

Confronto degli spostamenti e velocità di una rete di stazioni permanenti ottenuta con due software di calcolo

Barbarella Maurizio, Gandolfi Stefano, Ricucci Luciano

DICAM – Topografia – Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna
Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna, tel. +39-051-2093106, fax. +39-051-2093114
e-mail: maurizio.barbarella@unibo.it, stefano.gandolfi@unibo.it, luciano.ricucci@unibo.it

Riassunto

Le Stazioni Permanenti GNSS manifestano movimenti rispetto a frame geodetici di riferimento mondiali quali l'ITRF05 sia per i movimenti crostali delle placche che per eventuali fatti specifici del sito; il monitoraggio di tale dinamica consente di conoscere le velocità da associare alle stazioni per estrapolare valori aggiornati delle coordinate. EUREF incoraggia l'impiego di più centri di calcolo ma anche di più software diversi al fine di aumentare l'affidabilità dei risultati.

In questa nota vengono impiegati due diversi codici per calcolare il trend manifestato nel tempo dalla posizione dei vertici di una rete di importanza fondamentale per la definizione del Datum nazionale, la Rete Dinamica Nazionale (RDN). I calcoli sono stati eseguiti sulla base dei dati forniti da IGM relativi al biennio 2008-2009 impiegando due codici diversi da quello usato da IGM sugli stessi dati, allo scopo di quantificare le differenze che derivano dall'uso di diversi software.

Abstract

GNSS Permanent stations show movements with respect the ITRS System both for geophysical (plate movements, tectonic), local and structural reasons; the monitoring of the Permanent Station position allows the evaluation of the station velocity, that must be associated to position at reference epoch. EUREF encourages the use of most data computing centers and also more different software to increase the reliability of results. In this paper two different software packages are used to calculate the station's trend of a very important network for Italy, the Rete Dinamica Nazionale. The calculations were performed using RINEX data provided by IGM for the period 2008-2009 using two different software packages in order to quantify the differences resulting in position and "velocity" from the use of different software .

1. Introduzione

Le reti di Stazioni Permanenti GNSS hanno assunto un ruolo sempre più centrale non solo in relazione alla definizione di Sistemi Geodetici Terrestri e al monitoraggio dei movimenti crostali, ma anche come infrastruttura di sistemi di rilievo a larga diffusione in ambito operativo quali le reti COARS per il rilievo in tempo reale. Per svolgere queste funzioni occorre conoscere con elevatissima precisione le coordinate delle SP e la loro variazione nel tempo, poiché i movimenti crostali si sommano a dinamiche locali dei siti che alloggiavano le SP.

Questa conoscenza deriva da calcoli assai raffinati che cercano di estrarre le corrette informazioni da un'enorme mole di dati; sono necessari allo scopo programmi assai complessi che richiedono l'uso di modelli e di dati ancillari di vario tipo per gestire effetti sistematici presenti nei dati, eliminandoli o modellandoli matematicamente. Tali programmi affrontano il problema secondo approcci specifici fornendo agli utilizzatori molteplici possibilità di intervento sia per effettuare le modellazioni ritenute più opportune nel contesto dei dati, sia per individuare ed eliminare eventuali outliers. E' noto che il calcolo eseguito sugli stessi dati da diversi centri di elaborazione, soprattutto

se eseguito con software diversi, porta a risultati leggermente differenti (Teferle F. N. et al. 2007): stante però la necessità di raggiungere le massime precisioni consentite dai dati, anche modeste variazioni vanno indagate.

Gli autori hanno già affrontato il problema di definire un protocollo di calcolo che consenta di utilizzare gli stessi, o equivalenti, modelli e informazioni ausiliarie, nell'uso di differenti software (Barbarella et al., 2010) e ha cercato di quantificare le differenze che possono derivare dall'uso di diversi codici sulle coordinate calcolate: in particolare tale attività è stata sviluppata sulla Rete Dinamica Nazionale (Maseroli, 2009) in collaborazione con IGM e altre Università. Si ricorda che EUREF richiede che venga effettuato da più centri di elaborazione il calcolo di raffittimenti della rete EPN, quale è divenuta RDN.

