

RELAZIONE SUL CALCOLO DELLE RETI DI STAZIONI PERMANENTI TPOS DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO E STPOS DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO

1. Caratteristiche e consistenza delle reti oggetto del calcolo

La rete TPOS, realizzata dalla Provincia autonoma di Trento, è costituita da 11 stazioni GPS permanenti, omogeneamente distribuite sul proprio territorio, e precisamente: PARR, PASS, PEJO, POZZ, RONC, ROVE, SARN, SPER, TREN, FDOS, MOCA (fig. 1). Analogamente la rete STPOS, della Provincia autonoma di Bolzano, è costituita da 7 stazioni GPS permanenti: BZRG, BRBZ, MABZ, PILA, PRET, STBZ, MITT. Per ovvie ragioni di omogeneità nei risultati, le suddette 18 stazioni sono state trattate complessivamente in un unico calcolo di compensazione. Al fine di migliorare la copertura sui rispettivi confini provinciali, entrambi i gestori delle reti suddette hanno attivato, sia fra di loro che con le Regioni e gli Stati limitrofi, forme di cooperazione che consentono di ampliare il network ad altre stazioni situate all'esterno dei limiti provinciali. Nel calcolo sono state incluse pertanto anche le 9 stazioni permanenti GPS sotto elencate, che hanno portato a 27 il numero delle stazioni incognite (in colore rosso in fig. 1):

- MAGA situata a Magasa (provincia di Brescia), appartenente alla rete RING dell'INGV;
- ARD2 situata ad Agnes (Svizzera), appartenente alla rete SWIPOS;
- KOP2 posta a Kops, KRBG posta a Krahberg, KTZ2 posta a Kitzbuehel, HFL2 posta a Hafelekar, PAT2 posta a Patscherkofel, MUEN posta a Muenster, SILL posta a Sillian; tutte situate in Austria e facenti parte della rete austriaca di posizionamento APOS.

La stazione HFL2 appartiene anche alle reti IGS e EPN.

2. Sistema di Riferimento e stazioni fiduciarie

Le coordinate finali delle reti oggetto del calcolo devono essere coerenti con la RDN (Rete Dinamica Nazionale), devono cioè essere espresse in ETRF2000, sistema ufficialmente adottato dall'Italia a partire dal 01/01/2009. Nel trattamento dei dati è però consigliabile utilizzare un riferimento più vicino alla realtà fisica, come l'ITRF2005, portato all'epoca delle misure tramite le velocità, disponibili per tutte le soluzioni ITRS. La trasformazione fra ITRF2005 ed ETRF2000 può essere facilmente eseguita utilizzando i parametri e gli algoritmi certificati dall'EUREF, pubblicati in [3], come dettagliato nel seguito.

Al fine di ottenere l'allineamento dei risultati all'ITRF05, e tenendo conto dei criteri contenuti nelle linee guida per il calcolo delle reti GPS in ambito europeo [1] e [2], sono stati inclusi nel processo d'elaborazione anche i dati raccolti dalle 7 stazioni ITRS che circondano la zona: GENO, GRAS, GRAZ, MEDI, PADO, WTZR e ZIMM (in colore verde in fig. 1). Tali stazioni fiduciarie, essendo incluse nelle soluzioni ITRF, risultano note, oltre che in posizione, anche in velocità, ed è quindi possibile il trasporto delle loro coordinate all'epoca delle osservazioni, con una precisione migliore o uguale al centimetro. Il numero e la posizione delle stazioni fiduciarie scelte risulta adeguato per garantire un ottimo allineamento al riferimento ufficiale delle reti in calcolo (vds. fig.

1). Il numero delle stazioni trattate contemporaneamente nel calcolo è risultato quindi di 35: delle quali 7 note e 27 di posizione incognita.

