	0.1016	4633133.9735

Tab. 1 – Trasporto al 2008.0 della realizzazione ITRF2005.

Data l'entità dell'estrapolazione (8 anni) e la possibilità che siano intervenuti nel frattempo movimenti crostali, o, più banalmente modifiche dell'hardware delle stazioni permanenti considerate, abbiamo ritenuto opportuno verificare i valori delle coordinate portate al 2008 confrontandole con i risultati IGS05.

IGS05 viene fornito come soluzione settimanale; per disporre di una soluzione di maggiore affidabilità, evitando i possibili errori presenti nelle elaborazioni di una singola settimana di dati, è

stata calcolata una regressione lineare su 52 settimane (tutto l'anno 2007), basata sul criterio della minimizzazione della deviazione assoluta (LDA). Si riporta per esempio in figura 3 il grafico della regressione lineare relativo alla stazione di Matera.

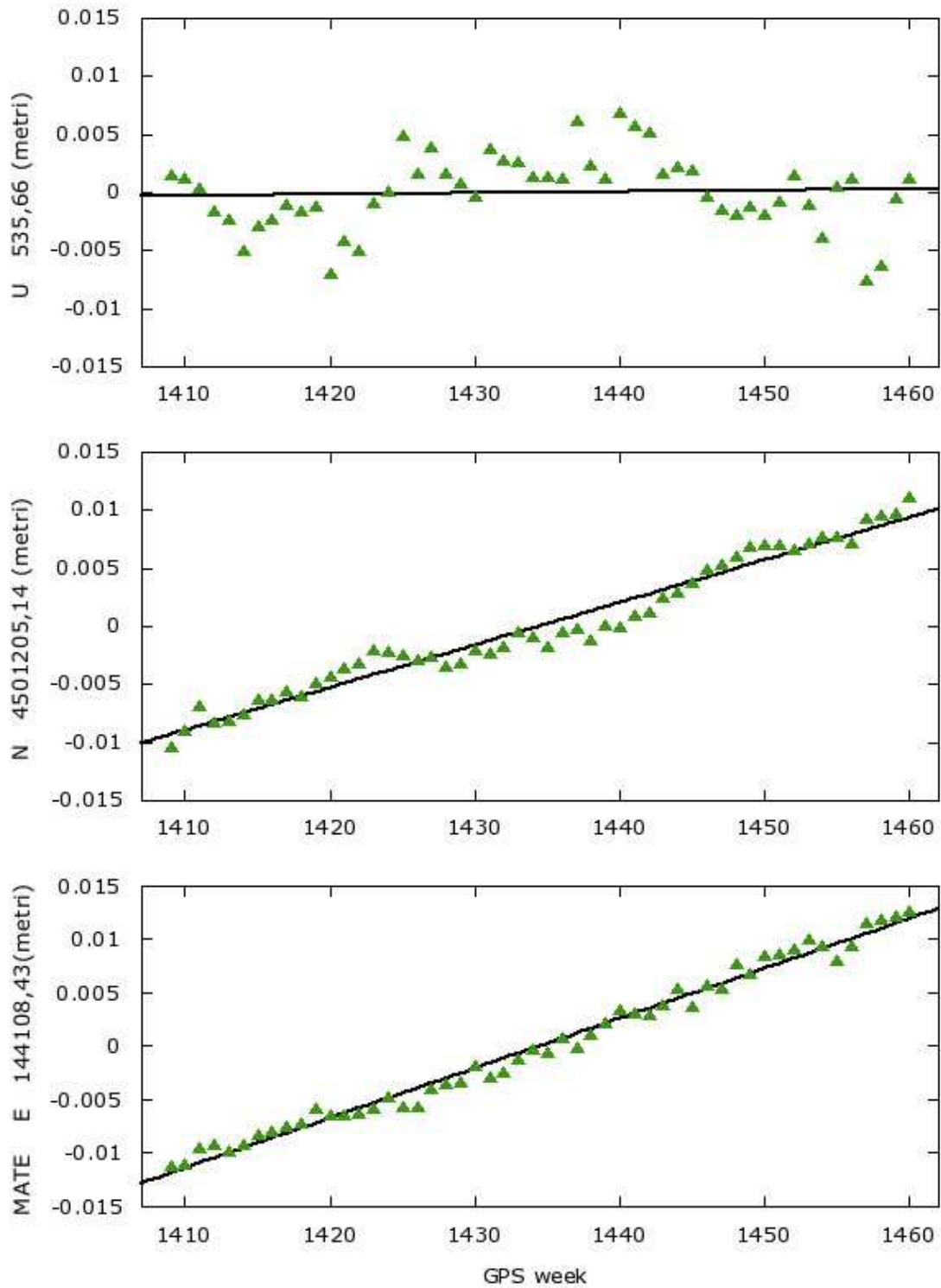


Fig. 3 – Esempio della regressione lineare per la stazione di Matera.

I risultati della regressione lineare sulle 13 stazioni considerate sono riportati nella sottostante tabella 2.

IGS05 al 2008.0 (regressione lineare su 52 settimane)				
stazione	sigla	X [m]	Y [m]	Z [m]
Cagliari	CAGL	4893378.7836	772649.8495	4004182.2012
Genova	GENO	4507892.2811	707621.5396	4441603.5488
Grasse	GRAS	4581690.8656	556114.8915	4389360.8335
Graz	GRAZ	4194423.7736	1162702.7505	4647245.4486
