

Test di qualità sulle reti della Sardegna e della Corsica

Sanna G., Vivonet A.

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Infrastrutturale e Geomatica (DISIG) - Sezione di Topografia
Piazza D'Armi 09123 Cagliari
tel. 0706755442, fax 0706755405, email: (topoca, avivanet)@unica.it

Riassunto

Sul territorio italiano si contano ormai numerose le reti di stazioni permanenti GPS (SP), pubbliche e private, che offrono servizi per il posizionamento in tempo reale (RT) attraverso la disseminazione di correzioni differenziali sia da singola stazione (RTK) sia di rete (NRTK). Questo lavoro presenta la sperimentazione eseguita su due reti regionali contigue: la rete SARNET della Sardegna, con 13 SP attive, e la nuova rete ACTISAT della Corsica, operativa dal mese di marzo 2010 con 6 SP GNSS (GPS+GLONASS). Nella prima parte dell'articolo si presenterà la configurazione attuale delle due reti regionali ed il calcolo di inquadramento della rete francese eseguito con *Bernese 5.0*. Nella seconda parte si illustreranno i risultati della sperimentazione

inerente il monitoraggio delle SP della rete SARNET eseguito negli ultimi 3 anni.

Abstract

Now there are numerous permanent GPS stations networks (SP) in the Italian territory, both public and private, that provide services for placement in Real Time (RT) through the dissemination of both differential corrections from a single station (RTK) and network (NRTK). This paper presents experiments performed on two adjacent regional networks: the network SARNET of Sardinia, with 13 active SP, and the new GPS network ACTISAT of Corsica, operational since March 2010 with 6 SP GNSS (GPS + GLONASS). In the first part of the article we will present the current status of the two regional networks and the definition of ACTISAT in the ITRF2005 reference frame and the transformation of its coordinates in ETRF2000 run with *Bernese 5.0*. The second part discusses the results of the experimentation inherent monitoring of the stations stability of the SARNET network performed in the last three years.

1 Introduzione

Questo lavoro, realizzato nell'ambito del progetto di ricerca finanziato dal MIUR per gli anni 2006-2007 (PRIN 2005) dal titolo "Ottimizzazione delle applicazioni topografiche con l'integrazione di una rete di stazioni permanenti GPS", presenta la sperimentazione eseguita su due reti regionali contigue: la rete SARNET della

Figura 1 – Le reti SARNET della Sardegna ed ACTISAT della Corsica.

Sardegna, con 13 SP attive, e la nuova rete ACTISAT della Corsica, operativa dal mese di marzo 2010 con 6 SP GNSS (GPS+GLONASS). La rete corsa è stata progettata per fornire un servizio di distribuzione di correzioni differenziali e di osservazioni per il post-processamento. Il servizio è

distribuito dalla omonima società ACTISAT, filiale di SARL ACTIPLAN, con sede in Ocana (Francia). Le SP monumentate sono attualmente 6 (CAMP, LUCI, LUMI, LURI, PIAN e SARI) ed hanno tutte installati ricevitori del tipo *Trimble Net R8 GNSS* (GPS+GLONASS) ed antenne *Trimble TRM55971*. Tutti i ricevitori hanno accesso ad internet attraverso linea adsl. Le due reti sarda e corsa condividono rispettivamente le SP GSTG e PIAN (vd. Figura 1) attenuando i problemi di posizionamento di precisione nelle aree esterne al perimetro delle reti medesime (Sanna, Vivinet, 2010). Vengono presentati i risultati relativi al calcolo delle coordinate della rete corsa e le analisi di monitoraggio della rete sardo-corsa.

2 Strategia del calcolo di inquadramento della rete ACTISAT

Per calcolare le coordinate sono state utilizzate le osservabili delle Stazioni Permanenti (SP) comprese tra il 7 ed il 27 marzo 2010 (*GPS Week 1574-1576*) per un totale complessivo di 21 sessioni. La compensazione della rete ACTISAT è stata eseguita secondo le indicazioni dell'EUREF per le campagne di densificazione della rete EPN (Gurtner et al., 1998) ed in particolare adottando i seguenti accorgimenti:

- 1) inquadramento nella rete globale IGS ed in quella europea EPN;
- 2) inquadramenti giornalieri indipendenti condotti utilizzando i prodotti finali IGS (EOP, EPH e PCV);
- 3) vincolo delle SP fiduciali alle coordinate settimanali pubblicate dall'EUREF;
- 4) utilizzo di un software scientifico;
- 5) analisi accurata dei dati grezzi e dei risultati.