L'informazione riguardo una rete di stazioni permanenti non si limita però alla conoscenza accurata delle coordinate delle stazioni ad una certa epoca, ma richiede anche la determinazione delle velocità delle stazioni, in modo da poter stimare più correttamente le posizioni in tempi successivi. In questa nota si riferisce del calcolo dei dati RDN disponibili nel biennio successivo all'impianto, al fine di determinare il trend subito dalle stazioni e impiegando a questo scopo software diversi da quello adottato dall'IGM per la elaborazione degli stessi dati; in particolare si pone l'accento sulle differenze che possono derivare nella stima del trend a causa dell'uso di diversi software.

2. Caso di studio: RDN

La analisi è stata condotta sulla Rete RDN, individuata dall'IGM per definire un Frame Nazionale e costituita da un centinaio di stazioni tra quelle in esercizio in Italia e di proprietà di varie strutture e Enti Pubblici. Non è stato possibile in un primo tempo ottenere con continuità i dati delle stazioni; l'IGM ha provveduto ad acquisire dai gestori diretti delle Stazioni degli spezzoni di dati della durata di 4 settimane, a circa sei mesi l'uno dall'altro; è da osservare che la rete non è sempre risultata composta dalle stesse stazioni nei vari spezzoni di dati raccolti. La sottostante tabella descrive sinteticamente gli spezzoni che l'IGM ha utilizzato per monitorare RDN e che ha gentilmente messo a disposizione del DICAM per l'analisi: in essa è riportato sia il numero di stazioni componenti RDN all'epoca di riferimento che il numero di file RINEX giornalieri disponibili, di diversa durata effettiva ma comunque superiore a 12 ore di registrazione (i file di minor durata non sono riportati in quanto non sono stati presi in considerazione nelle elaborazioni).

N°	Epoca	da	a	n°	n°
1	2008.0	357/2007	019/2008	98	2595
2	2008.5	167/2008	194/2008	73	1928
3	2009.0	356/2008	017/2009	89	2260
4	2009.5	165/2009	192/2009	97	2454
5	2010.0	354/2009	016/2010	87	2189

Figura 1 – Consistenza degli spezzoni di dati che configurano RDN alle cinque epoche considerate.

Per una migliore comprensione del contesto di calcolo, nella tabella di fig. 2 è riportato per ciascuno dei 5 blocchi, il nome delle Stazioni Permanenti presenti, il numero di file giornalieri, il numero di file complessivamente presenti. Per alcuni siti in alcune epoche il numero di file disponibili è troppo basso per poter procedere ad una attendibile elaborazione.

3. Software di elaborazione dati di reti di Stazioni Permanenti e modalità di calcolo

Per effettuare il calcolo, il DICAM ha utilizzato due software (diversi da quello adottato da IGM sugli stessi dati) e applicato un protocollo che adotta le indicazioni emanate da EUREF per il calcolo di raffittimenti della rete europea EPN.