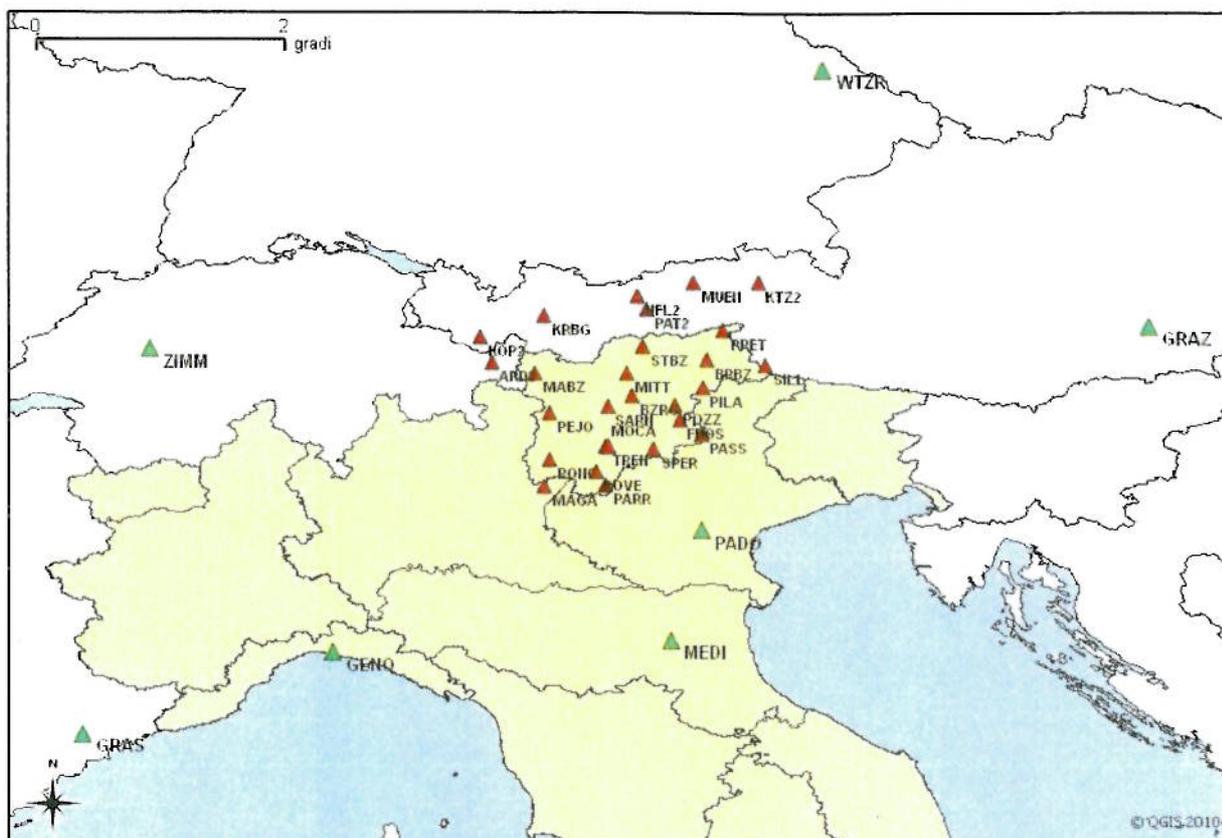


Fig. 1- Stazioni incluse nel calcolo: in rossi le stazioni incognite, in verde le stazioni ITRF.

3. Osservazioni disponibili

Per tutte le 35 stazioni introdotte nel calcolo sono stati raccolti i dati giornalieri in formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format), registrati a 30 secondi e relativi a due intere settimane GPS a cavallo del 1 gennaio 2010: precisamente dal giorno giuliano 361 dell'anno 2009 al giorno 9 del 2010.

In tabella 1 è riepilogata l'effettiva disponibilità dei dati nel periodo suddetto per tutte le stazioni trattate: ogni riga della tabella è dedicata ad una stazione, le colonne sono invece relative ai giorni giuliani (degli anni 2009 e 2010); le caselle di colore verde indicano che il dato RINEX è pienamente disponibile, mentre quelle in colore rosso indicano la non disponibilità per quel giorno.

Una prima elaborazione volta a verificare la qualità delle osservazioni, ha evidenziato che nel giorno giuliano 009 (anno 2010) le stazioni di GRAS e GRAZ hanno registrato, per ragioni sconosciute, dati di mediocre qualità. In conseguenza di ciò le grandezze calcolate a partire da tali dati sono risultate come outlier rispetto ai valori relativi agli altri giorni; si è quindi deciso di eliminare dal calcolo i file RINEX del giorno 009 per le stazioni di GRAS e GRAZ (in colore arancione in tab. 1).

I dati disponibili risultano, nel complesso, di buona qualità e in quantità sufficiente all'esecuzione del calcolo.

In allegato 1 sono riportate le caratteristiche dell'hardware di tutte le stazioni trattate, insieme alle eccentricità del centro di fase dell'antenna.

	Stazione	Giorno Giuliano													
		2009					2010								
		361	362	363	364	365	001	002	003	004	005	006	007	008	009
Fiduciarie	GENO														
	GRAS														
	GRAZ														
	MEDI														
	PADO														
	WTZR														
	ZIMM														
	Stazioni da calcolare	ARD2													
BRBZ															
BZRG															
FDOS															
HFL2															
KOP2															
KRBG															
KTZ2															
MABZ															
MAGA															
MITT															
MOCA															
MUEN															
PARR															
PASS															
PAT2															
PEJO															
PILA															
POZZ															
PRET															
RONC															
ROVE															
SARN															
SILL															
SPER															
STBZ															
TREN															

Tab. 1- Disponibilità dei dati GPS sulle stazioni trattate.

4. Strategia utilizzata nel calcolo

Il calcolo è stato effettuato con il software Bernese, attuando le procedure standard implementate dall'Istituto Astronomico dell'Università di Berna (AIUB), con la sequenza suggerita nelle raccomandazioni EUREF diffuse dai centri di calcolo della rete EPN [2].

L'applicazione delle suddette procedure è stata facilitata dall'impiego della versione 5.0 del software, il cui pacchetto include un file PCF (input del Bernese Processing Engine - BPE), contenente i parametri standard per tutte le fasi d'analisi dei dati RINEX fino alla creazione dei risultati finali in formato SINEX (Solution Independent Exchange Format). Partendo da tali file è stata creata una procedura più adatta al calcolo della rete trattata, composta dai passi di seguito descritti.

1. Sono stati raccolti i dati grezzi RINEX giornalieri per tutte le stazioni. I dati reperiti sono stati sottoposti a controllo per verificare l'esattezza delle informazioni contenute nel header del file, tramite confronto con le informazioni note, contenute nel file di log delle stazioni permanenti.
2. Tutti i dati sono stati organizzati in "sessioni" giornaliere e trascritti in "formato Bernese" (modulo RXOBV3). In questa fase è stato controllato che tutti i file giornalieri RINEX contenessero osservazioni valide per almeno 480 epoche (4 ore), scartando quelli con quantità minori (nel caso presente nessun file è stato scartato). Per ogni campagna è stato preparato un file con le coordinate a priori di tutte le stazioni, espresse in ITRF05 (Modulo COOVEL).
3. Per ogni campagna giornaliera sono stati scaricati i file contenenti le effemeridi precise dei satelliti ed i parametri descrittivi del moto del polo. Questi file sono stati opportunamente convertiti e preparati in un formato adatto alla trattazione con il software Bernese (Moduli POLUPD, PRETAB, ORBGEN).
4. Si è eseguita una preliminare elaborazione dei dati al fine di stimare gli offset degli orologi dei ricevitori e di sincronizzare le osservazioni (modulo CODSPP). L'accuratezza richiesta per la determinazione dell'errore di clock è intorno al $\mu s \approx 300$ m; conseguentemente, in questa fase, è sufficiente processare le osservazioni di codice che forniscono una precisione adeguata allo scopo. Per questi calcoli si è adottato il modello troposferico di Saastamoinen. Tramite il pre-processamento delle osservazioni di codice è inoltre possibile individuare la presenza di eventuali osservazioni outlier ed eliminarle dalla campagna corrispondente: è stato eliminato il giorno 009 per le stazioni di GRAS e GRAZ.
5. Per la selezione delle basi di riferimento è stato utilizzato il modulo automatico con il criterio della minima distanza (modulo SNGDIF).
6. E' stata quindi eseguita un'elaborazione preliminare delle osservazioni di fase per l'individuazione dei cycle-slip (modulo MAUPRP). Questa operazione avviene processando i file delle basi a livello di "singola differenza". L'angolo di cut-off per le osservazioni è stato fissato a 3° . Per stimare il ritardo troposferico zenitale è stata adottata la funzione Wet Niell.
7. Dopo lo screening delle osservazioni, eseguito per ogni campagna giornaliera, sono state processate le osservazioni di fase a livello di doppie differenze generando una prima soluzione, libera da termini di ionosfera (L3), con ambiguità irrisolte (modulo GPSEST). Questa soluzione è detta "float" ed è stata ottenuta vincolando fortemente le coordinate delle stazioni fiduciarie (2 millimetri in planimetria e 4 millimetri in quota). Il ritardo troposferico è stato modellizzato tramite la funzione Dry Niell, così come suggerito dalle linee guida del IAGB. Le coordinate e i parametri di troposfera così stimati sono stati registrati in opportuni file di output.
8. A partire dai parametri "float" stimati al passo precedente, sono state risolte le ambiguità di fase (modulo GPSEST) ricorrendo alla strategia di computazione QIF (quasi ionosphere free), analizzando separatamente ogni baseline.

