



ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE

Direzione Geodetica

RELAZIONE SUL CALCOLO DELLA RETE DI STAZIONI PERMANENTI GNSS “MARUSSI” DELLA REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA (Marzo 2025)

1. Caratteristiche della rete e finalità del calcolo

Il presente calcolo ha lo scopo di fornire la posizione delle stazioni della rete GNSS della regione Friuli Venezia Giulia (FVG), denominata rete Marussi. La rete è costituita da 12 stazioni permanenti: AMPE, BARC, BEVA, CERV, GORI, MOGG, PAUL, PORD, SAPP, TARV, TRSE, UDIN. Oltre a queste stazioni si è determinata anche la posizione della stazione CODR della rete Frednet OGS e delle tre stazioni BOVC IDRI e KOPR facenti parte della rete slovena denominata SIGNAL. La procedura di calcolo consiste dapprima nel calcolare la posizione delle stazioni nel contesto di un riferimento mondiale riconosciuto e successivamente convertire nel sistema nazionale attualmente in uso in Italia: il frame ETRF2000 epoca 2008.0, divenuto Riferimento ufficiale nazionale a seguito del DPCM del 10/11/2011 e materializzato dalla Rete Dinamica Nazionale (RDN) [1].

2. Strategia di calcolo e stazioni fiduciarie

Secondo le linee guida dell'EUREF [2] la strategia di calcolo della rete consiste nel determinare le posizioni nel sistema IGS20 e trasformare successivamente le coordinate in ETRF2000 attraverso l'applicazione dei parametri di rototraslazione pubblicati nella nota tecnica EUREF di Altamimi et alii [3]. Il calcolo è quindi stato eseguito trattando le osservazioni delle stazioni della rete Marussi unitamente ad un sottoinsieme adeguato di stazioni della rete RDN e della rete europea EPN (EUREF Permanent Network) in modo da garantire robustezza al processo di stima delle coordinate. Alle 16 stazioni suddette sono state quindi aggiunte 21 stazioni situate intorno all'area geografica di interesse, costituendo così un network di 37 stazioni permanenti. Tra queste, le stazioni ACOM, BRBZ, GRAZ, MABZ, MEDI, PADO, PASS, ROVE, STBZ, TRIE, UDI1, WTZR, ZOUF fanno parte dell'impianto originale della rete RDN, mentre le stazioni BSVZ, BZR2, EKAR, GARI, GSR1, PFA3 e TREU appartengono alla rete EPN e sono incluse nel nuovo layout della rete RDN. Come stazioni di riferimento per la compensazione finale sono state selezionate GRAZ, MEDI e WTZR che sono comprese nella soluzione ufficiale IGS20; per rendere più efficace l'inquadramento si sono però aggiunte anche altre stazioni, GARI, GSR1, PADO, PFA3, VEN1, ZOUF, che appartengono alla rete europea EPN e che sono incluse in una soluzione ibrida IGS20 pubblicata da EUREF [4] e valida per periodi successivi a Novembre 2022.

Per le stazioni di riferimento le coordinate ottenute dalle soluzioni suddette e riferite all'epoca 2015.0 sono state propagate all'epoca di interesse per mezzo delle velocità facenti parte delle soluzioni stesse.