Torino	IENG	4476537.3734	600431.4879	4488761.3692
Lampedusa	LAMP	5073164.7162	1134512.6197	3683181.1958
Matera	MATE	4641949.5075	1393045.4881	4133287.5106
Medicina	MEDI	4461400.6946	919593.6378	4449504.8084
Noto	NOT1	4934546.1800	1321265.0654	3806456.1681
Padova	PADO	4388881.9789	924567.5214	4519588.7699
Sofia	SOFI	4319372.0447	1868687.8409	4292063.9666
Wetzlar	WTZR	4075580.5096	931853.8491	4801568.1684
Zimmerwald	ZIMM	4331297.0247	567555.9353	4633133.9707

Tab. 2 – Coordinate IGS05 al 2008.0 delle 13 stazioni utilizzate per l'allineamento del Datum.

Le differenze fra i due set di coordinate, riportate in tabella 3, risultano nella gran parte dei casi non significative (inferiori a 0.5 cm nella quasi totalità delle 3 componenti) e confermano la validità di entrambi i riferimenti; fanno eccezione due stazioni (MEDI e LAMP) dove le differenze, pur essendo superiori alla media, risultano comunque accettabili.

STAZ.	ΔE [mm]	ΔN [mm]	ΔU [mm]	mod. [mm]
CAGL	-3.6	-0.7	-0.9	3.8
GENO	-2.8	0.0	-4.3	5.1
GRAS	1.6	0.0	-2.9	3.3
GRAZ	-2.1	0.2	-4.4	4.9
IENG	-2.0	-2.6	4.7	5.8
LAMP	-4.6	-1.5	-7.7	9.1
MATE	-2.9	1.4	-4.4	5.5
MEDI	-0.5	-2.0	-12.3	12.4
NOT1	-3.3	0.6	-4.0	5.2
PADO	-5.6	1.3	-4.9	7.6
SOFI	1.4	-0.1	-4.5	4.7
WTZR	0.9	0.6	5.1	5.2
ZIMM	-2.4	-2.1	5.8	6.7
media	-2.0	-0.4	-2.7	6.1
media x 	2.6	1.0	5.1	
sqm x 	1.5	0.9	2.6	2.4

Tab. 3 – Confronto fra IGS2005 e ITRF2005 portato al 2008.0.