9. Dopo aver risolto le ambiguità è stata determinata, per ciascuna delle sessioni giornaliere, una soluzione finale contenente le coordinate ed i parametri di troposfera, ottenuta vincolando fortemente le coordinate delle stazioni fiduciarie (2 millimetri in planimetria e 4 millimetri i quota). Inoltre, per ogni campagna processata, sono state determinate, e memorizzate in un file di output in formato binario, le equazioni normali “giornaliere” della rete (NEQ). In questa fase di analisi delle equazioni di osservazione, i termini della matrice di covarianza sono stati stimati correttamente, tenendo conto anche delle correlazioni tra le baseline (Modulo GPSEST).
10. La procedura finora descritta, relativa ad una “sessione giornaliera”, è stata ripetuta in modo analogo per ogni giorno del periodo considerato (14 sessioni giornaliere). Successivamente sono state definite due “campagne Bernese” settimanali multisessione, ed è stata generata un’equazione normale “cumulativa” per ciascuna settimana attraverso la combinazione delle NEQ “giornaliere” (modulo ADDNEQ2).
11. Le due equazioni normali ottenute al passo precedente potrebbero essere combinate e risolte, ottenendo così la soluzione finale riferita al 01.01.2010, epoca delle misure. Tale procedura risulta comunque onerosa in termini di tempo di CPU. Al fine di alleggerire il calcolo finale, sono stati eliminati dalle equazioni normali i termini relativi alla troposfera, “fissando” le coordinate ai valori calcolati al passo precedente (modulo ADDNEQ2). Le equazioni normali così ottenute, che contengono come incognite solo i termini relativi alla posizione delle stazioni, prendono il nome di “ridotte”.
12. Le due NEQ ridotte sono state combinate in un’unica equazione normale, che è stata risolta imponendo l’allineamento, ai minimi vincoli, sul datum geodetico definito dalle stazioni fiduciarie portate all’epoca 01.01.2010 (modulo ADDNEQ2 e modulo COOVEL per la creazione del file di coordinate a priori all’epoca di riferimento).

I risultati ottenuti nell’ultima fase della procedura rappresentano la soluzione finale inquadrata nel sistema ITRF05 all’epoca 2010.0. In tabella 2 sono riepilogate le coordinate cartesiane finali delle stazioni ed i relativi errori quadratici medi forniti dal calcolo (in carattere grassetto la stazioni fiduciarie utilizzate per l’allineamento al sistema).

Stazioni	X	Y	Z	σX	σY	σZ
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
GENO	4507892.2557	707621.5752	4441603.5730	0.0002	0.0001	0.0001
GRAS	4581690.8401	556114.9287	4389360.8567	0.0002	0.0001	0.0002
GRAZ	4194423.7346	1162702.7820	4647245.4656	0.0002	0.0001	0.0002
MEDI	4461400.6579	919593.6773	4449504.8283	0.0002	0.0001	0.0002
PADO	4388881.9507	924567.5530	4519588.7994	0.0002	0.0001	0.0002
WTZR	4075580.4683	931853.8785	4801568.1769	0.0002	0.0001	0.0002
ZIMM	4331297.0005	567555.9679	4633133.9980	0.0002	0.0001	0.0002
ARD2	4307655.9030	775438.5344	4625902.4521	0.0002	0.0001	0.0002
BRBZ	4280148.5315	905194.7429	4626969.6198	0.0002	0.0001	0.0002
BZRG	4312657.4161	864634.7394	4603844.5057	0.0002	0.0001	0.0002
FDOS	4323151.2222	897154.3340	4590018.1156	0.0002	0.0001	0.0002
HFL2	4248504.8562	855575.8048	4667172.2169	0.0002	0.0001	0.0002
KOP2	4293316.4989	765949.4843	4641183.2330	0.0002	0.0001	0.0002
KRBG	4272759.5679	801695.7920	4654492.0095	0.0002	0.0001	0.0002
KTZ2	4224584.0257	925701.8992	4674712.5609	0.0002	0.0001	0.0002
MABZ	4309779.2256	802742.2231	4618682.4727	0.0002	0.0001	0.0002

