

## **Elaborazioni per l'inquadramento di reti GNSS statiche e dinamiche con software commerciale**

Guido Fastellini, Fabio Radicioni, Aurelio Stoppini

DICA – Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Perugia  
Via G. Duranti 93, 06125 Perugia, tel. 075 5853765, fax 075 5853756, e-mail [topos@unipg.it](mailto:topos@unipg.it)

### **Riassunto**

La presente ricerca ha l'obiettivo di valutare la utilizzabilità e l'affidabilità di procedure basate su software di post-processamento "commerciali" in applicazioni normalmente riservate ai software scientifici. L'articolo fa riferimento in particolare al problema dell'inquadramento di reti locali GNSS di interesse pubblico in un datum esterno.

Il problema ha un notevole interesse pratico con riferimento alla situazione attuale in Italia, dove si pone l'urgente problema di inquadrare in modo omogeneo le diverse reti GNSS locali, realizzate dalle Regioni e da altri enti e soggetti, sia nel datum globale ITRFyy/IGSyy sia nel datum nazionale realizzato dalla rete statica IGM95 (aggiornata da ETRF89 a ETRF2000) e dalla rete dinamica RDN (ETRF2000). L'analisi è stata condotta su casi reali utilizzando set di dati provenienti da reti regionali e da stazioni appartenenti a RDN. I risultati (soluzioni e serie temporali) ottenuti da software commerciale vengono posti a confronto con soluzioni ottenute con uno dei più noti software scientifici, Bernese 5.0.

La ricerca è stata sviluppata nell'ambito del progetto PRIN 2008 "Il nuovo sistema di riferimento geodetico italiano: monitoraggio continuo e applicazioni alla gestione e al controllo del territorio" coordinato dal Prof. Fernando Sansò del Politecnico di Milano.

### **Abstract**

The present research has the objective of evaluating the convenience and the affordability of post-processing procedures based on "commercial" software in applications normally reserved to scientific software. The paper refers in particular to the problem of including a local GNSS network of public interest into a given external datum.

Such problem has a relevant interest in the present situation in Italy, where there is the urgent need of homogenising a number of local networks, set up by Regional Councils or other institutions and subjects, into the global frame ITRFyy/IGSyy and in the national datum realised by the static network IGM95 (updated from ETRF89 to ETRF2000) and the dynamic network RDN (ETRF2000). The analysis has been carried out on real cases, utilising data sets deriving from networks of Italian Regions and stations included in RDN. The results (solutions and time series) obtained by means of commercial software are compared with solutions obtained through one of the most known scientific software, Bernese 5.0.

The research has been carried out in the frame of the PRIN 2008 project "The new Italian geodetic reference frame: continuous monitoring and applications to management and control of the territory" coordinated by Prof. Fernando Sansò, Polytechnic of Milan.

### **1. Introduzione**

L'elaborazione delle reti geodetiche GNSS istituzionali ai fini della stima delle coordinate per l'inquadramento in un datum esterno assegnato viene di norma eseguita con l'impiego di software scientifico, con tutti i benefici che ne conseguono: efficienza ed affidabilità degli algoritmi utilizzati

(in particolare nella modellazione dei bias); alto grado di flessibilità nell'impostare i parametri di elaborazione; ottenimento in output di informazioni della massima completezza (ad es. matrici di varianza-covarianza complete), che permettono di effettuare efficaci analisi statistiche a posteriori; possibilità infine di automatizzare e rendere routinaria l'esecuzione del calcolo mediante opportuni script (utile per il monitoraggio continuo delle reti e la creazione di serie temporali).

I migliori software "commerciali" oggi disponibili sono anch'essi caratterizzati da una buona qualità degli algoritmi (con la possibilità, tra le altre cose, di impiegare dati di calibrazione standard delle antenne) e da una discreta libertà nella scelta delle modalità di elaborazione.

Si ritiene quindi che la possibilità di utilizzare software commerciali per calcoli di inquadramento geodetico di reti locali istituzionali come quelle delle Regioni italiane meriti di essere approfondita per valutare l'affidabilità e la convenienza o meno dell'utilizzo di queste procedure.

## 2. Rete statica della Regione Umbria

Il primo caso analizzato è relativo a una rete statica, ovvero costituita da vertici materializzati stabilmente ma occupati solo all'atto delle misure.