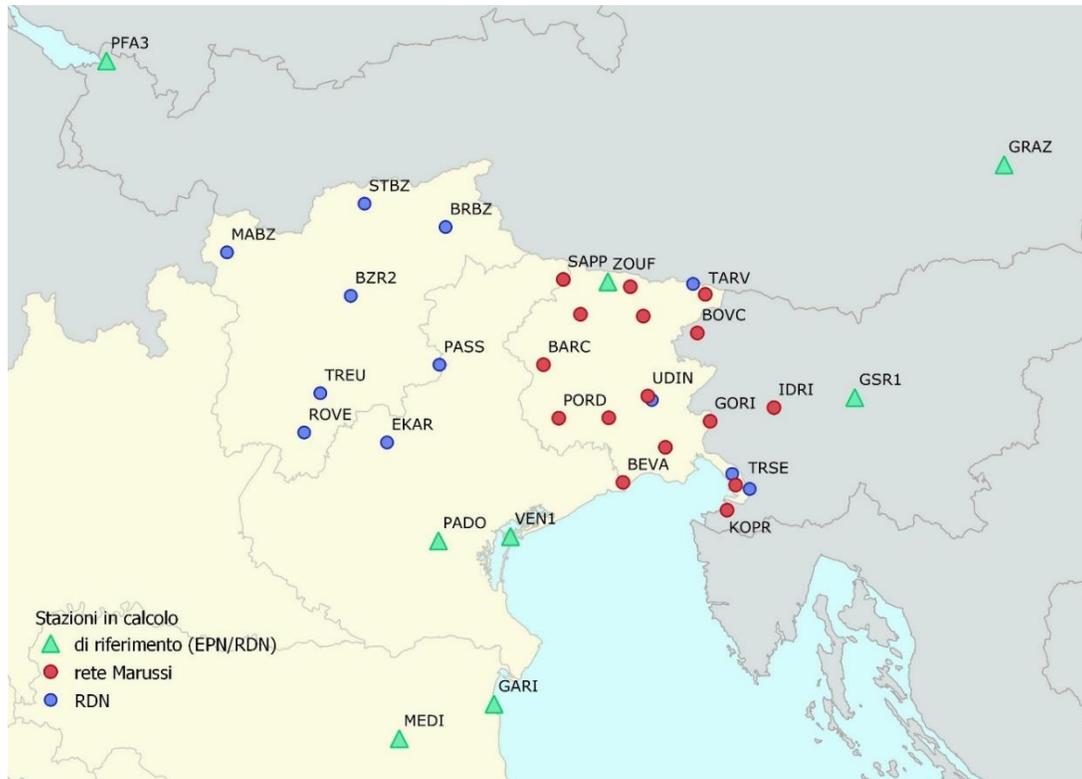


Fig. 1 - Stazioni in calcolo

3. Compensazione della rete Marussi nel sistema IGS20

Il calcolo, eseguito con il software Bernese 5.4, ha trattato le osservazioni GNSS relative a 21 sessioni giornaliere consecutive, fornite per le stazioni della rete Marussi in formato RINEX 3.04 dalla Regione stessa, e riguardanti il periodo 22 dicembre 2024 - 11 gennaio 2025, corrispondente ai giorni giuliani dal 357 dell'anno 2024 al 11 del 2025, ed alle settimane GPS dalla 2346 alla 2348. Nelle settimane indicate si ha una piena disponibilità dei dati di tutte le stazioni oggetto del calcolo ad eccezione della stazione BZR2 che il 27 dicembre ha registrato solo 720 epoche e che quindi è stata esclusa dal calcolo per la relativa sessione giornaliera.

L'elaborazione è stata condotta utilizzando i prodotti IGS20 distribuiti da IGS come, ad esempio, il file di calibrazione delle antenne IGS20.atx e le effemeridi precise dei satelliti. Inoltre, per tenere conto dei principali fenomeni fisici che influenzano le misure GNSS, sono stati utilizzati opportuni modelli matematici; in particolare le maree terrestri per le stazioni della rete sono state stimate attraverso il modello globale FES2014, mentre per lo spostamento del Polo terrestre sono state utilizzate le elaborazioni pubblicate sul sito del centro di calcolo CODE dell'Università di Berna.

La determinazione delle posizioni delle stazioni nel sistema IGS20 è avvenuta in due fasi: la prima consistente nel calcolo delle 21 soluzioni giornaliere della rete, relative alle sessioni di

osservazione suddette, espresse sotto forma di equazioni normali; la seconda relativa alla compensazione finale delle equazioni normali ottenute.

Le soluzioni giornaliere sono state calcolate con la procedura standard prevista dall'Istituto Astronomico di Berna (AIUB), distributore del software Bernese. In particolare, per rappresentare la troposfera è stato utilizzato il modello Vienna Mapping Function (VMF3) inserendo nel calcolo le griglie contenenti i relativi coefficienti disponibili nel Data Center VMF (<https://vmf.geo.tuwien.ac.at/>). Le ambiguità di fase sono state risolte con varie metodologie selezionate in relazione alla distanza tra le stazioni di una baseline. La soluzione per la singola sessione giornaliera è frutto di una compensazione multistazione con modellizzazione corretta delle correlazioni tra le baseline (modulo GPSEST) e ambiguità fissate a numeri interi; per questa fase sono state adottate le seguenti impostazioni:

- cut off delle osservazioni fissato a 3° ;
- sampling di 180 secondi;
- utilizzo della combinazione di fase L3 libera dalla ionosfera;
- modello a priori per la troposfera DRY VMF3;
- stima dei parametri specifici di ritardo troposferico utilizzando la funzione "WET VMF3" consistente con il modello a priori suddetto;
- stima del gradiente orizzontale troposferico specifico per ogni stazione con il modello di Chen e Herring (CHENHER);
- ogni stazione è stata vincolata in maniera *loose* alle coordinate a priori con i seguenti valori: σ_{Nord} , σ_{Est} e $\sigma_{\text{Up}} = 0.1 \text{ m}$.