La strategia adottata per il calcolo prevede, in veste di *Reference Sites* (RS), l'utilizzo di singole stazioni fiduciali scelte tra quelle di Classe A dell'EUREF per le quali, di conseguenza, sia nota la posizione in ITRFyy in tutte le epoche con precisione uguale o maggiore di 1 cm (EPN_A_ITRF2005.SNX).



Figura 2 – Schema delle SP utilizzate per l'inquadramento.

L'inquadramento finale della rete è nel sistema di riferimento globale ITRF2005; con epoca di riferimento per la soluzione alla data media del rilievo corrispondente al giorno 2010.2 (17 marzo 2010). Per quanto concerne la geometria della rete, sono state scelte complessivamente 15 SP tra quelle appartenenti alle reti IGS ed EUREF/EPN (9 SP IGS + 6 SP EPN) posizionate tutt'intorno alla rete ACTISAT (vd. Figura 2). Le prime 9 SP risultano dislocate quanto più prossime possibile all'area della rete e sono:

AJAC, GRAS, MARS, CAGL, GENO, MATE, MED1, NOT1 ed EBRE. Queste sono state utilizzate nel calcolo di compensazione come RS e le rispettive coordinate, sia durante l'elaborazione delle soluzioni finali giornaliere, sia durante la compensazione globale multisessione, sono state fortemente vincolate ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \pm 0.001$ m) ai rispettivi valori a priori desunti dalle soluzioni settimanali ufficiali pubblicate dall'EUREF e riferiti all'epoca media di ciascuna settimana GPS. Le coordinate delle 6 SP appartenenti alla rete EUREF/EPN, utilizzate in veste di *check-point* per una successiva verifica degli scarti ed anch'esse tutte di Classe A, sono state, invece, debolmente vincolate ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \pm 1$ m); esse sono CREU, MALL, ELBA, IGMI, MILO e

UNPG. Il calcolo di compensazione è stato eseguito utilizzando il programma *Bernese GPS Software 5.0* nella sua ultima *release* (18 febbraio 2010) ed impostando i principali parametri di calcolo così come suggeriti dall'EUREF nelle "Processing Options Table" (EPN, 2003). In seguito a tali premesse sono state utilizzate le orbite finali ed i parametri EOP forniti dall'IGS o dal CODE, nonché i parametri di correzione delle maree prodotti dall'*Onsala Space Observatory* (OSO, <http://www.oso.chalmers.se/>), assicurando in tal modo la completa coerenza con il sistema di riferimento ITRF2005 adottato. Nel calcolo si è inoltre provveduto ad impostare un angolo di *cut-off* pari a 10° e ad adottare i valori di correzione assoluti dei centri di fase delle antenne forniti dall'IGS. Per il calcolo delle soluzioni giornaliere sono stati utilizzati tutti quei RINEX, decimati a 30sec, che contenessero almeno 1440 epoche (12 ore di osservabili) per ciascuna giornata. Nel calcolo di inquadramento in ITRF2005, oltre alle 21 equazioni normali giornaliere, sono state introdotte le soluzioni pubblicate dall'EUREF, anche queste in formato SINEX, per tener conto di eventuali discontinuità nelle serie temporali delle SP fiduciali.

	X	Y	Z
CAMP	4697280.7026	726402.8507	4238891.9144
LUCI	4653100.2981	781238.9923	4277436.1480
LUMI	4646271.5976	721554.8036	4295176.9337
LURI	4616572.4258	770557.7176	4318464.7506
PIAN	4724840.8809	753083.7809	4203835.0273
SARI	4693638.6667	777237.9109	4233935.1164

Tabella 3 – Coordinate delle SP della rete ACTISAT in ITRF2005 all'epoca media del rilievo (2010.2).

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. sono riportate le coordinate delle SP di ACTISAT ottenute dalla compensazione eseguita con *Bernese*, all'epoca media 2010.2, nel sistema ITRF2005. La qualità della soluzione ottenuta è confermata in **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. dal confronto con le soluzioni

ufficiali dell'EUREF per tutte le SP EPN di *check*: si vede come gli scarti siano dell'ordine di pochi