N	S.P.	Spezzone					tot
		1	2	3	4	5	
1	acom	28	27	28	27	25	135
2	alfe	27	---	---	5	24	56
3	amur	28	28	28	28	28	140
4	aqui	28	28	28	28	28	140
5	biel	28	---	23	28	27	106
6	borm	28	9	28	28	26	119
7	brbz	28	28	28	24	25	133
8	brea	28	---	28	28	25	109
9	bzrg	28	28	28	28	28	140
10	cagl	28	28	28	27	28	139
11	came	27	28	4	11	---	70
12	camp	26	28	27	25	14	120
13	capo	25	---	17	12	---	54
14	cari	28	---	---	---	---	28
15	como	28	26	28	28	28	138
16	comu	26	---	---	---	---	26
17	cucc	28	25	28	25	28	134
18	cune	25	---	16	24	26	91
19	deve	28	---	28	26	9	91
20	eiiv	22	24	28	28	28	130
21	elba	28	28	15	---	---	71
22	enav	28	27	28	28	28	139
23	enna	23	---	13	24	25	85
24	fasa	28	26	21	28	28	131
25	fogg	28	26	21	28	28	131
26	fres	28	28	28	28	26	138
27	geno	28	---	28	28	28	112
28	giur	28	26	21	28	28	131
29	gras	28	28	27	28	28	139
30	graz	28	28	28	16	27	127
31	grog	28	28	26	28	---	110
32	gros	---	---	---	---	26	26
33	grot	24	25	28	28	28	133
34	hmde	28	26	28	22	2	106
35	ieng	28	27	28	26	---	109
36	igmi	28	24	28	27	24	131
37	ingr	28	28	27	28	28	139
38	isch	28	26	21	28	28	131
39	lamp	28	28	26	5	---	87
40	lasp	28	28	---	28	28	112
41	lat1	27	---	---	28	---	55
42	m0se	28	28	27	28	28	139
43	mabz	28	28	27	25	25	133
44	maco	24	---	28	24	24	100
45	mada	28	---	21	27	28	104
46	malt	27	28	28	28	23	134
47	maon	28	28	28	28	28	140
48	mart	28	16	---	26	23	93
49	mate	27	28	28	28	28	139
50	medi	26	28	28	28	28	138
51	mila	28	9	27	26	25	115
52	milo	23	28	28	28	28	135
53	moco	27	28	25	28	21	129
54	mops	28	28	28	26	27	137
55	mrge	18	28	19	28	3	96
56	mrlc	27	28	28	28	28	139
57	msru	28	27	26	28	27	136
58	not1	22	23	28	28	28	129
59	nu01	28	---	25	22	---	75
60	pado	12	25	27	28	24	116
61	pale	---	28	27	25	14	94
62	parm	28	28	28	28	28	140
63	pass	26	---	27	28	27	108
64	pavi	28	---	27	28	28	111
65	pord	26	22	26	27	25	126
66	prat	27	28	28	28	24	135
67	reno	28	27	28	19	28	130
68	riet	---	28	26	26	26	106
69	rove	26	---	20	28	---	74
70	rsmn	28	27	20	28	---	103
71	rsto	28	28	28	28	28	140
72	sasa	28	26	21	28	28	131
73	sass	24	---	28	28	27	107
74	sers	28	28	28	28	28	140
75	sien	28	---	25	28	28	109
76	smar	28	---	---	---	---	28
77	sofi	27	28	27	28	28	138
78	stbz	28	27	28	25	25	133
79	stue	28	28	28	28	28	140
80	svin	28	26	28	28	28	138
81	temp	16	---	28	24	26	94
82	term	26	28	26	25	12	117
83	tern	---	28	26	27	26	107
84	tgpo	17	---	10	21	14	62
85	tgrc	18	---	---	13	28	59
86	tori	27	28	16	28	28	127
87	treb	21	---	---	5	25	51
88	trie	28	28	28	27	28	139
89	udi1	28	27	28	27	28	138
90	ugen	25	26	21	28	28	128
91	unov	28	28	28	12	28	124
92	unpg	28	28	27	28	28	139
93	usix	28	28	28	28	---	112
94	vaga	28	28	28	2	20	106
95	vast	26	16	---	24	26	92
96	vear	22	---	---	28	20	70
97	vero	22	---	16	28	25	91
98	vils	28	---	27	27	27	109
99	vite	26	---	---	28	---	54
100	wtzt	28	28	28	28	28	140
101	zimm	28	28	28	28	28	140
102	zouf	28	28	28	28	15	127

Figura 2 – Contributo delle singole stazioni Permanenti a RDN alle cinque epoche considerate.

Uno dei software opera in modalità differenziata, viene cioè individuato un grafo e le osservazioni di coppie di stazioni adiacenti vengono differenziate, applicando alle differenze i modelli di

correzione dei bias; il software adottato è il GAMIT (Herring et al., 2009). Le soluzioni ottenute per le varie stazioni risultano correlate tra di loro.

