

# COMPENSAZIONE GEODETICA DELLA RETE SICILIANA UNIPA-NETGEO

G. Dardanelli <sup>a</sup>, N. Perfetti <sup>b</sup>, R. Occorso <sup>a</sup>

<sup>a</sup> DICAM – Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale dei Materiali, Università di Palermo, Viale delle Scienze Ed.8, 90118 Palermo, Tel. +3909123896228, Fax +39091588853, email: [gino.dardanelli@unipa.it](mailto:gino.dardanelli@unipa.it)

<sup>b</sup> Geotop s.r.l.

## RIASSUNTO

Come è noto un servizio di posizionamento GNSS materializza un sistema di riferimento e distribuisce all'utenza che opera nel settore geodetico dati, prodotti e stime delle coordinate nel medesimo sistema. Per questo motivo si rende necessaria un'accurata e continua stima delle coordinate, delle stazioni permanenti che compongono la rete, effettuata attraverso opportuni processi di compensazione. A tal proposito, considerato il notevole incremento delle stazioni permanenti presenti nel territorio Italiano, l'inquadramento geodetico delle reti regionali dovrebbe essere effettuato nel sistema di riferimento globale, per non incorrere nelle notevoli differenze di coordinate stimate tra le reti contigue gestite da Enti diversi.

Il presente lavoro si colloca nel contesto della compensazione geodetica di una rete di stazioni permanenti regionale e il conseguente inquadramento nell'attuale sistema di riferimento globale. La rete studio è costituita da 19 stazioni permanenti materializzate nel territorio della Regione Sicilia con l'aggiunta di 3 stazioni permanenti appartenenti alla rete IGS (*International GNSS Service*), materializzate a Cagliari, Matera e Noto, utilizzate per l'inquadramento geodetico.

In particolare, le stazioni permanenti utilizzate, appartengono alla rete Nazionale NetGEO in Sicilia della Geotop s.r.l. di Ancona e nove di queste appartengono alla rete dell'Università degli Studi di Palermo.

I dati utilizzati per l'analisi e le relative procedure di elaborazione dipendono dal software utilizzato e la costruzione del grafo di rete è stata condizionata sia dai dati registrati dalle stazioni permanenti attive nel periodo considerato per l'elaborazione, sia dalle caratteristiche e metodologie di elaborazione inerenti al software.

Dopo aver ricevuto i dati di codice e di fase acquisiti dalle stazioni permanenti nel formato Rinex, si è proceduto all'analisi di qualità (pretrattamento dei dati ricevuti) attraverso 3 software (TEQC, QC2SKY e NDA Lite), mentre il post-processamento dei dati è stato effettuato attraverso il software NDA (*Network Deformation Analysis*) nella versione Professional.

Un aspetto importante di questo lavoro è appunto l'utilizzo di *NDA Professional* (software interamente sviluppato in Italia) per la compensazione geodetica su scala regionale, che pur mantenendo lo stesso modulo di elaborazione BPE di Bernese, risulta più agevolmente programmabile.

Per quanto riguarda la fase dell'elaborazione dei dati, sono state eseguite diverse tipologie: il processamento a singole linee di base e le compensazioni di rete giornaliere, settimanali e su 15 giorni di dati elaborati. Successivamente i risultati ottenuti, dalle diverse compensazioni di rete, sono stati filtrati in modo tale da ottenere gli andamenti temporali delle coordinate compensate delle stazioni permanenti, con gli relativi errori.

L'inquadramento della rete è stato effettuato nel sistema di riferimento IGS08, utilizzando le stime ufficiali delle coordinate e velocità pubblicate dall'IGS e il confronto dei risultati ottenuti è stato eseguito sugli errori nella determinazione delle coordinate stimate e sulle dispersioni massime. Infine, è stato eseguito un ulteriore controllo dei risultati ottenuti attraverso il software scientifico Bernese.

Le 22 stazioni permanenti utilizzate per la compensazione e il conseguente inquadramento in IGS08, sono state classificate in punti fissi (*Constrained Network Point*) e punti liberi (*Free Network Point*).

Le 3 stazioni appartenenti alla rete IGS (CAGZ, MATE e NOT1), appartengono alla categoria dei punti fissi in cui le stime delle coordinate iniziali e delle velocità inserite, sono state pubblicate dall'IGS e sono riferite all'epoca iniziale  $t_0 = 001/2005$ . Di seguito si riportano le stime delle coordinate e delle velocità (Tab. 1) delle SP di CAGZ, MATE e NOT1 pubblicate dall'IGS e ottenute dal sito dell'EUREF.