	Coordinate Calcolo Bernese			Coordinate EUREF ufficiali			Scarti (mm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
CREU	4715420.2319	273177.8775	4271946.7207	4715420.2306	273177.8786	4271946.7198	1.3	-1.1	0.9
ELBA	4616533.8433	831568.7680	4307570.0580	4616533.8443	831568.7677	4307570.0591	-1.0	0.3	-1.1
IGMI	4523251.1857	896760.1175	4391796.4073	4523251.1897	896760.1177	4391796.4063	-4.0	-0.2	1.0
MALL	4919369.4069	225499.9674	4039849.9077	4919369.4068	225499.9668	4039849.9073	0.1	0.6	0.4
MILO	4911058.8846	1096340.3937	3906215.0887	4911058.8820	1096340.3952	3906215.0854	2.6	-1.5	3.3
UNPG	4555145.6569	997822.5202	4337432.7974	4555145.6613	997822.5203	4337432.8003	-4.4	-0.1	-2.9

Tabella 4 – Coordinate ITRF2005 (ep. 2010.2) delle SP EPN di *check* e scarti rispetto alle soluzioni ufficiali EUREF.

	IGN			Bernese Trasformata on-line da EPN			Scarti (mm)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	ΔX	ΔY	ΔZ
CAMP	4697281.0320	726402.4860	4238891.6190	4697281.0331	726402.4850	4238891.6168	-1.1	1.0	2.2
LUCI	4653100.6330	781238.6300	4277435.8540	4653100.6349	781238.6300	4277435.8531	-1.9	0.0	0.9
LUMI	4646271.9300	721554.4430	4295176.6400	4646271.9304	721554.4416	4295176.6387	-0.4	1.4	1.3
LURI	4616572.7630	770557.3590	4318464.4600	4616572.7638	770557.3579	4318464.4575	-0.8	1.1	2.5
PIAN	4724841.2100	753083.4140	4203834.7280	4724841.2118	753083.4133	4203834.7285	-1.8	0.7	0.5
SARI	4693639.0010	777237.5450	4233934.8190	4693639.0010	777237.5456	4233934.8194	0.0	-0.6	0.4

Tabella 5 – Coordinate ETRF2000 (ep. 2010.2) calcolate dall'IGN e da Bernese con trasformazione on-line dell'EPN e relativi scarti.

millimetri nelle 3 componenti. Le coordinate stimate sono state successivamente trasformate in ETRF2000, alla stessa epoca, con la procedura *on-line* dell'EUREF. Il confronto dei valori così ottenuti con una soluzione indipendente, seppur provvisoria, computata in ETRF2000 dall'IGN

(*Institut Geographique National*) francese ha permesso di fare una ulteriore verifica; i risultati sono riportati in tabella 5. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

3 Monitoraggio di stabilità delle SP della rete SARNET

Figura 6 – Schermata di VIVAnet per la configurazione delle campagne e la selezione delle SP.

Figura 7 – Schermata di VIVAnet per l'analisi delle serie storiche.

A 3 anni dalla monumentazione delle prime SP della rete SARNET, il crescente numero di SP da sottoporre a monitoraggio, 13 per la rete SARNET e 6 per l'adiacente rete ACTISAT, e la rinnovata esigenza di automatizzare tali procedure ci hanno indotto ad ampliare e riscrivere le *routines* già implementate a suo tempo per le prime analisi della rete SARNET (Sanna G. et al., 2008).

Le originali *routines*, sviluppate per operare all'interno di una *shell* dell'MS-Dos, sono state quindi completamente riviste ed ampliate sfruttando le potenzialità del linguaggio Perl (*Practical Extraction and Report Language*); Il programma da noi scritto, denominato *VIVAnet* e giunto attualmente alla *release* 1.4, si occupa della completa automatizzazione del processamento di una o più reti di SP mediante il *Bernese GPS Software* 5.0 (Hugentobler et al., 2007) e di produrre i dati necessari per l'analisi di qualità tramite il *software Matlab*. In breve lo *script VIVAnet 1.4.pl* permette attraverso una comoda interfaccia grafica di configurare e svolgere le seguenti operazioni:

- 1) effettuare il *download* giornaliero dei dati, delle orbite, dei prodotti ausiliari e delle soluzioni finali dai siti *ftp* di EUREF/EPN e di IGS;
- 2) preparare le campagne su base settimanale per la successiva elaborazione con *Bernese*

collocando i dati nelle opportune cartelle (Figura 6);

- 3) eseguire il calcolo giornaliero di una o più reti attraverso il *BPE (Bernese Processing Engine)* selezionando per ciascuna rete quali SP elaborare e quali escludere;
- 4) eseguire la compensazione su base settimanale delle reti precedentemente calcolate;
- 5) produrre le statistiche sulla qualità delle elaborazioni eseguite estrapolando in automatico i dati dai *files* di *output* e/o dalle soluzioni generate da *Bernese*;
- 6) esportare i risultati delle elaborazioni di *Bernese* verso le apposite procedure da noi realizzate in ambiente *Matlab* per la generazione automatica dei diagrammi e degli *scatter plot* delle serie temporali, per l'individuazione degli *outliers* e per l'analisi statistica delle serie;
- 7) eseguire la manutenzione ed il *backup* delle campagne elaborate.