Il secondo software adottato è il GIPSY (Zumberge et al., 1997) che usa invece un approccio indifferenziato, eseguendo le elaborazioni direttamente sulle osservazioni acquisite dalle singole stazioni, modellando i sistematismi per ciascuna stazione indipendentemente dalle altre (modalità Precise Point Positioning). Ciascuna stazione permanente può essere elaborata indipendentemente dalle altre, il che consente una grande elasticità nella gestione dei dati: ad esempio, modifiche ai file di una stazione non richiedono il ricalcolo di tutta la rete, ma solo di quel punto.

A prescindere dal codice di calcolo usato, la procedura prevede l'elaborazione in blocco dei dati presenti in ciascuna giornata e quindi l'ottenimento delle coordinate delle stazioni per quel giorno e per il software utilizzato. Si ottiene così una serie temporale delle coordinate dei punti che si sviluppa per il periodo di osservazione: tale serie viene successivamente analizzata con specifiche procedure messe a punto allo scopo di valutare la presenza di dati incongrui (outliers), la dispersione dei risultati e il loro trend temporale.

Il dataset è come detto costituito da vari spezzoni, che sono stati elaborati dapprima singolarmente e successivamente in blocco: nel seguito si riportano i risultati dell'elaborazione globale, l'unica atta a fornire indicazioni sul trend temporale.

L'inquadramento di RDN nel riferimento assoluto ITRS è realizzato tramite l'uso di stazioni permanenti appartenenti ai frame internazionali ubicate all'interno e in prossimità del territorio nazionale: l'IGS fornisce i dati necessari (ricezioni nel periodo analizzato, coordinate, velocità nel frame prescelto). Sono state inserite in rete 13 stazioni dei frame ITRF e ETRF, le stesse utilizzate da IGM per l'inquadramento di RDN. Il passaggio al sistema ETRF00 è stato realizzato tramite la procedura suggerita da EUREF.

4. Analisi delle differenze, in posizione e del trend

Poiché si ottiene una soluzione giornaliera con ciascun software, la valutazione delle differenze ottenute potrebbe essere effettuata giorno per giorno, ma si preferisce considerare la serie temporale nel suo complesso, valutando una retta interpolante e considerando la posizione tramite il valore della retta in corrispondenza di una data fissata: le considerazioni che seguono si riferiscono al valore delle coordinate dei siti all'epoca 2010.0 e alla stima del trend derivato dal coefficiente angolare della retta interpolante la serie temporale delle coordinate.

La letteratura internazionale suggerisce al riguardo che stime attendibili di velocità richiedono almeno tre anni di dati (continui): i risultati riportati di seguito vanno intesi come indicativi e provvisori.

4.1. Differenze di posizione riscontrate usando i due software

Le serie temporali costruite, per ciascun punto e per ciascuna coordinata, con i due software permettono di stimare il valore atteso per l'epoca 2010.0: in fig. 3 si riporta una sintesi delle differenze ottenute, espresse nel sistema geodetico locale del punto (tutte le quantità sono date in mm) e in fig. 4 è riportato l'istogramma delle differenze.

Differenze (mm)			
	Est	Nord	Up
media	-3.5	0.2	-0.9
s.q.m.	4.0	0.9	4.9
min	-16.0	-2.2	-14.2
max	4.0	2.7	13.8

Figura 3 – Differenze nelle coordinate dei siti ottenute coi software GAMIT e GIPSY.