MAGA	4380684.0475	822124.2125	4548808.7723	0.0002	0.0001	0.0002
MITT	4299917.7451	858792.1314	4619535.6510	0.0002	0.0001	0.0002
MOCA	4347718.6027	856412.3218	4573643.5209	0.0002	0.0001	0.0002
MUEN	4231864.3553	886576.2310	4674009.5771	0.0002	0.0001	0.0002
PARR	4373015.9036	859777.4106	4548614.9748	0.0002	0.0001	0.0002
PASS	4328740.9406	912367.8148	4581147.0228	0.0002	0.0001	0.0002
PAT2	4255735.8185	862759.9815	4659191.4050	0.0002	0.0001	0.0002
PEJO	4333953.3947	816990.9462	4594383.1179	0.0002	0.0001	0.0002
PILA	4299815.7251	906598.7864	4610252.0510	0.0002	0.0001	0.0002
POZZ	4314122.2417	891973.8982	4598763.8306	0.0002	0.0001	0.0002
PRET	4260259.9490	911220.2076	4645374.7731	0.0002	0.0001	0.0002
RONC	4363440.3708	822099.6461	4564653.6119	0.0002	0.0001	0.0002
ROVE	4364680.5058	851736.9293	4557204.9866	0.0002	0.0001	0.0002
SARN	4322413.1313	851285.4525	4598217.8062	0.0002	0.0001	0.0002
SILL	4276497.1359	941839.2208	4623379.3331	0.0002	0.0001	0.0002
SPER	4344045.7060	884551.7710	4571036.8861	0.0002	0.0001	0.0002
STBZ	4280131.5503	865015.0044	4634805.2665	0.0002	0.0001	0.0002
TREN	4348066.7971	854501.9304	4572459.5012	0.0002	0.0001	0.0002

Tab. 2 – Coordinate cartesiane finali nel Sistema ITRF05 all'epoca 2010.0 e relativi e.q.m.

Gli errori quadratici medi associati dal calcolo di compensazione alle coordinate (Tab. 2) risultano di entità molto piccola: frazioni di millimetro. Questi valori sono in realtà sottostimati a causa dell'applicazione di modelli puramente stocastici a variabili che invece presentano correlazioni e sistematismi ineliminabili.

Per determinare un valore più realistico delle precisioni raggiunte nella definizione delle posizioni dei punti è stata valutata la ripetibilità fra le 14 sessioni, calcolando la standard deviation dei risultati giornalieri. In tabella 3 sono riportate le coordinate geografiche nel sistema ITRF2005 all'epoca 2010.0 (equivalenti alla cartesiane di tabella 2) e le relative standard deviation calcolate come sopra descritto (in carattere grassetto la stazioni fiduciarie utilizzate per l'allineamento al sistema).

Stazioni	Latitudine	Longitudine	Quota	σ Nord	σ Est	σ Quota	Vettore
			[m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
GENO	44°.25' 09.7979"	08°.55' 16.1200"	155.534	0.9	1.4	3.2	3.6
GRAS	43°.45' 17.0587"	06°.55' 14.0681"	1319.319	2.0	1.4	4.5	5.1
GRAZ	47°.04' 01.6704"	15°.29' 36.5340"	538.290	0.9	0.6	4.9	5.0
MEDI	44°.31' 11.8490"	11°.38' 48.5386"	50.024	1.6	1.1	3.4	3.9
PADO	45°.24' 40.1559"	11°.53' 45.8280"	64.707	1.5	0.8	3.0	3.4
WTZR	49°.08' 39.1169"	12°.52' 44.0800"	666.017	1.6	0.9	2.2	2.9
ZIMM	46°.52' 37.5537"	07°.27' 55.0010"	956.343	2.0	1.6	4.2	4.9
ARD2	46°.46' 34.9862"	10°.12' 17.1101"	1546.452	2.1	2.3	4.8	5.7
BRBZ	46°.47' 47.5965"	11°.56' 28.8302"	903.769	1.0	1.1	3.4	3.7
BZRG	46°.29' 56.4886"	11°.20' 12.4729"	329.137	0.8	0.8	4.1	4.3
FDOS	46°.18' 14.2137"	11°.43' 25.6705"	1889.325	1.5	0.8	2.9	3.4
HFL2	47°.18' 46.4605"	11°.23' 09.9367"	2383.972	1.4	0.8	4.0	4.3
KOP2	46°.58' 26.2295"	10°.06' 55.5660"	1906.575	1.3	1.6	3.6	4.1
KRBG	47°.08' 46.4280"	10°.37' 36.5649"	2258.036	1.0	0.9	2.9	3.2
KTZ2	47°.25' 05.6716"	12°.21' 34.0561"	1847.845	1.4	0.6	3.5	3.8
MABZ	46°.41' 09.5632"	10°.33' 03.7487"	1092.072	0.9	1.4	2.5	3.0
MAGA	45°.46' 31.3461"	10°.37' 44.6884"	1311.623	0.9	0.8	2.5	2.8

MITT	46°.41' 06.4177"	11°.17' 40.8004"	2356.268	5.7	1.9	9.4	11.2
MOCA	46°.05' 53.2313"	11°.08' 36.3904"	1147.201	1.2	0.9	3.3	3.6
MUEN	47°.25' 16.0189"	11°.49' 56.4488"	599.431	1.2	0.8	2.9	3.2
PARR	45°.46' 36.8507"	11°.07' 22.9202"	875.755	1.7	1.0	6.2	6.5
PASS	46°.11' 34.7749"	11°.54' 07.2552"	1418.687	0.9	1.6	4.4	4.8
PAT2	47°.12' 28.8129"	11°.27' 36.6680"	2298.339	1.0	1.9	2.7	3.4
PEJO	46°.21' 48.2849"	10°.40' 31.8544"	1612.681	1.6	2.4	3.9	4.9
PILA	46°.33' 56.1520"	11°.54' 22.2986"	2141.706	1.4	1.1	3.7	4.1
POZZ	46°.25' 21.4222"	11°.40' 54.0760"	1392.508	1.0	0.9	2.4	2.8
PRET	47°.01' 44.9829"	12°.04' 22.7661"	1912.768	1.8	1.6	3.4	4.2
RONC	45°.59' 02.6276"	10°.40' 11.3178"	885.438	1.1	1.0	3.4	3.7
ROVE	45°.53' 36.6218"	11°.02' 31.5707"	261.693	1.4	0.6	3.1	3.5
SARN	46°.25' 07.4398"	11°.08' 29.8578"	1049.694	1.3	0.7	4.1	4.4
SILL	46°.44' 49.7688"	12°.25' 13.1631"	1138.860	1.1	1.0	5.6	5.8
SPER	46°.04' 09.7729"	11°.30' 33.9982"	604.828	1.1	1.3	2.6	3.1
STBZ	46°.53' 53.7086"	11°.25' 32.1038"	1043.750	1.2	0.9	4.7	4.9
TREN	46°.05' 27.2749"	11°.07' 06.0098"	275.299	1.0	0.9	4.0	4.2

