

## **CONFRONTO DI CODICI DI CALCOLO PER L'INQUADRAMENTO DI RETI DI STAZIONI PERMANENTI PER IL POSIZIONAMENTO IN TEMPO**

Maurizio BARBARELLA (\*), Stefano GANDOLFI (\*),  
Antonio ZANUTTA (\*), Nicola CENNI (\*\*), Luciano RICUCCI (\*)

(\*) DISTART – Topografia – Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna  
Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna, tel. 051-2093106, fax. 051-6448073  
e-mail: (maurizio.barbarella@mail.ing.unibo.it, stefano.gandolfi@mail.ing.unibo.it, antonio.zanutta@mail.ing.unibo.it,  
luciano.ricucci@mail.ing.unibo.it)

(\*\*) Dipartimento di Fisica – Facoltà di SS.MM.FF.NN, Università di Bologna  
Viale Berti Pichat, 8 – 40127 Bologna, tel. 051-2095009  
e-mail: nicola.cenni@unibo.it

### **Introduzione**

Negli ultimi anni in Italia sono nate e stanno consolidandosi reti di Stazioni Permanenti GNSS Regionali per il posizionamento in tempo reale. Per un buon funzionamento di tali strutture, è necessario che le stazioni siano inquadrare nel sistema di riferimento delle orbite dei satelliti GNSS. Come noto tale sistema di riferimento si materializza sulla superficie terrestre mediante un *frame* che attribuisce sia coordinate che velocità ad osservatori geodetici (stazioni GPS, etc..) permanenti appartenenti a circuiti internazionali (IGS, EUREF, etc..). Le coordinate di un qualsiasi punto sulla superficie terrestre cambiano con continuità anche se il punto non subisce l'azione di eventi locali (frane, terremoti, etc.). Questo comporta la necessità di eseguire periodicamente l'inquadramento della rete istituita nel frame delle stazioni che definiscono il Sistema Geodetico assunto.

Tali calcoli richiedono l'uso di programmi di natura scientifica capaci di gestire sia le ricezioni che dati ancillari anch'essi prodotti dai centri di gestione dei sistemi geodetici internazionali. Attualmente i principali software che vengono utilizzati sono il codice Bernese, Gamit-Globk e Gipsy/Oasis II. Tali *software* possono basarsi o sul classico approccio differenziato con il calcolo di basi GNSS o sull'approccio non differenziato noto con l'acronimo PPP (Precise Point Positioning). Il lavoro fornisce alcune considerazioni sulla elaborazione dei dati di tali reti inquadrare nei sistemi di riferimento globali, utilizzando differenti software scientifici ed utilizzando differenti approcci.

### **1. Reti di stazioni GNSS permanenti per il posizionamento in tempo reale**

Le reti per il posizionamento in tempo reale costituiscono infrastrutture capaci di fornire ad un utente dotato di strumentazione apposita correzioni da applicare alle osservazioni di fase tali da consentire l'esecuzione di rilievi GNSS con precisione centimetrica in tempo reale senza l'ausilio di ricevitori di riferimento posti su siti a coordinate note. La posizione che si ottiene risulterà riferita al sistema di riferimento nel quale viene calcolata la rete di stazioni GNSS (oppure in un altro sistema di riferimento qualora nel messaggio di correzioni vengano già inseriti opportuni parametri di trasformazione). La determinazione delle coordinate delle stazioni di riferimento è aspetto delicato e fondamentale sia per consentire alla infrastruttura di operare al meglio delle proprie possibilità sia per consentire all'utente di ottenere coordinate accurate nel sistema di riferimento indicato dal fornitore di servizi. Attualmente in Italia il quadro delle infrastrutture di questo tipo è complesso ed eterogeneo. Esistono reti NRTK gestite da ditte che commercializzano ricevitori quali la rete ITALPOS e ASSOGEO, reti gestite da strutture private a livello regionale (rete SO.G.ER e IREALP) o direttamente dalle Regioni (Abruzzo). Il problema che ci si pone è dunque ampio e

consiste nell'attribuire coordinate accurate a tali stazioni permanenti per consentire ad ogni utilizzatore di posizionarsi in modo corretto rispetto al sistema di riferimento considerato.

E' inoltre da sottolineare come sia auspicabile che utenti differenti che utilizzano reti differenti, possano occupare lo stesso punto ottenendo le medesime coordinate (a meno dell'incertezza intrinseca del sistema). E' dunque chiaro come i gestori delle reti debbano prevedere un "monitoraggio" della propria rete capace di apprezzare variazioni significative delle coordinate delle stazioni (nel sistema geodetico del sistema GNSS) e monitorare di conseguenza i parametri di trasformazione da trasferire all'utente.

Il problema che ci si pone è relativo a quale sia l'approccio più corretto per ottenere la stima di tali coordinate, anche considerando la presenza di differenti possibilità di elaborazione del dato e differenti codici di natura scientifica che presentano le caratteristiche di idoneità a tali calcoli.