6. Allineamento della RDN al Datum aggiornato

Le 28 equazioni normali giornaliere, ottenute come descritto nel paragrafo 4, sono state combinate (stacking) nella soluzione finale, allineandosi al Datum ITRF05 (al 2008.0), tramite la condizione di minimi vincoli sulle 13 stazioni di riferimento per mezzo di una trasformazione di Helmert a 3 parametri (tre traslazioni). I risultati del calcolo della RDN nel Sistema ITRF2005 al 2008.0 sono riportati nella tabella in allegato 4.

7. Stima degli errori

Gli errori quadratici medi associati alle coordinate dal calcolo di compensazione risultano di piccola entità: millimetri o frazioni di millimetro. Questi valori sono in realtà sottostimati a causa dell'applicazione di modelli stocastici a variabili che invece presentano certamente correlazioni e sistematismi difficilmente stimabili.

Per determinare un valore più realistico delle precisioni raggiunte nella definizione delle posizioni dei punti è stata valutata la ripetibilità dei risultati delle singole stazioni nei 28 giorni di osservazioni trattate. L'entità dei valori ottenuti (riepilogati in allegato 5) garantisce sulla correttezza dei procedimenti eseguiti e sulla qualità dei risultati raggiunti.

8. Variazioni indotte dalla RDN sui punti di allineamento

Per verificare la congruenza fra la RDN e la soluzione ITRF2005, di cui alcune stazioni hanno costituito il vincolo per l'allineamento al Datum, sono state valutate le variazioni indotte su tali vincoli dal presente calcolo, effettuato con il metodo del "minimum constraint" (vds. tab. 4).

L'entità molto contenuta delle differenze garantisce sull'accordo fra i due network; i valori di maggiore entità in Δh (LAMP e MEDI) corrispondono alle differenze riscontrate fra ITRF2005 e IGS05 e concordano con quest'ultimo.

	ΔE	ΔN	Δh	Modulo
STAZ.	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
CAGL	-0.7	0.5	-1.3	1.6
GENO	0.2	1.9	3.5	4.0
GRAS	-0.1	-2.3	1.5	2.8
GRAZ	0.9	1.4	-1.0	2.0
IENG	-0.1	-2.8	-9.6	9.9
LAMP	-0.9	2.5	9.7	10.0
MATE	-0.7	2.4	-1.6	2.9
MEDI	-0.8	-7.3	10.6	12.9
NOT1	0.4	1.1	2.9	3.2
PADO	1.4	3.0	4.9	5.9
SOFI	0.4	-0.9	-5.3	5.4
WTZR	-0.3	-1.6	-6.7	6.9
ZIMM	2.5	1.5	-7.1	7.7

media	0.2	0.0	0.0	5.8
media x	0.7	2.2	5.1	
sqm x	0.7	1.7	3.4	3.5

Tab. 4 – Variazioni indotte sui vincoli dal calcolo di compensazione.

9. Passaggio al Sistema Convenzionale ETRF2000

La trasformazione fra ITRF05 ed ETRF2000 è stata ottenuta, seguendo le indicazioni dell'EUREF, tramite la relazione:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRF\ 2000(2008.0)} = (1 + K_{(2008.0)}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF\ 2005(2008.0)} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{(2008.0)}$$

introducendo i parametri:

T_x	T_y	T_z	K	R_x	R_y	R_z	<i>epoca</i>
[mm]	[mm]	[mm]	[10 ⁻⁹]	[mas]	[mas]	[mas]	
52.5	51.0	-68.2	1.04	1.539	9.310	-15.048	2008.0

Le coordinate finali della rete RDN nel Sistema ETRF2000 all'epoca 2008.0 sono riportate in coordinate cartesiane nella tabella in allegato 6, in coordinate geografiche nell'allegato 7.

10. Confronto con gli altri Centri di Calcolo

Per verificare ulteriormente la correttezza dei procedimenti seguiti nel trattamento dei dati e la qualità della soluzione trovata, sono state analizzate le soluzioni ottenute dagli altri due Centri di Calcolo (Padova e Como). E' necessario considerare che ogni Centro di Calcolo ha seguito criteri parzialmente diversi nella "pulitura" e nel trattamento dei dati e nella strategia di allineamento al Datum; le ipotesi a comune sono invece l'utilizzo degli stessi dati, l'allineamento all'ITRF05 all'epoca 2008.0 e la trasformazione in ETRF2000 con il procedimento EUREF. Il confronto con le altre soluzioni è stato effettuato calcolando per ciascuna la differenza rispetto alla media ottenuta dall'insieme delle tre (vds. allegato 8).