Tab. 3 - Coordinate geografiche finali nel Sistema ITRF05 all'epoca 2010.0 ed errori calcolati con il criterio della ripetibilità.

5. Trasformazione del risultato in ETRF2000

Per il trasporto delle coordinate nel Sistema convenzionale ETRF2000 è stata utilizzata la strategia B1 pubblicata della nota **"Note on ETRS89 Realization – Zuheir Altamimi – March 14, 2008"** annessa alla pubblicazione [3], che porta ad ottenere le ETRF2000, mantenendo invariata l'epoca di riferimento (epoca delle osservazioni), tramite 2 step successivi: passaggio da ITRF2005 a ITRF2000 e da ITRF2000 a ETRF2000. I parametri, considerati complessivamente, valgono:

	<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>D</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>	<i>epoca</i>
	[mm]	[mm]	[mm]	[10 ⁻⁹]	[mas]	[mas]	[mas]	
	54.1	50.2	-53.8	0.40	0.891	5.390	-8.712	2000:001
/y	-0.2	0.1	-1.8	0.08	0.081	0.490	-0.792	
	52.1	51.2	-71.8	1.2	1.701	10.29	-16.632	2010:001

Applicando alle coordinate ITRF2005 di tabella 2 la trasformazione:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRF2000(2010.0)} = (1 + K_{(2010.0)}) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF2005(2010.0)} + \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}_{(2010.0)}$$

ed utilizzando i parametri sopra riportati, sono state calcolate le posizioni in ETRF2000 all'epoca 2010.0, riportate in tabella 4 sia in coordinate cartesiane che geografiche.

Stazioni	X [m]	Y [m]	Z [m]	Latitudine	Longitudine	Quota [m]
GENO	4507892.5918	707621.2271	4441603.2875	44° 25' 09.7850'	08° 55' 16.1021'	155.533
GRAS	4581691.1615	556114.5749	4389360.5662	43° 45' 17.0457'	06° 55' 14.0507'	1319.318
GRAZ	4194424.1173	1162702.4581	4647245.1997	47° 04' 01.6578'	15° 29' 36.5144'	538.288
MEDI	4461401.0115	919593.3332	4449504.5469	44° 31' 11.8362'	11° 38' 48.5201'	50.024
PADO	4388882.3081	924567.2141	4519588.5217	45° 24' 40.1431'	11° 53' 45.8093'	64.705
WTZR	4075580.8400	931853.5626	4801567.9152	49° 08' 39.1042'	12° 52' 44.0607'	666.010
ZIMM	4331297.3347	567555.6323	4633133.7204	46° 52' 37.5407'	07° 27' 54.9833'	956.337
ARD2	4307656.2536	775438.2010	4625902.1773	46° 46' 34.9733'	10° 12' 17.0917'	1546.447
BRBZ	4280148.8926	905194.4119	4626969.3475	46° 47' 47.5837'	11° 56' 28.8114'	903.766
BZRG	4312657.7728	864634.4059	4603844.2314	46° 29' 56.4758'	11° 20' 12.4543'	329.134
FDOS	4323151.5808	897153.9998	4590017.8410	46° 18' 14.2009'	11° 43' 25.6518'	1889.322
HFL2	4248505.2152	855575.4760	4667171.9458	47° 18' 46.4477'	11° 23' 09.9180'	2383.967
KOP2	4293316.8494	765949.1520	4641182.9589	46° 58' 26.2166'	10° 06' 55.5476'	1906.570
KRBG	4272759.9220	801695.4612	4654491.7367	47° 08' 46.4152'	10° 37' 36.5463'	2258.031
KTZ2	4224584.3908	925701.5723	4674712.2916	47° 25' 05.6589'	12° 21' 34.0371'	1847.841
MABZ	4309779.5780	802741.8897	4618682.1981	46° 41' 09.5504'	10° 33' 03.7302'	1092.068
MAGA	4380684.3981	822123.8739	4548808.4942	45° 46' 31.3332'	10° 37' 44.6700'	1311.621
MITT	4299918.1021	858791.7988	4619535.3773	46° 41' 06.4049'	11° 17' 40.7818'	2356.265
MOCA	4347718.9572	856411.9857	4573643.2448	46° 05' 53.2185'	11° 08' 36.3719'	1147.198
MUEN	4231864.7171	886575.9035	4674009.3071	47° 25' 16.0061'	11° 49' 56.4300'	599.426
PARR	4373016.2572	859777.0727	4548614.6974	45° 46' 36.8379'	11° 07' 22.9017'	875.752
PASS	4328741.3000	912367.4803	4581146.7481	46° 11' 34.7621'	11° 54' 07.2365'	1418.685
PAT2	4255736.1777	862759.6522	4659191.1336	47° 12' 28.8001'	11° 27' 36.6493'	2298.335
PEJO	4333953.7471	816990.6110	4594382.8421	46° 21' 48.2721'	10° 40' 31.8360'	1612.678
PILA	4299816.0855	906598.4540	4610251.7777	46° 33' 56.1393'	11° 54' 22.2799'	2141.702
POZZ	4314122.6003	891973.5647	4598763.5565	46° 25' 21.4094'	11° 40' 54.0573'	1392.505
PRET	4260260.3114	911219.8781	4645374.5019	47° 01' 44.9702'	12° 04' 22.7473'	1912.764
RONC	4363440.7221	822099.3088	4564653.3347	45° 59' 02.6148'	10° 40' 11.2994'	885.435
ROVE	4364680.8592	851736.5920	4557204.7096	45° 53' 36.6090'	11° 02' 31.5522'	261.691
SARN	4322413.4866	851285.1183	4598217.5313	46° 25' 07.4270'	11° 08' 29.8393'	1049.691
SILL	4276497.4997	941838.8902	4623379.0613	46° 44' 49.7560'	12° 25' 13.1442'	1138.856
SPER	4344046.0627	884551.4353	4571036.6104	46° 04' 09.7601'	11° 30' 33.9796'	604.826
STBZ	4280131.9085	865014.6733	4634804.9939	46° 53' 53.6958'	11° 25' 32.0851'	1043.746
TREN	4348067.1514	854501.5943	4572459.2250	46° 05' 27.2621'	11° 07' 05.9913'	275.296