La rete geodetica statica della Regione Umbria (fig. 1) costituisce un raffittimento della rete nazionale IGM95. Comprende 294 vertici che si sono aggiunti agli 87 vertici IGM95 preesistenti nel territorio regionale. La rete ha maglie piuttosto regolari e costituisce una struttura autonoma intrinsecamente determinata con ridondanza omogenea. I vertici hanno un'interdistanza media di circa 5,5 Km (media tra le lunghezze di tutte le baselines). Su ogni vertice (occupato almeno due volte nell'arco temporale di svolgimento delle misure) convergono 3 basi indipendenti, misurate con ricevitori GPS+GLONASS a doppia frequenza con sessioni di durata pari o superiore a 30 minuti, con intervallo di campionamento di 5 secondi.

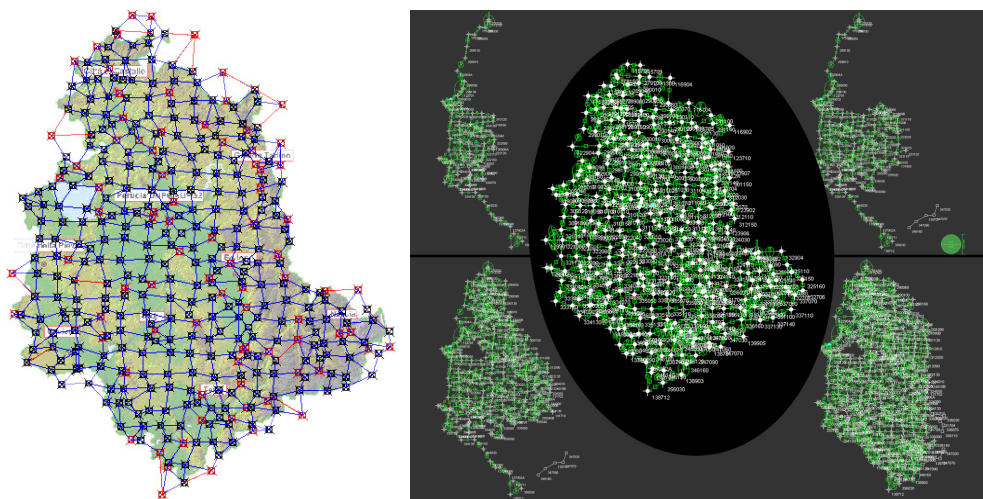


Figura 1 – Rete statica di raffittimento della Regione Umbria. A sinistra: schema delle baselines calcolate; a destra: fasi successive della elaborazione.

Una elaborazione di questa rete è stata eseguita con uno dei più noti software commerciali, *Geogenius 2000* di Spectra Precision Terrasat, Build 212 v.61. L'elaborazione è stata eseguita determinando singole baselines indipendenti secondo lo schema di fig. 1 e procedendo quindi a una compensazione a rete delle stesse. Per la valutazione del ritardo troposferico è stato adottato il modello di Hopfield. Si è considerato un angolo di cut-off di 10° per i satelliti GPS e 15° per i satelliti GLONASS.

L'elaborazione delle baselines è stata effettuata in modo interattivo (l'efficace interfaccia di questo software lo consente in modo agevole), verificandone i risultati una per una e procedendo quando necessario ad interventi di "editing" delle osservazioni (ad es. eliminazione dei periodi di misura con maggior rumore e cycle slips; variazione degli angoli di cut-off; esclusione di uno o più satelliti). In fig. 1, a destra, sono riportate alcune schermate di lavoro ottenute mentre le basi venivano elaborate, fino al completamento dell'elaborazione di tutte le 725 basi previste.

Per tutte le baselines sono state ottenute soluzioni fixed nella portante L1 e nella combinazione Ln. Per la compensazione si è adottato uno schema a minimi vincoli fissando un vertice IGM95 baricentrico nel datum ETRF89. La compensazione della rete è stata eseguita sia all'interno di Geogenius sia, per controllo, con il software *Geolab 2.4d*, che ha fornito risultati identici a meno di trascurabili effetti di arrotondamento. L'effetto di propagazione degli errori dovuto all'aver fissato un unico punto si evidenzia chiaramente nella rappresentazione grafica delle regioni di confidenza planimetriche dei vertici (fig. 2). Ai fini dell'inquadramento della rete è stata successivamente eseguita una trasformazione di Helmert su tutti i vertici IGM95. Nella compensazione si è ottenuto un valore massimo del semiasse maggiore dell'ellisse standard di 11 mm e una deviazione standard media in quota pari a 22 mm, in accordo con le specifiche tecniche dell'Intesa Stato-Regioni, in cui i valori limite per tali grandezze sono fissati rispettivamente in 3 e 5 cm.