Le differenze risultano anche in questo caso di entità molto contenuta, ed avvalorano la correttezza di tutti i calcoli considerati. L'unica stazione che presenta differenze di maggiore entità, peraltro di poco superiori al cm, è CUCC, che presentava in effetti osservazioni particolarmente rumorose ed ha subito una pulitura dei dati attuata con differenti criteri dai 3 Centri di Calcolo. Tale stazione sarà sostituita nei successivi calcoli qualora permangano le problematiche riscontrate.

11. Ricalcolo della rete IGM95 nel nuovo Sistema

La rete IGM95 risulta affetta, nel riferimento ETRF89, da deformazioni locali che, anche se di piccola entità (non oltre il decimetro), hanno impedito l'aggiornamento delle coordinate con semplici rototraslazioni. E' stato quindi necessario collegare una parte delle stazioni della RDN ai punti della rete IGM95 d'impianto, cioè a quei punti, istituiti fra il 1992 e il 1996, che hanno partecipato al calcolo di compensazione fondamentale.

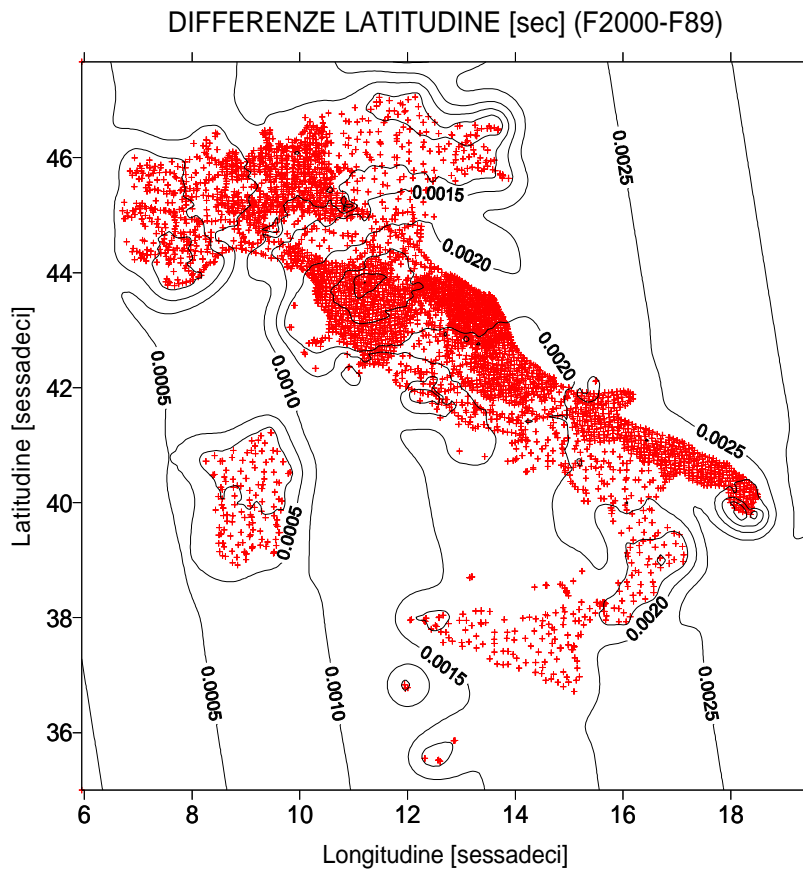


Fig. 4a – Differenze in latitudine fra ETRF2000 e ERTF89

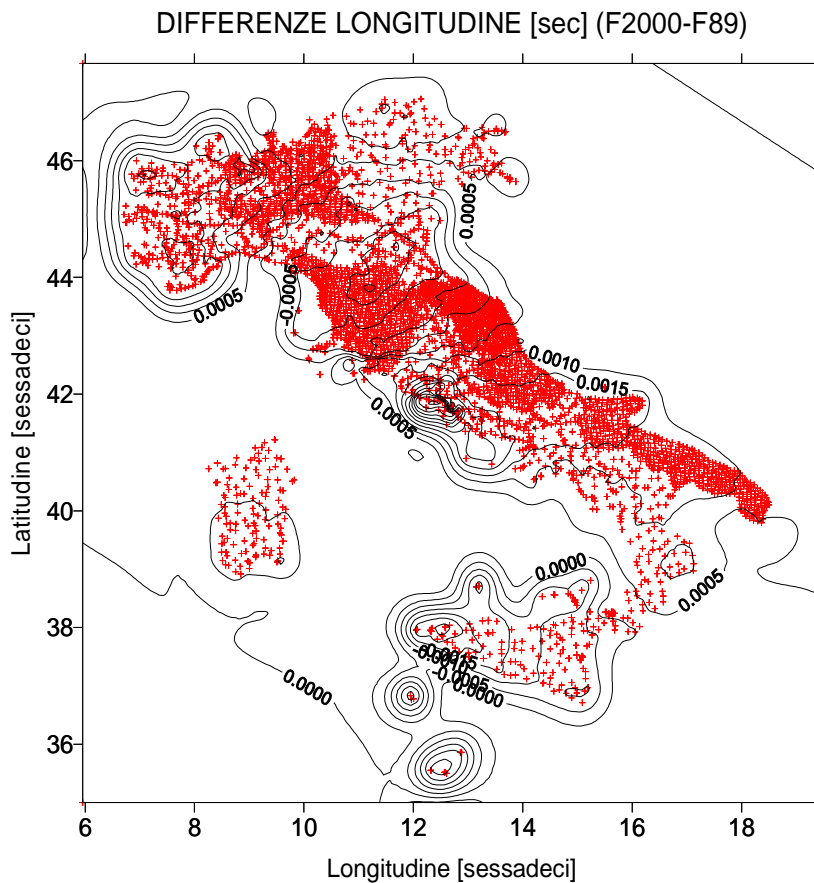


Fig. 4b – Differenze in longitudine fra ETRF2000 e ERTF89

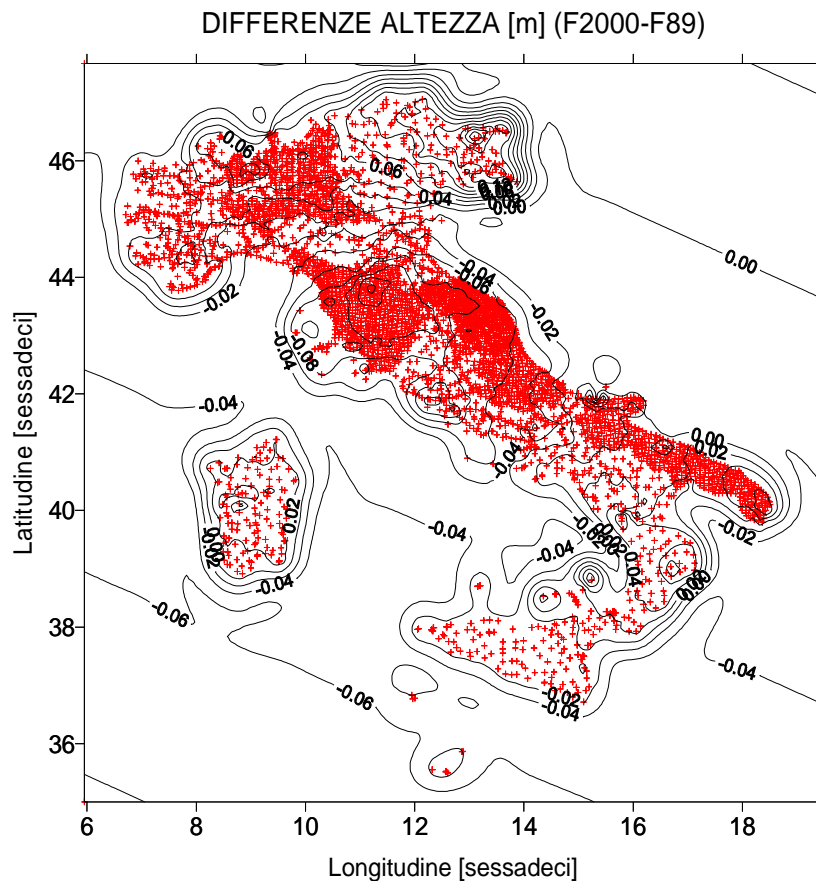


Fig. 4c – Differenze in altezza fra ETRF2000 e ETRF89