Tab. 4 – Coordinate nel Sistema ETRF2000 all'epoca 2010.0, calcolate con i parametri EUREF.

Al fine di verificare la correttezza nell'applicazione dei parametri EUREF ed anche per valutare esattamente l'influenza della differenza temporale del riferimento (2008.0 per l'RDN e 2010.0 per il presente lavoro) teoricamente insignificante, la trasformazione fra ITRF2005 e ETRF2000 è stata calcolata anche tramite la stima di 7 parametri di rototraslazione di Helmert. I parametri sono stati calcolati ponendo in relazione i due set di coordinate delle 13 stazioni appartenenti sia al presente calcolo che alla RDN; il risultato della trasformazione è riportato in tabella 5.

RISULTATI DELLA TRASFORMAZIONE SPAZIALE						
File dati:		Dati roto			a	1/f
File report:		report	Ellissoide di partenza:	GRS80	6378137	298.2572
File parametri:		parametri	Ellissoide d'arrivo:	GRS80	6378137	298.2572

DATI							
Punto	Lat. part.	Lon. part.	Quota part.	Lat. arrivo	Lon. arrivo	Quota arr.	In calcolo
GENO	44.25097979	8.55161200	155.534	44.25097850	8.55161021	155.531	3
GRAS	43.45170587	6.55140681	1319.319	43.45170457	6.55140507	1319.317	3
GRAZ	47.04016704	15.29365340	538.290	47.04016578	15.29365144	538.292	3
MEDI	44.31118490	11.38485386	50.024	44.31118360	11.38485196	50.030	3
PADO	45.24401559	11.53458280	64.707	45.24401430	11.53458095	64.701	3
ZIMM	46.52375537	7.27550010	956.343	46.52375407	7.27549834	956.332	3
WTZR	49.08391169	12.52440800	666.017	49.08391042	12.52440608	666.026	3
BRBZ	46.47475965	11.56288302	903.769	46.47475834	11.56288118	903.754	3
BZRG	46.29564886	11.20124729	329.137	46.29564757	11.20124543	329.131	3
MABZ	46.41095632	10.33037487	1092.072	46.41095503	10.33037305	1092.049	3
PASS	46.11347749	11.54072552	1418.687	46.11347622	11.54072370	1418.681	3
ROVE	45.53366218	11.02315707	261.693	45.53366089	11.02315524	261.685	3
STBZ	46.53537086	11.25321038	1043.750	46.53536957	11.25320852	1043.741	3
SOLUZIONE CON 7 PARAMETRI							
	Parametri		e.q.m.				
Tx =	0.024	m	0.062		Punti doppi:	13	
Ty =	0.124	m	0.08		Vincoli:	39	
Tz =	-0.061	m	0.067		Ridondanza:	32	
Rx =	-0° 00' 00.0022"		0° 00' 00.0023"				
Ry =	-0° 00' 00.0110"		0° 00' 00.0025"				
Rz =	0° 00' 00.0194"		0° 00' 00.0020"				
S =	0.001	ppm	0.0075				
Errore medio dell'unità di peso:			0.006	m			
RESIDUI DEI PUNTI NEI SISTEMI EULERIANI (metri)							
Punto	Delta Nord	Delta Est	Delta Quota	In calcolo			
GENO	0.002	0.001	0.003	3			
GRAS	0.000	0.000	0.007	3			
GRAZ	0.003	-0.002	0.002	3			
MEDI	-0.003	-0.012	0.009	3			
PADO	0.001	0.001	-0.002	3			
ZIMM	-0.001	0.000	0.000	3			
WTZR	0.003	-0.003	0.016	3			
BRBZ	-0.008	0.005	-0.011	3			
BZRG	0.001	-0.001	0.000	3			
MABZ	-0.002	0.003	-0.016	3			
PASS	0.004	0.008	-0.001	3			
ROVE	-0.002	0.001	-0.003	3			
STBZ	0.001	-0.002	-0.002	3			

Tab. 5 – Calcolo dei parametri di rototraslazione di Helmert fra ITRF2005 e RDN.

I valori statistici del calcolo di trasformazione garantiscono sull'omogeneità dei dati utilizzati: l'errore quadratico medio dell'unità di peso risulta pari a 6 mm, ed i residui sulle coordinate solo in pochissimi casi superano il centimetro. L'applicazione dei parametri alle coordinate ITRF2005 ha consentito il calcolo delle coordinate ETRF2000 con un diverso procedimento; in tabella 6 sono riportati a scopo di confronto, entrambi i risultati.