Questa strategia di calcolo permette di non fissare la posizione delle stazioni alle coordinate a priori in modo da consentire l'inquadramento della rete nella fase successiva. In figura 2 sono riportati l'RMS e il Chi^2 per le 21 equazioni normali ottenute, i cui valori indicano la bontà del procedimento.

La seconda fase di calcolo è stata eseguita utilizzando il modulo ADDNEQ2 del software Bernese, combinando insieme le 21 equazioni normali con il metodo dei minimi vincoli (3 traslazioni) sulle posizioni delle stazioni di riferimento suddette. In questa fase sono state ricercate eventuali soluzioni per le singole stazioni considerate outlier secondo il seguente criterio: errore quadratico medio maggiore di 10 mm in coordinata Nord e Est, e maggiore di 20 mm in Up; è stata individuata una sola soluzione outlier per la stazione BSVZ il 23/12/2024 che è stata quindi rimossa dal calcolo per quella sessione.

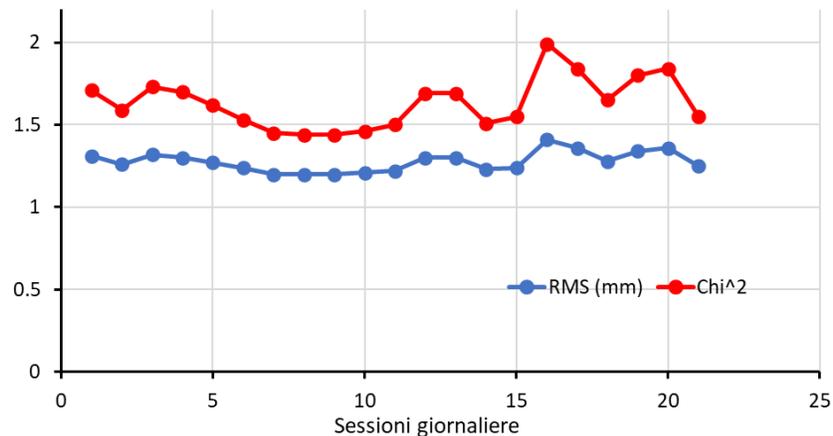


Fig. 2 - RMS (mm) e Chi² delle equazioni normali delle varie sessioni giornaliere.

Il risultato della compensazione è dato dalle coordinate finali della rete espresse nel sistema IG20 e temporalmente riferite al momento centrale del periodo trattato, cioè al giorno giuliano 1 dell'anno 2025, ovvero al 1° gennaio 2025, **epoca 2025.0**. Per stimare la precisione raggiunta nella definizione delle posizioni delle stazioni è stata valutata la ripetibilità dei risultati fra le 21 sessioni giornaliere, sempre utilizzando il modulo ADDNEQ2 del Bernese. In figura 3 è riportata la graficizzazione dei risultati ottenuti per le stazioni della rete Marussi: la massima discordanza, pari a 5.2 mm, è stata riscontrata sulla direzione Up della stazione PAUL, mentre in planimetria tutte le deviazioni risultano inferiori a 3 mm.