Le stazioni permanenti collegate sono 45 (in verde nel grafico allegato 1), selezionate in modo da avere una omogenea distribuzione sul territorio, con particolare riguardo alle zone marginali al fine di contenere la propagazione degli errori. Ciascuna delle 45 stazioni è stata collegata a non meno di 3 punti IGM95 limitrofi misurando altrettante baseline GPS.

La stabilità dei punti IGM95 utilizzati per il riattacco è stata verificata chiudendo i poligoni costituiti dalle basi misurate in aggiunta a quelle d’impianto; tale controllo ha consentito anche di verificare la possibilità di mantenere buone precisioni utilizzando congiuntamente basi misurate in tempi diversi.

Unendo quindi le nuove basi di collegamento alla compensazione d’impianto, e fissando le 45 stazioni permanenti, utilizzando il software GEOLAB, è stata ricalcolata ai minimi quadrati l’intera rete IGM95. In caduta sono stati ricalcolati tutti i successivi raffittimenti della rete, fino alla totalità degli oltre 4000 punti IGM95 fino ad oggi realizzati.

12. Aggiornamento dei software Verto per il passaggio fra Sistemi

Il confronto fra le coordinate nei due Sistemi di tutta la rete ha consentito la definizione delle griglie, graficizzate in figura 4, necessarie per il passaggio fra i Sistemi ETRF89 ed ETRF2000.