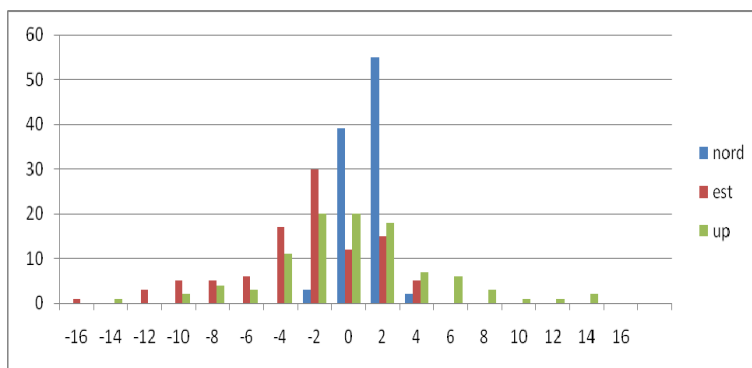


Figura 4 – Istogramma in % delle differenze nelle coordinate dei siti ottenute coi software GAMIT e GIPSY.

Si nota un comportamento leggermente differente per le varie componenti: mentre per la nord i due software danno praticamente gli stessi risultati, per la est le differenze sono significative, con un valor medio e una dispersione dell'ordine di 4 mm; la quota non mostra sistematismi (media delle differenze di 1 mm) ma una sensibile dispersione, comparabile a quella della componente est. I valori delle differenze sono modesti nella pratica, ma comunque apprezzabili in elaborazioni di questo tipo.

5. Valori di pendenza della retta interpolante la serie temporale, in ITRF05

Interessa verificare se le differenze riscontrate tra i due software in termini di coordinate si traducono in una altrettanto marcata differenziazione delle pendenze delle rette interpolanti la serie temporale. Per prima cosa si prendono in considerazione i valori delle pendenze ottenute separatamente con ciascuno dei due software per capire il movimento delle stazioni della RDN.

5.1. Stima del trend delle posizioni delle stazioni RDN

La grandezza presa in considerazione è la pendenza della retta che interpola la serie temporale delle coordinate geodetiche locali est, nord e lungo la normale locale: si riporta di nuovo una tabella con media e s.q.m. sul campione dei 95 siti analizzati; in fig. 5 sono riportate alcune grandezze campionarie.

Pendenza rette interpolanti (mm/anno)						
	GAMIT			GIPSY		
	Est	Nord	Up	Est	Nord	Up
Media	21.3	17.4	-0.3	21.0	17.2	1.1
dev.st	2.1	1.8	1.9	2.3	1.7	2.4
Min	14.8	11.4	-4.8	12.8	11.8	-7.1
Max	27.6	21.7	7.0	27.2	21.9	10.1

Figura 5 – Valori delle pendenze delle rette interpolanti la serie temporale, in mm/anno ottenute con i due software, GAMIT e GIPSY.

L'andamento delle pendenze, tradotti in spostamenti annuali espressi in mm, sono riportati nel grafico di fig. 6 (dati GAMIT: non apprezzabile graficamente la differenza rispetto i risultati Gipsy)

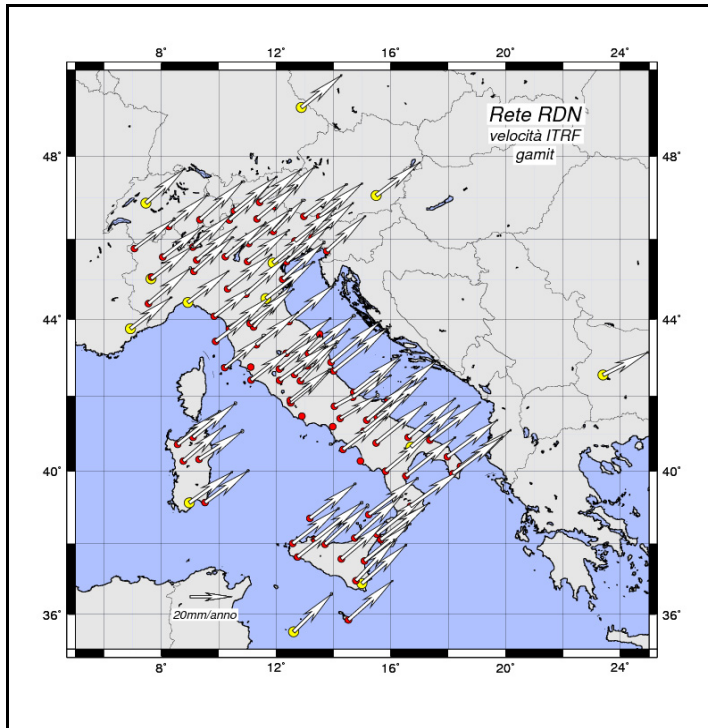


Figura 6 – Distribuzione degli spostamenti annuali delle Stazioni RDN. Risultati del software GAMIT.