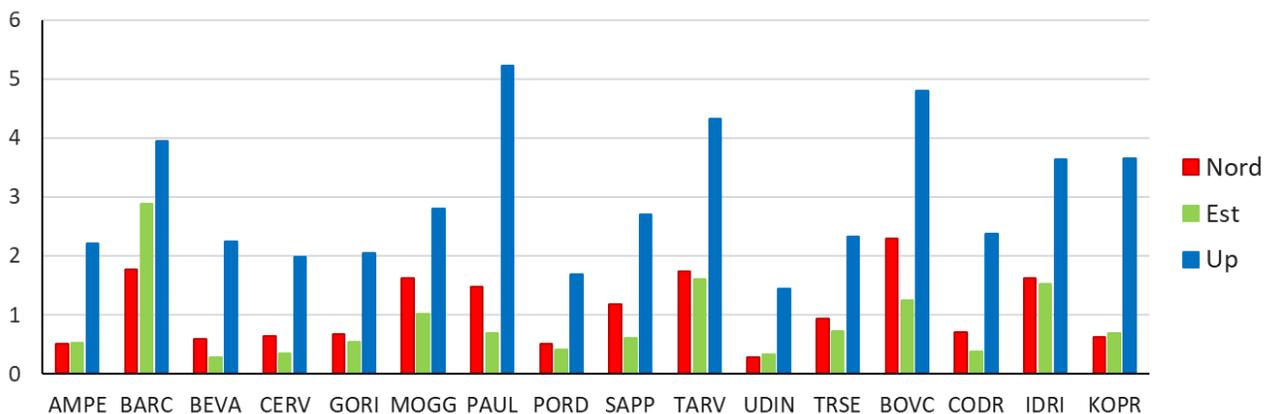


Fig. 3 - Ripetibilità in mm delle varie posizioni determinate con le 21 soluzioni giornaliere.

Di seguito in tabella 1 si riportano le coordinate finali in IG20 (2025.0) per le stazioni della rete Marussi.

Marker	X (m)	Y (m)	Z (m)	Latitudine	Longitudine	Quota (m)	ΔN (mm)	ΔE (mm)	ΔUp (mm)
AMPE	4296007.155	975953.370	4597595.949	46.41471415	12.79904237	616.471	0.5	0.5	2.2
BARC	4317307.171	962155.055	4580512.970	46.19310233	12.56362509	528.447	1.8	2.9	4.0
BEVA	4348870.025	1009568.096	4539875.436	45.67189534	13.06943020	50.070	0.6	0.3	2.3
BOVC	4289323.530	1033109.476	4591205.293	46.33262741	13.54210043	485.866	2.3	1.2	4.8
CERV	4331989.693	1027163.644	4551982.863	45.82791545	13.33913408	59.657	0.6	0.3	2.0
CODR	4328221.950	997585.968	4562110.744	45.95853437	12.97910036	91.875	0.7	0.4	2.4
GORI	4317946.836	1046521.682	4560978.070	45.94330557	13.62382018	153.413	0.7	0.6	2.1
IDRI	4305896.217	1075956.733	4565802.033	46.00365490	14.02976455	378.515	1.6	1.5	3.6
KOPR	4346453.434	1062067.655	4530292.002	45.54846437	13.73130831	68.676	0.6	0.7	3.7
MOGG	4289567.794	1005971.917	4596811.947	46.40673947	13.19826391	377.960	1.6	1.0	2.8
PAUL	4281149.249	997510.392	4606930.408	46.53544892	13.11594172	741.797	1.5	0.7	5.2
PORD	4333820.162	973585.964	4561967.783	45.95677844	12.66121006	81.752	0.5	0.4	1.7
SAPP	4286330.347	965163.795	4609797.695	46.56737192	12.68979137	1329.252	1.2	0.6	2.7
TARV	4275304.558	1033723.856	4604417.759	46.50242064	13.59264183	761.151	1.7	1.6	4.3
TRSE	4336872.757	1064122.659	4539047.580	45.66025898	13.78610097	156.297	0.9	0.7	2.3
UDIN	4316422.655	1014589.299	4569607.582	46.05481142	13.22744407	180.566	0.3	0.3	1.5

Tab. 1 - Coordinate della rete Marussi in IGS20 epoca 2025.0 con la ripetibilità per ogni componente.

4. Trasformazione delle coordinate nel Sistema convenzionale ETRF2000

Le coordinate determinate in IGS20 sono state trasformate nel sistema ETRF2000 applicando i parametri di rototraslazione forniti da IGS/EUREF [2] ed aggiornati all'epoca del calcolo, 2025.0. Il risultato della trasformazione è riportato in tabella 2.