Le griglie sono state calcolate a partire dalle differenze $\Delta\varphi$ e $\Delta\lambda$ di tutti i punti stimando, per mezzo di un algoritmo “pseudo-interpolatore”, una superficie approssimante secondo il principio della minima curvatura, disponibile nel software Surfer7. L’algoritmo suddetto applica dapprima un semplice modello di regressione piana ai minimi quadrati con stima dei coefficienti a , b e c , del tipo:

$$aX_i + bY_i + c \cong Z_i$$

generando residui v_i sui punti noti:

$$v_i = Z_i - (aX_i + bY_i + c)$$

Successivamente i residui v_i vengono interpolati col vero e proprio algoritmo di minima curvatura tramite una funzione¹:

$$g(X_i, Y_i) \cong v_i$$

Infine vengono determinati i residui finali w_i :

$$w_i = v_i - g(X_i, Y_i) = Z_i - f(X_i, Y_i)$$

dove:

$$f(X_i, Y_i) = aX_i + bY_i + c + g(X, Y)$$

rappresenta la superficie interpolata finale che viene fornita tramite i valori relativi ad una griglia regolare con passo scelto dall'utente.

Applicando dunque l'algoritmo di approssimazione del software Surfer7, e partendo dalle matrici irregolari delle differenze, sono stati generati tre grigliati regolari, uno per la latitudine, uno per la longitudine e uno per la quota, che rappresentano le rispettive superfici interpolanti, graficizzate a curve di ugual differenza nelle figure 4.

La procedura di approssimazione ha, come noto, la caratteristica di lasciare residui sui punti noti, che in questo caso risultano però di entità realmente piccola (vds. fig. 5): il 99% dei residui è inferiore ad 1 centimetro in planimetria, inferiore ad 2 centimetro in quota.