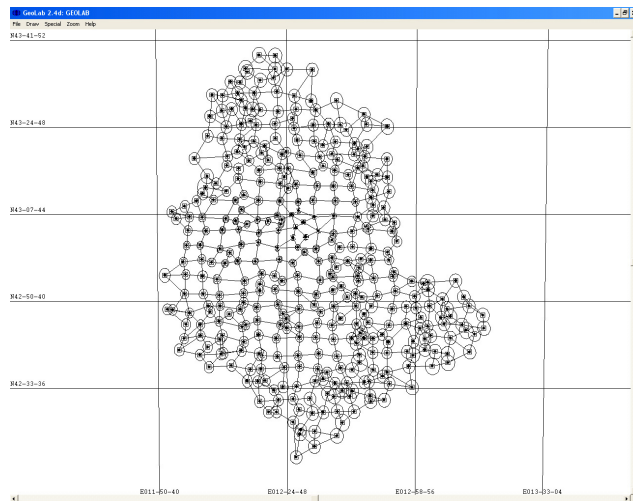


Figura 2 – Compensazione a minimi vincoli eseguita con *Geolab 2.4d*.

La soluzione Geogenius sopra descritta presenta una buona omogeneità e risulta conforme alle specifiche Stato-Regioni (anche in altri parametri, per i quali si rimanda a Barzaghi et al., 2008). Per valutarne l'attendibilità, essa è stata posta a confronto con una soluzione della stessa rete ottenuta mediante *Bernese 5.0*.

Nella elaborazione Bernese, le coordinate della soluzione Geogenius sono state assunte come valori iniziali. E' stato adottato anche in questo caso il modello Hopfield per la troposfera. La scelta delle baselines nel modulo SNGDIF è stata eseguita manualmente seguendo il progetto della rete, quindi realizzando lo stesso schema adottato in Geogenius. Il processamento è stato effettuato con il modulo GPSEST nella combinazione ionosphere-free, la compensazione con il modulo ADDNEQ2 nello stesso schema a minimi vincoli sopra descritto. Le regioni di confidenza sono risultate migliori rispetto alla soluzione Geogenius, con un semiasse maggiore massimo di 6 mm e una deviazione standard massima in quota di 19 mm (media 9 mm).

Il confronto tra la soluzione Geogenius e quella Bernese è stato eseguito sulle soluzioni a minimi vincoli, in quanto la successiva trasformazione di Helmert poteva alterarlo. Si è trovata una buona

coincidenza (fig. 3), con scarti in planimetria contenuti entro circa 7 mm, ed entro 15 mm circa sulla altezza ellissoidica. Valori quindi ampiamente compresi nelle specifiche istituzionali.

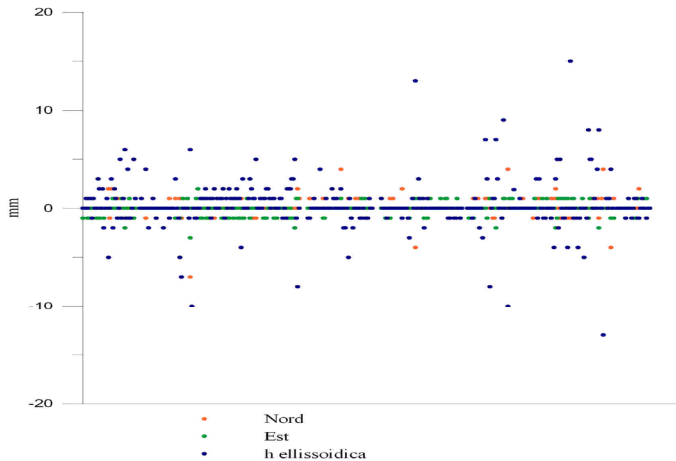


Figura 3 – Scarti tra soluzioni Geogenius e Bernese.

### 3. Rete dinamica della Regione Umbria

La Regione Umbria ha istituito, assieme alla Università degli Studi di Perugia, una rete di stazioni permanenti (fig. 4, sinistra), che copre l'intero territorio regionale con servizi di posizionamento in post-processamento e in tempo reale. La rete è stata realizzata immediatamente dopo la rete statica descritta al punto precedente (in realtà le fasi esecutive delle due reti si sono in parte sovrapposte), e il primo calcolo di inquadramento è stato pertanto eseguito nello stesso datum in cui era stata calcolata la rete statica (ETRF89).