Il monitoraggio condotto sulla rete SARNET negli ultimi 3 anni ha riguardato l'elaborazione di 1227 sessioni giornaliere comprese tra il 16 febbraio 2007 (GPS Week 1414.5) ed il 26 giugno 2010 (GPS Week 1589.6). La rete, originariamente composta da sole 6 SP di SARNET (GALG, GBON, GCAG, GISI, GOLB, GORI), si è progressivamente densificata ed estesa sui territori di Sardegna e Corsica, arrivando alle attuali 19.

La strategia di calcolo e la configurazione della rete di inquadramento adottate per l'elaborazione di ciascuna sessione sono le stesse già precedentemente descritte per la rete ACTISAT e non saranno

pertanto descritte nuovamente. Le coordinate di tutte le SP sono state calcolate nel sistema globale ITRF2005 e successivamente trasformate in ETRF2000.

La prima fase dell'analisi ha riguardato l'individuazione degli *outliers* nelle serie di coordinate; ciò è stato da noi realizzato scrivendo apposite procedure in ambiente *Matlab* che elaborano i *files* di *output* precedentemente generati in automatico dallo *script* in Perl. Attraverso la procedura in *Matlab* vengono generati per ciascuna SP:

- gli *scatter plot* delle componenti X,Y e Z delle coordinate con le corrispondenti rette di regressione lineare e gli intervalli di confidenza al 99% per l'individuazione degli *outliers* (in tratteggio);
- i grafici delle componenti NEU dopo l'eliminazione del trend lineare;
- i *files* con gli elenchi delle SP affette da *outliers* che dovranno, pertanto, essere eliminate nelle rispettive sessioni.

A titolo di esempio vengono riportati nella Figura 8 gli *scatter plot* delle SP GBON e della Z di GORI, in cui è presente un salto anomalo nelle serie storiche, la cui causa è ancora da individuare. Nella Figura 9 è possibile vedere un esempio dei grafici in N, E e Quota rispetto al piano tangente delle coordinate della SP di GBON. Il programma in Perl è in grado a questo punto, e sempre in automatico, di leggere gli elenchi delle SP con *outliers*, di scartare le relative soluzioni e di procedere ad una nuova computazione della soluzione giornaliera.

4 Conclusioni

I successivi passi del lavoro riguarderanno il ricalcolo con *Bernese* delle soluzioni giornaliere dopo l'eliminazione delle stazioni che presentano *outliers*, la compensazione su base settimanale e la stima delle velocità di tutte le SP. Infine i digrammi potranno essere pubblicati *on-line* sui siti delle rispettive reti.

Bibliografia:

- Sanna G., Vivonet A. (2010), "L'impiego delle reti RTK nelle applicazioni catastali", *III Sessione orale del Congresso Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET)*, 2010, Cagliari
- Banni A., Sanna G., Vacca G., Vasilonga C., Vivonet A. (2008), "La rete NRTK SARNET della Sardegna", *Bollettino della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET)*, 3/2008:11-28, Cagliari, Italia (ISSN 1721-971X)
- Boucher C., Altamimi Z., (2007), "Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign", 2007.
- Hugentobler U., Dach R., Fridez P., Meindl M., (2007), "Documentation of Bernese GPS Software Version 5.0", *AIUB Astronomical Institute University of Berne*, Berne, Switzerland, 2007.
- Habrich H., (2007), "EUREF Regional Densification of ITRF2005 – Draft Report", EUREF TWG, 2007.
- EUREF, "EUREF Permanent Network Processing Options Table", EPN Coordination Group and the EPN Central Bureau, 2003.
- Ferland R., Altamimi Z., Bruyninx C., Craymer M., Habrich H., Kouba J., (2002), "Regional Networks densification, IGS Workshop - Towards Real-Time"; Ottawa, Canada, 2002.
- Gurtner W., Boucher C., Bruyninx C., Marel H., (1998), "The Use of the IGS/EUREF Permanent Network For EUREF Densification Campaigns".