Per questa categoria di punti NDA provvede a determinare le coordinate iniziali propagando le coordinate dall'epoca iniziale  $t_0$  (001/2005) all'epoca dell'elaborazione, attraverso la formula di propagazione:

$$X_i(t^*) = X_i(t_0) + (t^* - t_0) * V_{X_i}(t_0) \quad (m)$$

$$Y_i(t^*) = Y_i(t_0) + (t^* - t_0) * V_{Y_i}(t_0) \quad (m)$$

$$Z_i(t^*) = Z_i(t_0) + (t^* - t_0) * V_{Z_i}(t_0) \quad (m)$$

dove:

- $X_i(t_0)$ ,  $Y_i(t_0)$ ,  $Z_i(t_0)$ , sono le stime delle coordinate riferite all'epoca  $t_0$ ;
- $V_{x_i}(t_0)$ ,  $V_{y_i}(t_0)$ ,  $V_{z_i}(t_0)$ , sono le stime delle velocità in m/y all'epoca  $t_0$ ;
- $t_0$ , è l'epoca iniziale doy/year;
- $t^*$ , è l'epoca corrente doy/year.

SP	IGS08	epoch $t_0$	Position (m)	Velocity (m/y)
CAGZ	152/2002 - 187/2009	001/2005	X= 4893379,972 $\pm$ 0,001	V <sub>x</sub> = -0,0133 $\pm$ 0,0001
			Y= 772650,479 $\pm$ 0,001	V <sub>y</sub> = 0,0197 $\pm$ 0,0000
			Z= 4004180,031 $\pm$ 0,001	V <sub>z</sub> = 0,0125 $\pm$ 0,0001
MATE	334/2008 - 187/2009	001/2005	X= 4641949,556 $\pm$ 0,001	V <sub>x</sub> = -0,0181 $\pm$ 0,0001
			Y= 1393045,423 $\pm$ 0,001	V <sub>y</sub> = 0,0189 $\pm$ 0,0000
			Z= 4133287,467 $\pm$ 0,001	V <sub>z</sub> = 0,0149 $\pm$ 0,0001
NOT1	246/2000 - 187/2009	001/2005	X= 4934546,230 $\pm$ 0,001	V <sub>x</sub> = -0,0175 $\pm$ 0,0001
			Y= 1321265,009 $\pm$ 0,001	V <sub>y</sub> = 0,0175 $\pm$ 0,0000
			Z= 3806456,124 $\pm$ 0,001	V <sub>z</sub> = 0,0155 $\pm$ 0,0001

**Tab. 1** – Stime delle coordinate e velocità delle stazioni permanenti utilizzate per l'inquadramento

Le 19 stazioni appartenenti alla rete dell'Università di Palermo e alla Geotop s.r.l., appartengono invece alla categoria dei punti liberi, ovvero punti non vincolati le cui stime delle coordinate sono incognite e da determinare attraverso le SP bloccate e le osservazioni comuni. A queste SP, sono state inserite le stime delle coordinate iniziali con precisione centimetrica (poiché le coordinate sono incognite e da determinare) e velocità nulla per ogni direzione x,y,z. L'inserimento delle coordinate iniziali per le stazioni permanenti, nasce dalla metodologia GPS del rilievo statico, ovvero le 19 stazioni permanenti la cui posizione al variare nel tempo è da determinare, costituiscono appunto i ricevitori rover, mentre le 3 stazioni permanenti la cui posizione è nota sono i ricevitori master (infatti l'interfaccia del software per la creazione delle baseline, necessita l'inserimento delle stazioni Reference e Rover).

Al fine di aumentare la precisione dei risultati (stime delle coordinate e soluzione di rete), sempre dal *settings summary* relativo alle stazioni permanenti inserite, sono stati importati i parametri delle maree oceaniche, richiesti per ogni stazione permanente che costituisce la rete. Create le baseline da processare, sono state modificate le impostazioni di default del software, adottando per ognuna di esse le seguenti impostazioni: calcolo basato su ricevitori multifrequenza, modello della troposfera *Saastamoinen+Niell*, modello della ionosfera utilizzando i parametri di *Klobuchar* e fissando un numero massimo di ambiguità pari a 400. Per quanto riguarda il fissaggio delle ambiguità si è scelto di utilizzare il metodo *LAMBDA* associato ad un test sul rapporto tra i valori chi quadrato delle due soluzioni più verosimili. Anche i parametri di rotazione della terra *Earth Orientation Parameters*, EOP, sono stati forniti dall'IGS con cadenza settimanale mentre i parametri giornalieri di *Klobuchar*, importati nel software per modellare l'errore ionosferico e forniti dal *Center for Orbit Determination in Europe* (CODE) dell'Osservatorio Astronomico dell'Università di Berna, sono stati ottenuti dal sito ftp del CODE all'indirizzo: <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/2011>.

Inoltre, per la correzione del centro di fase dell'antenna e per le effemeridi sole e luna, NDA provvede a integrare nei parametri di definizione della rete GNSS e proprio PHASCOD\_08 (distribuito dall'Università di Berna) e JPLEPH (distribuito dai *Jet Propulsion Laboratory*).