Rete Dinamica Nazionale: calcolo, consistenza, considerazioni geodetiche ed operative

Stefano Gandolfi[0000-0003-2096-5670], Maurizio Barbarella[0000-0002-6595-103X], Giorgio Del Ciondolo[0009-0007-5068-9765] e Matteo Cappuccio[0009-0007-5764-253X]

Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna, Italia

Abstract. Il sistema geodetico nazionale (ETRF2000, epoca 2008.0) è realizzato dalla Rete Dinamica Nazionale (RDN). Il DICAM (Università di Bologna) ha ricalcolato in ITRF2020, in modalità PPP-AR (Precise Point Positioning with Ambiguity Resolution), l'intero archivio RINEX delle 99 stazioni RDN (2001–2025), valutando la consistenza dell'archivio e le deformazioni della rete.

Parole chiave: Rete Dinamica Nazionale, PPP-AR, ITRF2020, ETRF2000.

1 Introduzione

Con il DPCM del 10 novembre 2011 [1] il Governo italiano ha adottato ufficialmente il sistema geodetico ETRF2000 (epoca 2008.0), realizzato mediante la Rete Dinamica Nazionale (RDN) di 99 stazioni GNSS permanenti. La rete fu calcolata dall'IGM nel 2008 da 28 giorni di osservazioni (23 dicembre 2007 – 19 gennaio 2008) con il software Bernese 5.0 in ITRF2005; le coordinate furono poi trasformate in ETRF2000 (2008.0) con i 14 parametri forniti da EUREF [2] e validate da diversi centri di calcolo, tra cui l'Università di Bologna [3].

L'Italia è però un territorio in costante evoluzione, per un quadro tettonico complesso a cui si aggiungono dissesti di natura idrogeologica: le velocità medie delle stazioni GNSS in ETRF2020 vanno da pochi mm/anno al Nord a circa 6 mm/anno al Sud. Se per una stazione è disponibile una serie temporale lunga (più di tre anni), se ne possono stimare posizione e velocità in ITRS e trasformarne le coordinate in ETRF2000 (2008.0) secondo le procedure EUREF; in assenza di serie lunghe, e quindi di una stima delle velocità, l'unico modo per trasformare le coordinate tra due sistemi di riferimento (ad esempio da ITRF2020 all'epoca delle osservazioni al sistema nazionale) è l'utilizzo di parametri di trasformazione. A 15 anni dal DPCM è stato quindi ricalcolato l'intero dataset in ITRF2020, calcolo propedeutico anche alla stima dei 14 parametri di trasformazione.

2 Dati e metodologia

L'attività ha previsto il recupero e l'archiviazione dei RINEX (30 s) delle 99 stazioni presenti nella sezione pubblica del portale dell'IGM, dal 1° gennaio 2001 al 20 maggio 2025 (8.906 giorni, circa 500.000 soluzioni giornaliere). Ogni sessione di 24 h è stata elaborata in modo indipendente con il software open-source PRIDE PPP-AR [4], tramite script automatici che hanno permesso di gestire una grande mole di dati grezzi e di ottimizzare il calcolo PPP attraverso processi paralleli. L'elaborazione è stata condotta in configurazione standard (cut-off di 10°, funzione di mappatura VMF1, modello di carico oceanico FES2014b, risoluzione delle ambiguità per arrotondamento). Fino al 2020 sono stati usati i prodotti combinati IGS Repro3, con costellazioni variabili nel tempo (prevalentemente GPS fino al 2007, GPS e GLONASS nel 2008–2012, anche Galileo dal 2013), e in seguito i prodotti multi-GNSS operativi.
Le soluzioni anteriori al 27 novembre 2022, espresse in ITRF2014, sono state trasformate in ITRF2020 con i parametri di trasformazione tra i due frame forniti da Altamimi e Collilieux [5], applicati all'epoca di ciascuna soluzione.
Il modello stimato per le velocità tiene conto anche delle discontinuità delle serie, localizzate in corrispondenza dei cambi di antenna.