Marker	X (m)	Y (m)	Z (m)	Latitudine	Longitudine	Quota (m)
AMPE	4296007.752	975952.766	4597595.511	46.41470852	12.79903299	616.464
BARC	4317307.765	962154.449	4580512.531	46.19309669	12.56361575	528.440
BEVA	4348870.622	1009567.486	4539874.994	45.67188971	13.06942084	50.064
BOVC	4289324.135	1033108.874	4591204.857	46.33262179	13.54209099	485.859
CERV	4331990.294	1027163.037	4551982.423	45.82790982	13.33912469	59.650
CODR	4328222.548	997585.360	4562110.304	45.95852873	12.97909100	91.869
GORI	4317947.440	1046521.076	4560977.631	45.94329995	13.62381075	153.407
IDRI	4305896.825	1075956.129	4565801.596	46.00364930	14.02975508	378.509
KOPR	4346454.037	1062067.046	4530291.561	45.54845876	13.73129889	68.671
MOGG	4289568.395	1005971.315	4596811.511	46.40673385	13.19825449	377.953

PAUL	4281149.850	997509.790	4606929.972	46.53544329	13.11593230	741.789
PORD	4333820.756	973585.356	4561967.343	45.95677280	12.66120072	81.745
SAPP	4286330.944	965163.192	4609797.258	46.56736628	12.68978200	1329.244
TARV	4275305.164	1033723.255	4604417.324	46.50241502	13.59263237	761.144
TRSE	4336873.361	1064122.050	4539047.140	45.66025336	13.78609154	156.292
UDIN	4316423.255	1014588.693	4569607.144	46.05480579	13.22743467	180.559

Tab. 2 - Coordinate della rete Marussi in ETRF2000 epoca 2025.0.

Il sistema convenzionale ufficialmente adottato dall'Italia è il sistema di riferimento ETRF2000 epoca 2008.0; di conseguenza a questo punto sarebbe necessario applicare alle coordinate finali le velocità dei vari siti calcolate in ETRF2000 al contrario, per riportare la soluzione all'epoca 2008.0. Tale operazione non risulta però possibile per vari motivi.

Innanzitutto, non essendo note le velocità delle stazioni oggetto del calcolo, queste andrebbero calcolate tramite interpolazione. Pur supponendo che il nostro territorio abbia nei movimenti un comportamento assimilabile ad un corpo rigido e che quindi sia lecito stimare le velocità orizzontali per interpolazione, certamente non lo è per quelle verticali, che risultano al contrario scarsamente correlate.

Anche il metodo del confronto diretto fra le posizioni IGS20 e quelle ufficiali RDN, e la conseguente stima dei 7 parametri di rototraslazione, risulta affetto dalle stesse problematiche, e non porta quindi a risultati migliori, considerando oltretutto il notevole lasso temporale tra l'epoca del calcolo e il 2008.0.

Infine si deve tenere presente che la finalità di questo calcolo è quella di fornire la posizione delle stazioni per il funzionamento ottimale di una rete NRTK, posizione che quindi non può discostarsi troppo dalla realtà fisica.

A seguito delle considerazioni su scritte si ritiene quindi che la miglior strategia per l'inquadramento delle coordinate nel sistema di riferimento nazionale consista nell'applicazione dei parametri EUREF per il passaggio al frame ETRF2000 all'epoca corrente ottenendo in questo modo posizioni coerenti con la realtà fisica rappresentata dall'ultima realizzazione del sistema internazionale IGS, ovvero l'IGS20.

Le coordinate ETRF2000 epoca 2025.0 riportate in tabella 2 sono quindi da ritenersi quelle finali.

Funz. Tec. Inf. Lucia Baroni



Col.ing. Claudio Panizzi



Bibliografia

- [1] Baroni L., Cauli F., Donatelli D., Farolfi G., Maseroli R. (2009), “*Final results of the Italian Rete Dinamica Nazionale (RDN) of Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) and its alignment to ETRF2000*”, Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, anno LXVIII, n. 3
- [2] J. Legrand , C. Bruyninx, Z. Altamimi, A. Caporali, A. Kenyeres, M. Lidberg, “*Guidelines for EUREF Densifications*”
https://www.epncb.oma.be/_documentation/guidelines/Guidelines_for_EUREF_Densifications.pdf
- [3] Zuheir Altamimi and Xavier Collilieux “*EUREF Technical Note 1: Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems*”
<http://etrs89.ensg.ign.fr/pub/EUREF-TN-1-Mar-04-2024.pdf>
- [4] https://www.epncb.oma.be/_productservices/coordinates/hybrid.php