Staz.	ETRF2000 ottenute con HELMERT			ETRF2000 ottenute con le proced. EUREF			Differenze		
	Latitudine	Longitudine	Quota	Latitudine	Longitudine	Quota	Lat.	Logn.	H
Incogn.			[m]			[m]	[mm]	[mm]	[mm]
ARD2	46° 46' 34.9733"	10° 12' 17.0919"	1546.444	46° 46' 34.9733"	10° 12' 17.0917"	1546.447	-0.002	0.003	0.003
FDOS	46° 18' 14.2008"	11° 43' 25.6519"	1889.320	46° 18' 14.2009"	11° 43' 25.6518"	1889.322	-0.003	0.003	0.002
HFL2	47° 18' 46.4476"	11° 23' 09.9182"	2383.965	47° 18' 46.4477"	11° 23' 09.9180"	2383.967	-0.002	0.003	0.002
KOP2	46° 58' 26.2166"	10° 06' 55.5477"	1906.567	46° 58' 26.2166"	10° 06' 55.5476"	1906.570	-0.002	0.003	0.003

KRBG	47°.08' 46.4151"	10°.37' 36.5465"	2258.028	47°.08' 46.4152"	10°.37' 36.5463"	2258.031	-0.002	0.003	0.003
KTZ2	47°.25' 05.6588"	12°.21' 34.0373"	1847.840	47°.25' 05.6589"	12°.21' 34.0371"	1847.841	-0.003	0.004	0.001
MAGA	45°.46' 31.3332"	10°.37' 44.6701"	1311.618	45°.46' 31.3332"	10°.37' 44.6700"	1311.621	-0.002	0.002	0.003
MITT	46°.41' 06.4048"	11°.17' 40.7819"	2356.263	46°.41' 06.4049"	11°.17' 40.7818"	2356.265	-0.002	0.003	0.002
MOCA	46°.05' 53.2184"	11°.08' 36.3720"	1147.195	46°.05' 53.2185"	11°.08' 36.3719"	1147.198	-0.002	0.002	0.002
MUEN	47°.25' 16.0060"	11°.49' 56.4302"	599.425	47°.25' 16.0061"	11°.49' 56.4300"	599.426	-0.003	0.004	0.001
PARR	45°.46' 36.8378"	11°.07' 22.9017"	875.750	45°.46' 36.8379"	11°.07' 22.9017"	875.752	-0.002	0.002	0.003
PAT2	47°.12' 28.8000"	11°.27' 36.6495"	2298.333	47°.12' 28.8001"	11°.27' 36.6493"	2298.335	-0.002	0.003	0.002
PEJO	46°.21' 48.2721"	10°.40' 31.8361"	1612.675	46°.21' 48.2721"	10°.40' 31.8360"	1612.678	-0.002	0.003	0.003
PILA	46°.33' 56.1392"	11°.54' 22.2800"	2141.701	46°.33' 56.1393"	11°.54' 22.2799"	2141.702	-0.003	0.003	0.002
POZZ	46°.25' 21.4093"	11°.40' 54.0574"	1392.503	46°.25' 21.4094"	11°.40' 54.0573"	1392.505	-0.003	0.003	0.002
PRET	47°.01' 44.9701"	12°.04' 22.7474"	1912.763	47°.01' 44.9702"	12°.04' 22.7473"	1912.764	-0.003	0.003	0.001
RONC	45°.59' 02.6147"	10°.40' 11.2995"	885.432	45°.59' 02.6148"	10°.40' 11.2994"	885.435	-0.002	0.002	0.003
SARN	46°.25' 07.4269"	11°.08' 29.8394"	1049.688	46°.25' 07.4270"	11°.08' 29.8393"	1049.691	-0.002	0.003	0.002
SILL	46°.44' 49.7559"	12°.25' 13.1443"	1138.855	46°.44' 49.7560"	12°.25' 13.1442"	1138.856	-0.003	0.003	0.001
SPER	46°.04' 09.7600"	11°.30' 33.9797"	604.823	46°.04' 09.7601"	11°.30' 33.9796"	604.826	-0.003	0.002	0.002
TREN	46°.05' 27.2620"	11°.07' 05.9914"	275.294	46°.05' 27.2621"	11°.07' 05.9913"	275.296	-0.002	0.002	0.002

Tab. 6 – Confronto sui punti incogniti fra le ETR2000 ottenute con le relazioni di Helmert e quelle calcolate con i parametri EUREF.

Il confronto evidenzia l'equivalenza dei due procedimenti e conferma la correttezza del risultato ottenuto: le differenze non superano i 3 mm, valore largamente inferiore alla precisione della RDN. Si notano comunque differenze di segno uguale e valore simile che, anche se di entità trascurabile, possono acquisire qualche significato poiché comuni a tutte le stazioni. Esse sono dovute, probabilmente, in parte alla differenza temporale del riferimento (le coordinate derivanti da Helmert sono riferite al 2008.0, le altre al 2010.0), ed in parte alla procedura di aggiornamento temporale dei parametri EUREF che utilizza velocità stimate con dati del passato, ed obbliga quindi al calcolo dei valori attuali in estrapolazione.

Benché i due set di coordinate siano sostanzialmente equivalenti, si ritiene opportuno l'impiego delle coordinate ottenute con la rototraslazione di Helmert, perché più vicine alla rete RDN, che costituisce la materializzazione ufficiale del riferimento globale in Italia, contesto nel quale le reti oggetto del calcolo devono operare.

In definitiva si riportano in tabella 7 i risultati finali delle posizioni della rete calcolata in ETRF2000 all'epoca 2008.0.