3 Risultati

Consistenza dell'archivio. Benché la maggior parte della rete sia stata monumentata nel 2006–2007, una ventina di stazioni, soprattutto delle reti IGS ed EPN, era già operativa nei primi anni 2000. Le serie durano in media 15,9 anni: 89 stazioni dispongono di almeno 5 anni di osservazioni, 78 superano i 10 anni e 14 coprono l'intero periodo. La disponibilità effettiva di soluzioni giornaliere per ciascun vertice varia molto però, dalle 27 di COMU alle 8.663 di MEDI.

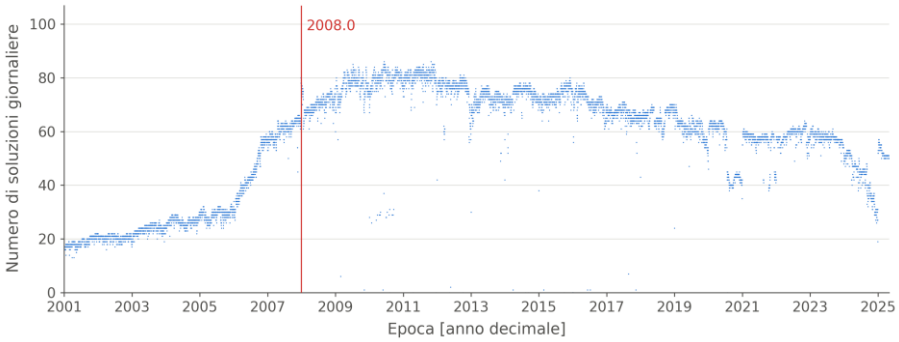

Fig. 1. Numero di soluzioni giornaliere disponibili per la rete RDN; in rosso l'epoca 2008.0.

Le stazioni con soluzione disponibile crescono rapidamente durante la realizzazione della rete (2006 -2009). Dal 2011 calano in modo quasi costante, da 86 a 53 all'inizio

del 2025 (Fig. 1), riflettendo il contenuto del repository ufficiale, non sempre completo, e non necessariamente l'inattività delle stazioni.
Per le analisi successive sono state utilizzate le soluzioni posteriori al 2008.0, epoca ufficiale di realizzazione della RDN.

Velocità e deformazioni. Le serie di circa 18 anni hanno fornito vettori velocità medi più stabili di quelli ottenuti in precedenza [6] (Fig. 2 e Tab. 1).
L'analisi delle serie ha permesso di individuare alcune stazioni con cinematiche particolari, con comportamento marcatamente non lineare o con moti non rappresentativi della cinematica crostale regionale (Tab. 2): poiché un calcolo di parametri di trasformazione presuppone per ogni sito una posizione e una velocità costante, tali stazioni andrebbero escluse.