Come si vede l'andamento è fortemente coerente su tutto il territorio, anche se si avvertono specificità locali sulle quali è opportuno porre attenzione.

5.2. Differenze tra i trend calcolati con i due software, in ITRF05

Tornando al confronto tra i risultati dei due software, sono state calcolate le differenze punto per punto per le pendenze “m” e sono state riportate in fig. 7 le statistiche campionarie relative; nelle ultime tre colonne viene riportato il relativo s.q.m., in modo da valutarne l'effettiva significatività. In fig. 8 si riportano gli istogrammi (in %) delle differenze in “velocità”, sempre in mm/anno.

	Differenza pendenze Gamit – Gipsy (mm/anno)					
	Δm			$\sigma_{\Delta m}$		
	est	nord	up	est	nord	up
media	0.3	0.2	-1.4	0.4	0.3	0.9
dev.st	1.0	0.5	2.0	0.1	0.1	0.3
min	-4.8	-1.1	-10.8	0.3	0.2	0.5
max	4.1	1.9	5.7	0.9	0.6	2.2

Figura 7 – Differenze delle pendenze calcolate con i due software e loro significatività.

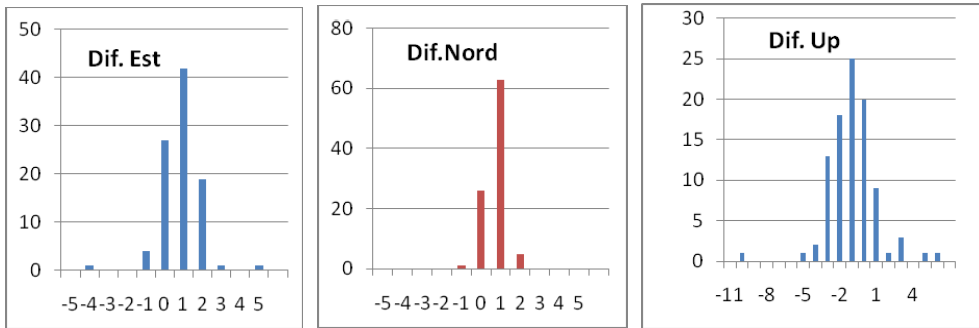


Figura 8 – Istogrammi (in %) delle differenze in “velocità”, in mm/anno.

In media non ci sono differenze significative nei risultati ottenuti con i due software; per la componente est ci sono però due siti per i quali la differenza delle velocità stimate assume dei valori superiori a 2 mm/anno; per uno di essi (VITE) la stima è calcolata su due soli spezzoni (2008.0 e 2009.5) e quindi su pochi dati. Differenze più sensibili sono presenti in quota per una mezza dozzina di punti.

6. Trend in ETRF00

Il movimento planimetrico dei punti è dovuto in prevalenza a quello della placca eurasiatica, che può essere filtrato considerando le posizioni nel frame ETRF00, solidale con essa. Come noto (Altamimi et al, 2007; Boucher, Altamimi, 2007) il passaggio di sistema viene effettuato applicando le trasformazioni e i parametri forniti da EUREF, che prescindono ovviamente dalle coordinate di partenza, e quindi dal software impiegato per i calcoli: le differenze viste in precedenza rimangono cioè le stesse nel nuovo sistema.



Figura 9 – Movimenti planimetrici annuali intra placca dei siti RDN e loro indeterminazione.



Figura 10 – Differenze risultanti dai due software per i movimenti annuali.