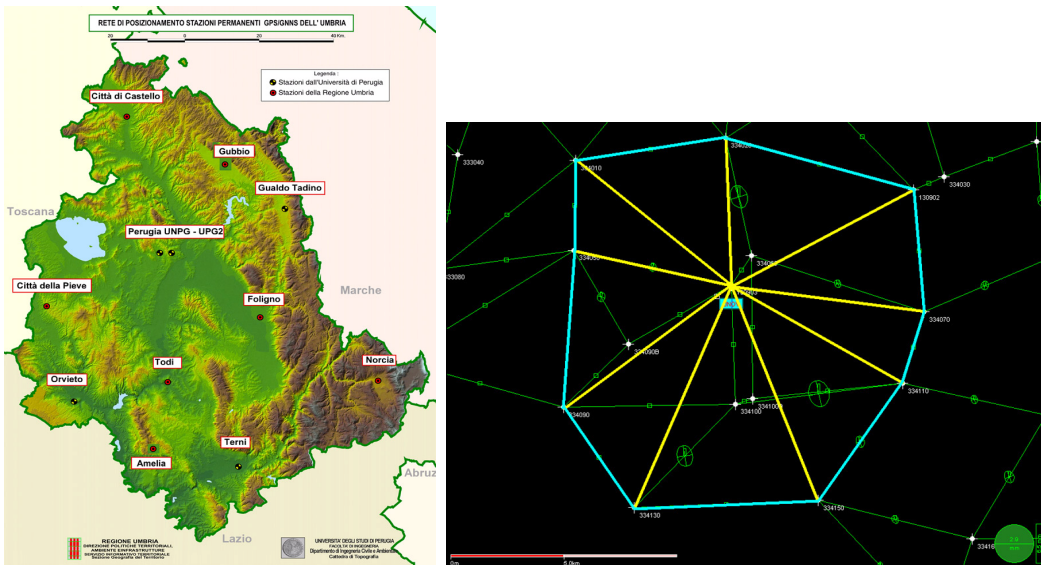


Figura 4 – A sinistra: la rete GPSUMBRIA. A destra: schema di collegamento di una stazione alla rete statica.

Allo scopo, per ciascuna stazione della rete dinamica sono state determinate da un minimo di otto a un massimo di undici baselines indipendenti di collegamento alla rete statica, scelte in modo da comportare lunghezze analoghe a quelle della rete statica stessa (fig.4, a destra). Le reti “a stella” risultanti da tale collegamento sono state compensate in blocco con la rete passiva. In tab.1 si riportano i valori dei semiassi maggiori delle ellissi standard e la deviazione standard in quota per le stazioni permanenti ottenuti dall’elaborazione e compensazione, eseguita come nel caso precedente sia con Geogenius che con Bernese 5.0. Si può notare come le soluzioni abbiano un’accuratezza leggermente migliore rispetto ai vertici della rete statica. Come nel caso precedente, le regioni d’errore stimate da Bernese sono più piccole di quelle valutate con Geogenius. La tabella 2 riporta gli scarti tra le coordinate delle stazioni calcolate con Geogenius e con Bernese, contenuti entro 1 mm per la planimetria e entro 9 mm per l’altezza.

*Tabella 1 – Semiassi maggiori delle ellissi standard planimetriche e deviazioni standard delle altezze per le SP della rete GPSUMBRIA, nelle due soluzioni Geogenius e Bernese.*

Stazione	Geogenius		Bernese	
	Semiassi maggiore (mm)	S.q.m. (mm)	Semiassi maggiore (mm)	S.q.m. (mm)
ITGT	4,7	10,6	3,6	6,1
REFO	4,5	10,1	4,3	6,5
REMO	6,0	12,8	1,1	1,6
RENO	6,0	13,7	4,9	7,3
REPI	4,2	9,0	0,9	8,5
RETO	4,6	9,8	2,9	9,8
UNOV	5,5	11,6	1,1	11,3
UNPG	3,0	6,3	1,2	1,7
UNTR	6,0	13,3	1,1	11,2
UPG2	4,2	8,1	1,2	1,7
<b>Max</b>	<b>6,0</b>	<b>13,7</b>	<b>4,9</b>	<b>11,3</b>
<b>Min</b>	<b>3,0</b>	<b>6,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,6</b>
<b>Media</b>	<b>4,9</b>	<b>10,5</b>	<b>2,2</b>	<b>6,6</b>

*Tabella 2 – Scarti per le SP della rete GPSUMBRIA tra le due soluzioni Geogenius e Bernese.*

Stazione	$\Delta N$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta H$ (m)
ITGT	0.000	0.000	-0.001
REFO	0.000	0.000	0.000
REMO	0.001	0.000	0.000
RENO	0.000	0.000	0.000
REPI	0.000	0.000	-0.009
RETO	0.000	0.000	0.000
UNOV	0.000	0.000	-0.007
UNPG	-0.001	0.000	0.000
UNTR	-0.001	-0.001	-0.009
UPG2	-0.001	0.000	0.002

Le coordinate ottenute dal precedente calcolo (a minimi vincoli) sono state poi rototraslate nel datum ETRF89/IGM95 applicando i parametri stimati come descritto al paragrafo precedente.