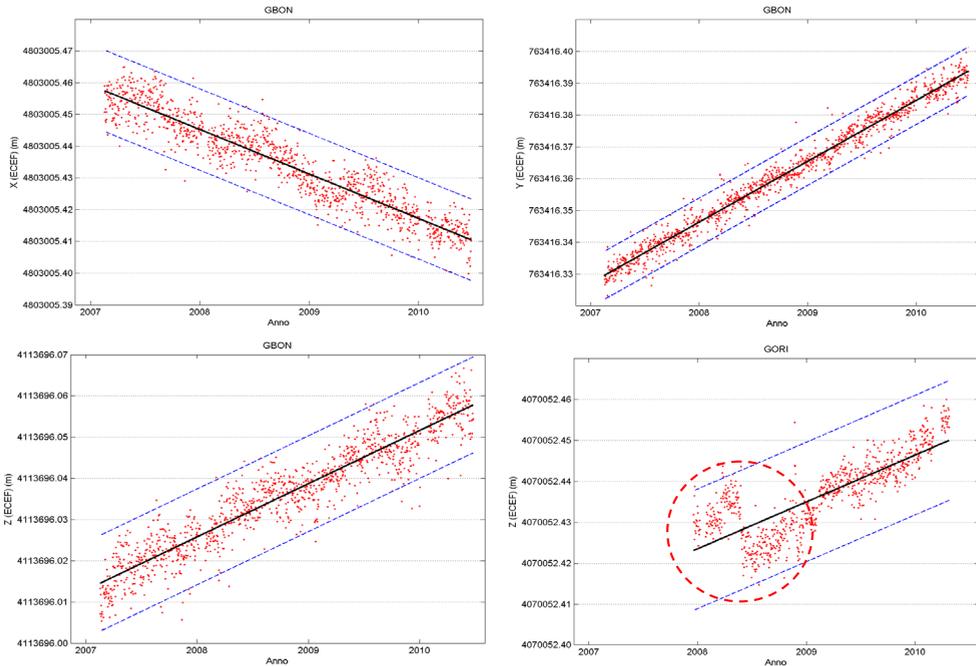


Figura 8 – Scatter plot delle componenti X, Y e Z della serie storica delle coordinate delle SP di GBON e GORI.

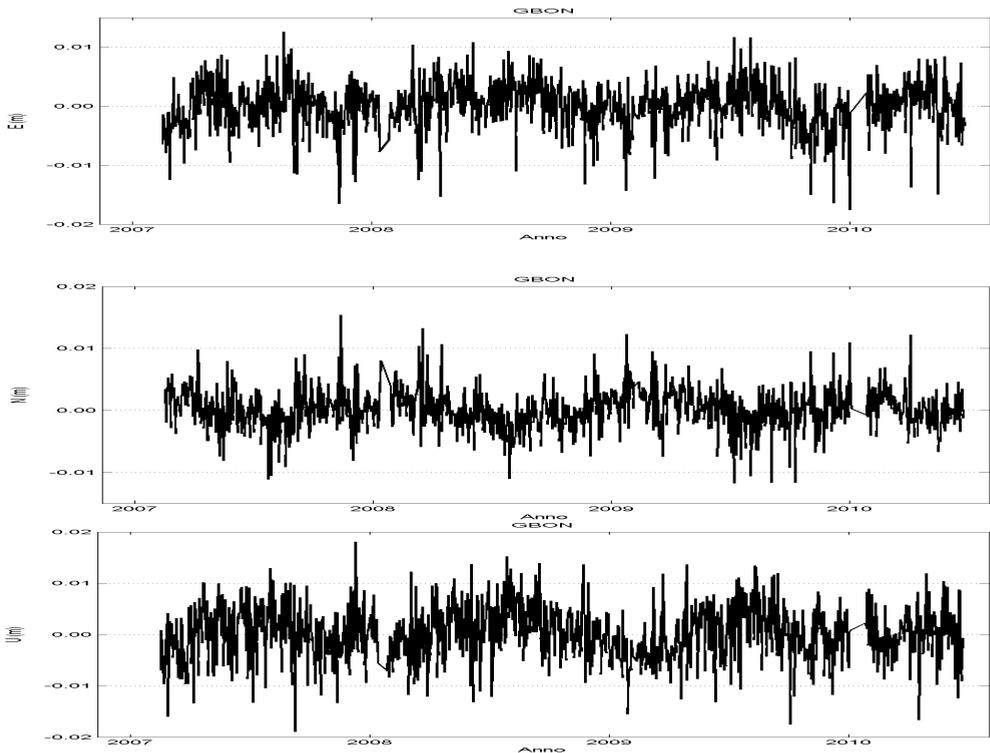


Figura 9 – Diagrammi delle serie storiche di GBON de-trendizzati.