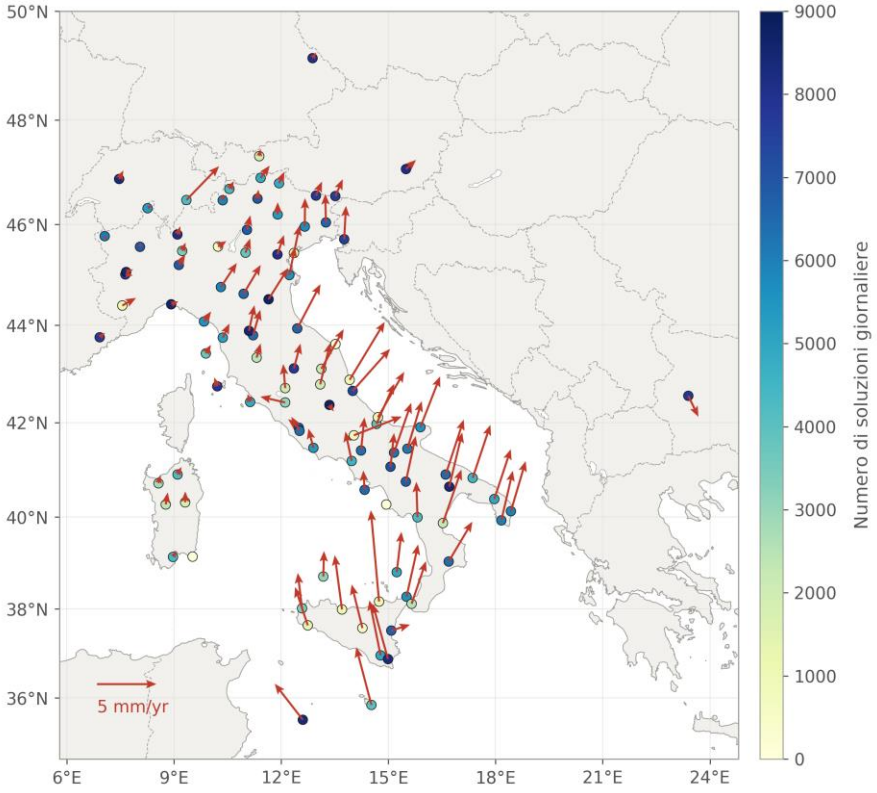

Fig. 2. Velocità orizzontali delle stazioni RDN in ETRF2020.

Tab. 1. Velocità medie (mm/anno) delle stazioni RDN in ETRF2020 (componenti Nord, Est, Up). Mancano CA06, COMU e SMAR, con serie troppo corte per stimarne la velocità.

Staz.	v_N	v_E	v_U	Staz.	v_N	v_E	v_U	Staz.	v_N	v_E	v_U	Staz.	v_N	v_E	v_U
ACOM	1.42	0.63	0.86	FRES	3.37	1.49	-0.63	MEDI	2.64	1.66	-1.73	SOFI	-1.89	0.64	-0.11
ALFE	1.58	4.03	2.06	GENO	0.25	0.61	-0.41	MILA	0.70	0.29	0.42	STBZ	1.03	0.76	1.73
AMUR	4.62	1.52	-0.13	GIUR	4.21	1.24	-0.50	MILO	2.97	-0.36	0.59	STUE	2.84	2.75	0.42
AQUI	-0.55	0.37	-4.76	GRAS	0.38	0.45	0.02	MOCO	4.18	1.45	0.20	SVIN	3.39	0.40	-1.40
BIEL	0.32	0.15	1.04	GRAZ	0.77	0.85	-0.08	MOPS	2.43	1.44	-3.34	TEMP	0.64	0.33	0.06
BORM	0.53	0.05	2.71	GROG	0.73	0.43	-0.30	MRGE	-0.33	0.16	1.96	TERM	4.56	-0.61	-0.60
BRBZ	0.96	0.45	1.35	GROT	2.83	0.30	1.51	MRLC	3.84	0.83	0.94	TGPO	2.35	0.48	-4.76
BRES	0.47	0.71	1.42	HFLK	0.61	0.12	1.48	MSRU	4.39	0.98	-0.31	TGRC	3.58	1.21	0.36
BZRG	0.76	0.08	1.44	HMDC	4.63	-0.94	-0.92	NOT1	4.65	-1.29	-0.89	TORI	0.21	0.59	0.58
CAGL	0.51	0.27	-0.12	IENG	-0.09	0.63	-0.07	NU01	0.92	0.01	-1.17	TREB	4.50	1.56	0.84
CAME	3.33	1.88	1.21	IGMI	2.14	0.61	-0.66	PADO	1.63	0.55	-1.20	TRIE	2.80	0.15	-0.27
CAMP	3.22	-1.07	-0.01	INGR	1.18	-0.69	0.50	PARM	2.02	1.34	-0.70	UDI1	2.39	-0.06	-0.07
CAPO	7.67	-0.69	-0.39	ISCH	4.27	1.66	0.13	PASS	1.02	0.00	0.85	UGEN	4.17	0.97	-0.20
CARI	2.47	-0.53	-0.16	LAMP	2.98	-2.31	-0.57	PAVI	0.89	0.54	-0.33	UNOV	2.02	-0.17	-0.41
COMO	0.68	0.25	-0.41	LASP	0.85	0.60	-0.33	PORD	2.39	0.02	-0.68	UNPG	2.09	0.56	-0.41
CUCC	2.98	-0.10	1.68	LAT1	1.62	-0.42	0.71	PRAT	2.15	0.46	-0.08	USIX	2.14	0.06	-0.55
CUNE	0.64	1.16	-2.38	M0SE	0.72	-0.90	-0.00	RENO	3.48	0.84	-0.42	VAGA	2.78	0.29	0.83
DEVE	0.24	0.36	1.83	MABZ	0.66	0.38	1.82	ROVE	1.22	0.29	0.78	VAST	3.82	2.21	-5.52
EIIV	0.50	1.58	2.17	MACO	1.01	0.17	0.26	RSMN	3.72	1.95	0.52	VEAR	2.33	0.48	-2.34
ELBA	0.51	-0.26	-0.36	MADA	1.18	0.56	0.05	RSTO	3.53	3.15	-0.38	VERO	1.19	0.39	-1.40
ENAV	1.63	-0.11	-0.04	MALT	4.85	-1.28	-0.58	SASA	4.19	1.39	-0.40	VITE	0.48	-2.09	0.71
ENNA	3.65	-0.91	-1.14	MAON	0.68	-0.22	-0.43	SASS	0.71	0.16	-0.07	WTZR	0.47	0.30	0.41
FASA	4.46	1.49	-0.10	MART	4.87	2.95	-4.33	SERS	3.35	1.99	0.77	ZIMM	0.72	0.35	0.85
FOGG	3.99	1.21	0.30	MATE	4.56	1.09	0.23	SIEN	1.19	0.34	0.24	ZOUF	1.18	0.51	1.25