#### 4. Rete per lo studio degli effetti del sisma a L’Aquila

Per contribuire allo studio del comportamento presismico e postsismico nella sequenza di terremoti culminata nel tragico evento del 6 aprile 2009 a L’Aquila, è stata calcolata una rete (fig. 5, a sinistra) composta da 26 stazioni permanenti aventi come baricentro la zona più colpita.

Una descrizione completa della ricerca si trova in Dominici et al., 2010. Sono state elaborate soluzioni giornaliere con i software Bernese 5.0 e *Trimble Total Control* (v. 2.73 build 311), che come noto costituisce una versione aggiornata e rielaborata del già citato software Geogenius.



La parte destra della figura 5, tratta dall'articolo citato (si ringrazia la Prof. Dominici) mostra un confronto tra le serie temporali relative alla coordinata nord per tre stazioni significative, di cui le prime due nella zona più colpita mentre la terza si trova all'estremità sud della rete analizzata. L'elaborazione eseguita con il software commerciale mostra un comportamento del tutto simile a quello trovato con l'elaborazione Bernese.

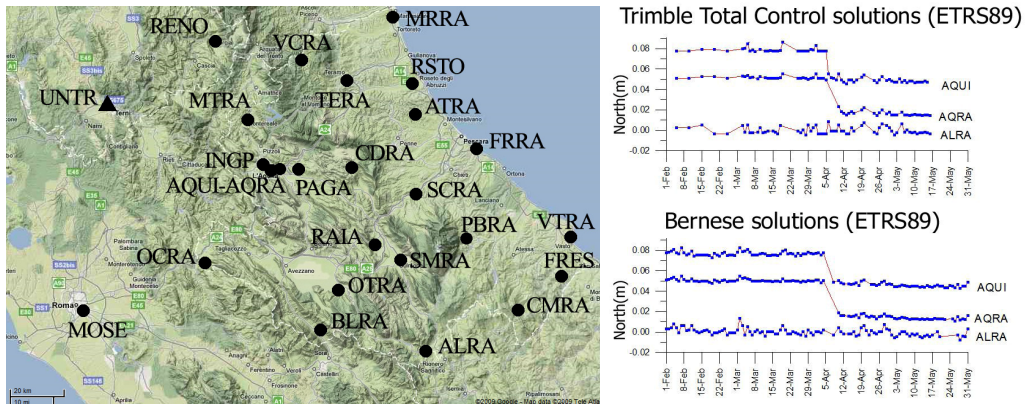


Figura 5 – A sinistra: la rete analizzata. A destra: serie temporali pre e post sisma relative a 3 stazioni.

### 5. Altre elaborazioni e confronti

Nell'ambito del progetto PRIN 2008 sono in corso altre elaborazioni volte allo studio e al confronto di soluzioni ottenute con software commerciale e scientifico per l'inquadramento di reti regionali di stazioni permanenti GNSS o problemi analoghi, anche in collaborazione con altre sedi universitarie partecipanti allo stesso progetto. I relativi risultati verranno pubblicati appena disponibili.

### Bibliografia

- Barbarella M., Radicioni F., Sansò F. editori (2009), Lo sviluppo delle tecnologie per le reti geodetiche, CISIS.
- Barzaghi R., Carrion D., Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A. (2008): New active and passive networks for a support to geodetic activities in Umbria. BGG – Bulletin of Geodesy and Geomatics (Bollettino di Geodesia e Scienze Affini), Vol. LXVII, n. 3, September/December 2008.
- Dominici D., Fastellini G., Radicioni F. (2010): The 6 April 2009 L'Aquila earthquake: different approaches for the evaluation of surface displacements. Proc. of Gi4DM Conference, Torino 2010. Applied Geomatics, Springer (in stampa)
- Radicioni F., Stoppini A., Fastellini G. (2006): Reti di stazioni permanenti GNSS e servizi di posizionamento su scala regionale. Mondo GIS, CARTOgraphica n. 16, Ottobre 2006.