Stazioni	Coordinate ETRF2000 epoca 2008.0 (Compatibili con RDN)		
	Latitudine	Logitudine	Quota
GENO	44°.25' 09.7850"	08°.55' 16.1021"	155.531
GRAS	43°.45' 17.0457"	06°.55' 14.0507"	1319.317
GRAZ	47°.04' 01.6578"	15°.29' 36.5144"	538.292
MEDI	44°.31' 11.8360"	11°.38' 48.5196"	50.030
PADO	45°.24' 40.1430"	11°.53' 45.8095"	64.701
WTZR	49°.08' 39.1042"	12°.52' 44.0608"	666.026
ZIMM	46°.52' 37.5407"	07°.27' 54.9834"	956.332
ARD2	46°.46' 34.9733"	10°.12' 17.0919"	1546.444
BRBZ	46°.47' 47.5834"	11°.56' 28.8118"	903.754
BZRG	46°.29' 56.4757"	11°.20' 12.4543"	329.131
FDOS	46°.18' 14.2008"	11°.43' 25.6519"	1889.320

HFL2	47°.18' 46.4476"	11°.23' 09.9182"	2383.965
KOP2	46°.58' 26.2166"	10°.06' 55.5477"	1906.567
KRBG	47°.08' 46.4151"	10°.37' 36.5465"	2258.028
KTZ2	47°.25' 05.6588"	12°.21' 34.0373"	1847.840
MABZ	46°.41' 09.5503"	10°.33' 03.7305"	1092.049
MAGA	45°.46' 31.3332"	10°.37' 44.6701"	1311.618
MITT	46°.41' 06.4048"	11°.17' 40.7819"	2356.263
MOCA	46°.05' 53.2184"	11°.08' 36.3720"	1147.195
MUEN	47°.25' 16.0060"	11°.49' 56.4302"	599.425
PARR	45°.46' 36.8378"	11°.07' 22.9017"	875.750
PASS	46°.11' 34.7622"	11°.54' 07.2370"	1418.681
PAT2	47°.12' 28.8000"	11°.27' 36.6495"	2298.333
PEJO	46°.21' 48.2721"	10°.40' 31.8361"	1612.675
PILA	46°.33' 56.1392"	11°.54' 22.2800"	2141.701
POZZ	46°.25' 21.4093"	11°.40' 54.0574"	1392.503
PRET	47°.01' 44.9701"	12°.04' 22.7474"	1912.763
RONC	45°.59' 02.6147"	10°.40' 11.2995"	885.432
ROVE	45°.53' 36.6089"	11°.02' 31.5524"	261.685
SARN	46°.25' 07.4269"	11°.08' 29.8394"	1049.688
SILL	46°.44' 49.7559"	12°.25' 13.1443"	1138.855
SPER	46°.04' 09.7600"	11°.30' 33.9797"	604.823
STBZ	46°.53' 53.6957"	11°.25' 32.0852"	1043.741
TREN	46°.05' 27.2620"	11°.07' 05.9914"	275.294

Tab. 7 – Coordinate finali in ETRF2000 all'epoca 2008.0.

Firenze, 16 settembre 2011

Funz. Informatico Lucia Baroni

Lucia Baroni

Il Capo Servizio Geodetico
Funz. Tecn. Cart. Renzo Maseroli

Renzo Maseroli

Bibliografia

1. *The Use of the IGS/EUREF Permanent Network for EUREF Densification Campaigns*, W. Gurtner et al., EUREF Publication No. 6, EUREF Symposium Sofia 1997
2. *EPN analysis update*, Habrich H., EUREF Publication No. 14, EUREF Symposium Bratislava 2004
3. *Note on ETRS89 Realization – Zuheir Altamimi – March 14, 2008* annesso alla pubblicazione *How will ETRS89 be realized in the future?* Johannes Ihde, Wertner Gurtner, Jens Luthardt – March 26, 2008

Caratteristiche Hardware delle stazioni e offset delle antenne

	<i>Stazione</i>		<i>Hardware</i>		<i>Offset dell'antenna</i>		
	<i>Sigla</i>	<i>Località</i>	<i>Ricevitore</i>	<i>Antenna</i>	ΔN	ΔE	ΔU
1	GENO	GENOVA	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000	0.0000	0.0000
2	GRAS	CAUSSOLS	ASHTech UZ- 12	ASH701945E_M	0.0000	0.0000	0.0350
3	GRAZ	GRAZ	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00	0.0000	0.0000	1.9640
4	MEDI	MEDICINA	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	0.0000	0.0000	0.0000
5	PADO	PADOVA	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00	0.0000	0.0000	0.0000
6	WTZR	WETTZELL	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAR25 LEIT	0.0000	0.0000	0.0710
7	ZIMM	ZIMMERWALD	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00	0.0000	0.0000	0.0000
8	ARD2	ARDEZ	TRIMBLE NETRS5	TRM59800.00	0.0000	0.0000	0.0000
9	BRBZ	BRUNICO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
10	BZRG	BOLZANO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.2120
11	FDOS	PREDAZZO	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000	0.0000	0.0000
12	HFL2	HAFELEKAR	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00 OLGA	0.0000	0.0000	0.1670
13	KOP2	KOPS	LEICA SR520	LEIAT504 BEVA	0.0000	0.0000	0.1750
14	KRBG	KRAHBERG	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00 BEVA	0.0000	0.0000	0.0500
15	KTZ2	KITZBUEHEL	TPS E_GGD	TPSCR3_GGD OLGA	0.0000	0.0000	0.1640
16	MABZ	MALLES	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
17	MAGA	MAGASA	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 SCIT	0.0000	0.0000	0.0083
18	MITT	SARENTINO	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504 LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
19	MOCA	MONTE CALISIO	LEICA GRX1200PRO	LEIAT504	0.0000	0.0000	0.0000
20	MUEN	MUENSTER	LEICA SR520	LEIAT504 BEVA	0.0000	0.0000	0.0300
21	PARR	PARROCCHIA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
22	PASS	PASSO CEREDA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
23	PAT2	PATSCH	TRIMBLE 4000	TRM29659.00 OLGA	0.0000	0.0000	0.1660
24	PEJO	PEJO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
25	PILA	PIZ LA ILA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAX1202GG	0.0000	0.0000	0.0000

26	POZZ	POZZA DI FASSA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
27	PRET	PREDOI	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAX1202GG	0.0000	0.0000	0.0000
28	RONC	RONCONE	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
29	ROVE	ROVERETO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0940
30	SARN	SARNONICO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
31	SILL	SILLIAN	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00 TZGD	0.0000	0.0000	0.0500
32	SPER	SPERA	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
33	STBZ	VIPITENO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000
34	TREN	TRENTO	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG LEIS	0.0000	0.0000	0.0000