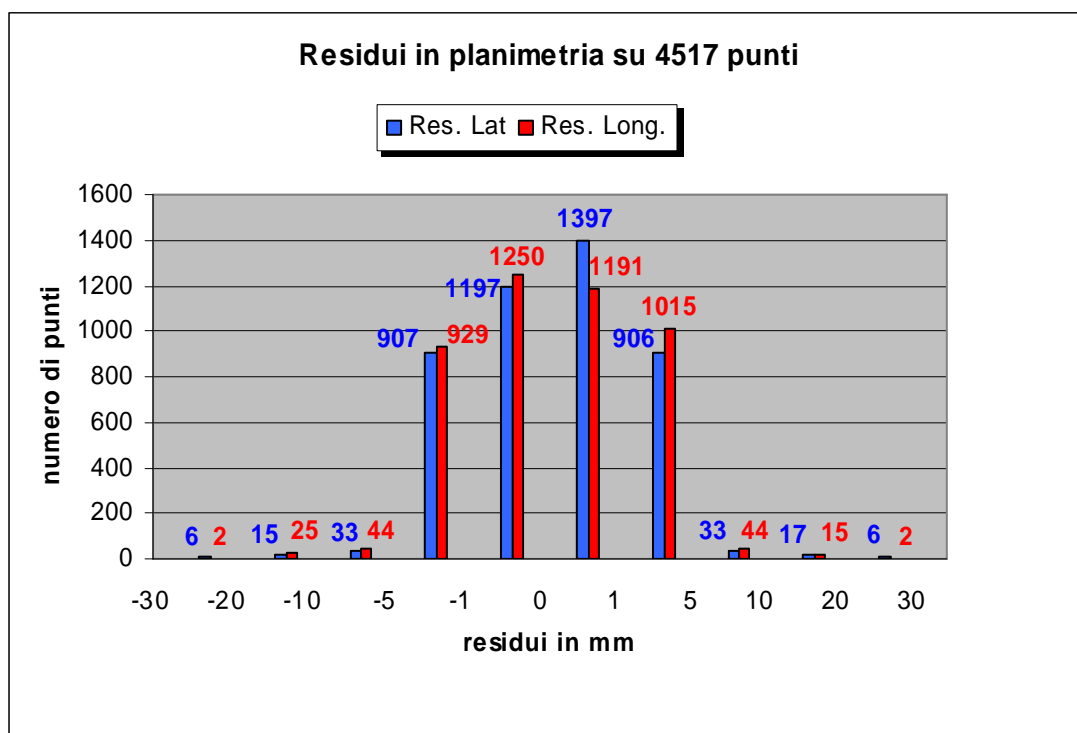


Fig. 5a – Distribuzione dei residui in planimetria

¹ L'algoritmo produce, per passi di iterazioni successive a partire dalla griglia (qualsiasi) dei dati di partenza v_i , una griglia finale, base della soluzione approssimata g (realizzata localmente con le cosiddette funzioni "splines in tensione") dell'equazione differenziale biarmonica modificata, con opportune condizioni al contorno,

$$(1 - \lambda)\nabla^2(\nabla^2 g) - \lambda\nabla^2 g = 0$$

(dove λ è il cosiddetto parametro di tensione interna), che descrive in sostanza il comportamento di una lamina elastica semi-rigida sottoposta a tensione e a vincoli.