Tab. 2. Stazioni con cinematiche particolari.

Stazione	Motivo
AQUI	Effetti co- e post-sismici del terremoto dell'Aquila (6 aprile 2009, M_w 6.3)
EIIV	Deformazioni locali di origine vulcanica (Etna)
MRLC	Velocità non costante nel tempo
RSTO	Deformazioni co- e post-sismiche (terremoti)
BRES	Spostamento fisico della stazione

4 Considerazioni geodetiche ed operative

La RDN ha allineato l'Italia agli standard geodetici internazionali dell'epoca, ma il quadro del DPCM, che resta a oggi il documento ufficiale più recente dell'IGM in materia, è incompleto: ai gestori di reti GNSS mancano le informazioni per allinearsi in modo rigoroso al sistema nazionale. La rete, inoltre, risulta sempre meno attiva e non mantenuta: alcune delle stazioni originarie non sono più operative, il numero di stazioni con dati disponibili cala in modo quasi costante dal 2011 (Fig. 1) e l'archivio pubblico non è sempre completo.

Il ricalcolo del repository ha consentito una determinazione aggiornata delle velocità dei vertici RDN per il periodo dal 2001 al 2025 consentendo una descrizione dei movimenti su tutto il territorio nazionale.

È stato possibile inoltre valutare la consistenza dell'archivio e le deformazioni della rete dall'epoca di realizzazione, e costituisce la base di partenza per il calcolo di parametri di trasformazione dall'attuale sistema di riferimento, alle varie epoche, al sistema nazionale.

Riferimenti bibliografici

1. DPCM 10 novembre 2011: Adozione del Sistema di riferimento geodetico nazionale. Gazzetta Ufficiale n. 48 del 27 febbraio 2012, S.O. n. 37.
2. Baroni, L., Cauli, F., Farolfi, G., Maseroli, R.: 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 68(3), 287–320 (2009).
3. Barbarella, M., Gandolfi, S., Ricucci, L., Zanutta, A.: The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages. In: Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Florence, Italy, 27–30 May 2009, pp. 1–13. EUREF (2013).
4. Geng, J., Chen, X., Pan, Y., Mao, S., Li, C., Zhou, J., Zhang, K.: PRIDE PPP-AR: an open-source software for GPS PPP ambiguity resolution. GPS Solutions 23, 91 (2019).
5. Altamimi, Z., Collilieux, X.: Relationship and Transformation between the International and the European Terrestrial Reference Systems. EUREF Technical Note 1, version March 4, 2024. https://etrs89.ign.fr/pub/EUREF-TN-1-Mar-04-2024.pdf
6. Barbarella, M., Gandolfi, S., Tavasci, L.: Monitoring of the Italian GNSS geodetic reference frame. In: Cefalo, R., Zieliński, J., Barbarella, M. (eds.) New Advanced GNSS and 3D Spatial Techniques. LNGC, pp. 59–71. Springer, Cham (2018). https://doi.org/10.1007/978-3-319-56218-6_5