E' interessante riportare i movimenti che sono calcolati per le stazioni RDN in ETRF00 in quanto evidenziano le specificità del comportamento dei vari siti. I movimenti planimetrici annuali in

ETRF00 ottenuti con uno dei due software sono riportati in fig. 9, assieme ad una ellissi che rappresenta la indeterminazione planimetrica degli spostamenti stessi: non c'è più un sistematismo globale anche se sembrano permanere effetti sistematici in alcune aree.

Le differenze tra i due software sono invece riportate in fig.10, sito per sito, alla stessa scala grafica: tali differenze sono generalmente minori dei movimenti intraplacca.

7. Conclusioni

L'uso di differenti software nell'analisi di grandi reti di stazioni permanenti quale RDN rende più robusta la soluzione e permette l'identificazione di eventuali errori; le diversità riscontrate nelle coordinate calcolate possono essere riassunte in una maggiore dispersione in quota del codice con approccio indifferenziato e in differenze nella componente est per alcune stazioni, mentre la nord è completamente equivalente. In termini di stima della pendenza delle rette interpolanti non si notano differenze significative se non in casi sporadici che in parte si possono giustificare con il basso numero di dati disponibili: lo spezzone di dati completo a disposizione è già piuttosto breve (copre due anni) e quindi nei casi (VITE) nei quali si hanno solo due dei cinque spezzoni i software si comportano in modo differente. Le differenze dovute ai software sono comunque assai minori dei valori dei trend in ETRF ovvero al netto dei movimenti di placca.

Per quanto riguarda la stima della velocità da associare ai siti, lo spezzone analizzato è troppo breve. Dai risultati ottenuti ci si aspetta che le differenze tra le stime di velocità ottenute con due codici diversi possa ridursi all'aumentare dei dati del campione usato per la regressione.

Ringraziamenti

Si ringrazia l'IGM nella persona del Comandante dell'IGM e del Responsabile della Geodetica dott. Maseroli per la collaborazione e la fornitura dei dati, nonché il CISIS per lo stimolo ad effettuare la ricerca.

La ricerca è stata resa possibile dai finanziamenti MIUR (PRIN 2007 e PRIN 2008).

Riferimenti bibliografici

- Altamimi, Z., Collilieux, X., Legrand, J., Garayt, B., Boucher, C. (2007). "ITRF2005: a new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters". *J. Geophys. Res.* 112, B09401. doi:10.1029/2007JB004949.
- Barbarella M., Gandolfi S., Ricucci L., Zanutta A. (2010). "The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages". (in corso di stampa su BGG)
- Boucher C. and Altamimi Z., (2007): "Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS Campaign".
(Available on line at: <http://etrs89.ensg.ign.fr/memo-V7.pdf>)
- Caporali A., Turturici F., Maseroli R., Farolfi G. (2009). "Preliminary results of the computation of the new Italia Permanent Network RDN of GPS stations". *Bullettin of Geodesy and Geomatics*, LXVIII, 2009, 2, 147-162.
- Herring T.A., King R.W., McClusky S.C. (2009). "Gamt Reference Manual, GPS Analysis at MIT". Release 10.3, 1 June 2009.
- Maseroli, 2009. "Relazione RDN" sito IGMI: <http://87.30.244.175/rdn/rdn.php>
- Teferle F. N., Orliac E. J., Bingley R. M. (2007); An assessment of Bernese GPS software precise point positioning using IGS final products for global site velocities. *GPS Solution*, 11:205-213, DOI 10.1007/s10291-006-0051-7
- Zumberge J.F., Heflin M.B., Jefferson D.C., Watkins M.M., Webb F.H. (1997). "Precise point positioning for efficient and robust analysis of GPS data from large networks". *Journal of Geophysical Research*, 102, 5005-5017.
- Guidelines for European Permanent Network Analysis Centers:
http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/guidelines_analysis_centres.pdf
- EUREF Permanent Network Processing Option Table:
http://www.epncb.oma.be/_organisation/guidelines/proc_opt.pdf