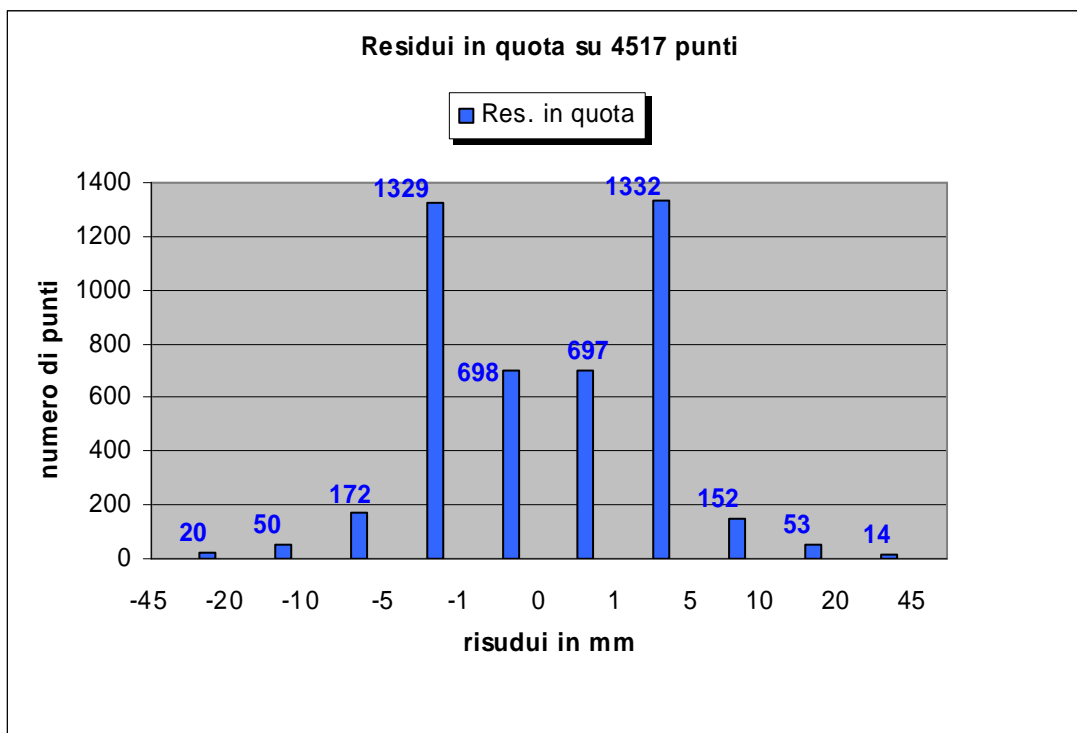


Fig. 5b – Distribuzione dei residui in quota

Data la piccola entità dei residui, rispetto agli e.q.m. tipici dei punti IGM95, è stato deciso di modificare le coordinate ETRF2000 della rete IGM95 accordandole con i risultati della griglia, in modo tale da non avere residui. Le monografie dei punti IGM95 con coordinate nel sistema ETRF89 (fino ad ora impropriamente chiamato WGS84) possono essere aggiornate sommando algebricamente ai valori di latitudine, longitudine, quota ellissoidica, coordinate piane UTM (Nord ed Est) della scheda le quantità fornite per ciascun punto nella sezione apposita del sito web del Servizio Geodetico, http://87.30.244.175/rdn/calcola_differenze.php.

Le 3 griglie così calcolate sono state implementate nei software della serie Verto, consentendo la realizzazione di versioni aggiornate che includono anche il nuovo sistema ETRF2000.

In particolare le 3 versioni di Verto fino ad ora in cessione sono state aggiornate, rispettivamente:

la versione:	Verto2+	nella versione:	Verto2k
la versione:	Verto2mila	nella versione:	Verto2ks
la versione:	Verto3	nella versione:	Verto3k

Le versioni aggiornate sono scaricabili gratuitamente dal sito internet dell'IGM e funzionano con la stessa chiave hardware delle rispettive vecchie versioni.

Anche le griglie sono state aggiornate, rispettivamente:

la versione:	*.GR1	nella versione:	*.GK1
la versione:	*.GR2	nella versione:	*.GK2

Le nuove griglie, caratterizzate dalla lettera "k", contengono anche i valori relativi al Sistema ETRF2000 e funzionano solo con i nuovi software, anch'essi riconoscibili dalla lettera "k". Per quanto riguarda i Sistemi ROMA40, ED50 e ETRF89 (impropriamente chiamato fino ad ora

WGS84) e per la parte altimetrica (quote sul livello del mare) le versioni aggiornate (software e griglie “k”) forniscono risultati identici a quelli delle vecchie versioni.