## **2. Aspetti di gestione del dato delle stazioni permanenti**

Le reti NRTK acquisiscono dati in continuo e tali osservazioni vengono poi memorizzate ed archiviate. Seppure i criteri che hanno portato i gestori di reti a definire siti e tipologie di centramenti forzati non seguano necessariamente standard internazionali, tali stazioni costituiscono comunque un patrimonio di dati utile non solo per il posizionamento in tempo reale. Tali dati possono essere utilizzati anche in altri campi applicativi o di ricerca e soprattutto devono essere la base di partenza per il controllo ed il monitoraggio delle coordinate da attribuire alle stazioni stesse. E' dunque importante comprendere come possa essere strategico attuare politiche di monitoraggio continuo della rete mediante l'uso di programmi di calcolo capaci di attuare procedure automatiche di calcolo. D'altro canto, ogni singola stazione presenta una propria storia che vede di tanto in tanto aggiornamenti *hardware* o *firmware* e dunque al fine di poter conservare tale patrimonio, si ritiene che si debbano mutuare standard internazionali di archiviazione dei dati anche su tali reti ed anche se le reti si rivolgono principalmente a utenti per il posizionamento in tempo reale.

Più in particolare sarebbe opportuno che per ogni stazione fosse disponibile il cosiddetto *logfile* contenente la "storia" della stazione. Nel *logfile* verrebbero dunque riportate tutte le variazioni e gli aggiornamenti apportati alla stazione. Inoltre sarebbe opportuno che all'interno degli *header* dei dati fossero presenti sigle standard caratterizzanti la stazione, il ricevitore ed il sito stesso nonché coordinate approssimate relativamente precise.

L'IGS (International GNSS Service) dopo anni di attività è giunta a definire standard comunemente accettati e disponibili gratuitamente (<http://igs.cb.jpl.nasa.gov/components/formats.html>). Tali standard interessano tutte le parti del dato a partire dalle sigle standard delle antenne e dei ricevitori GNSS. Inoltre la stessa IGS produce prodotti ancillari necessari alla elaborazione dei dati GNSS che rispettano fedelmente gli standard. Scegliere di attuare tale politica costituisce sicuramente uno sforzo iniziale ma che porta inevitabilmente ad una riduzione dei costi di calcolo delle reti (si noti che dalle esperienze condotte grande parte del tempo dedicato alla elaborazione dati GNSS si deve impiegare nella armonizzazione dei dati registrati).

## **3. Software di Elaborazione dati e strategia di elaborazione/inquadramento**

Assunta dunque centrale la necessità di calcolare con buona precisione le coordinate delle stazioni di riferimento, si pone il problema di quali possano essere i software disponibili che presentino buone attitudini ad affrontare tali calcoli. Esistono sul mercato molteplici software capaci di elaborare dati GNSS e la principale classificazione avviene tra codici di natura scientifica e codici commerciali. Sebbene in molteplici circostanze tali due classi di codici forniscano risultati confrontabili, esistono particolari circostanze dove i codici di natura scientifica appaiono più appropriati in quanto prevedono un livello di interagibilità più alta e la possibilità di introdurre elementi ancillari che nella maggior parte dei codici commerciali non è permessa. Il calcolo di grandi reti GNSS per ampie finestre temporali (mesi o anni) è sicuramente un settore dove i codici scientifici risultano essere più appropriati. Ciononostante anche all'interno dei codici scientifici si

pone il problema di quale tra essi sia il “migliore” o ancor meglio quali siano le differenze tra differenti codici. Si deve infatti sottolineare come la stessa IGS per la definizione del sistema IGB mondiale utilizza non un solo centro di calcolo e non un solo codice.

Per quanto attiene le attività di ricerca del DISTART, si è ritenuto interessante approfondire l'argomento individuando tre dei codici scientifici più utilizzati, e verificarne il loro funzionamento sotto molteplici aspetti. In particolare si sono utilizzati i codici Bernese (che presenta sia la possibilità di operare in modalità differenziata che nella modalità di Precise Point Positioning), Gamit (che utilizza un approccio differenziato) e Gipsy-Oasis II (che opera principalmente con approccio in modalità PPP). E' da evidenziare come gli utenti di un codice seguano spesso le indicazioni di chi ha sviluppato o sta sviluppando il codice stesso e che tali scelte non siano sempre mutuabili su altri codici. Il problema della strategia di calcolo però risulta essere un aspetto geodetico e sarebbe quindi opportuno utilizzare strategie comuni pur utilizzando codici differenti.

E' da sottolineare che nel passato erano stati già condotti test (sulla rete BO\_POS) che intendevano verificare in termini di precisione ed accuratezza, quali fossero i migliori risultati raggiungibili utilizzando ciascuno dei codici individuati nel modo “più corretto” possibile o meglio seguendo soprattutto le indicazioni degli sviluppatori dei codici (Barbarella et al., 2007).

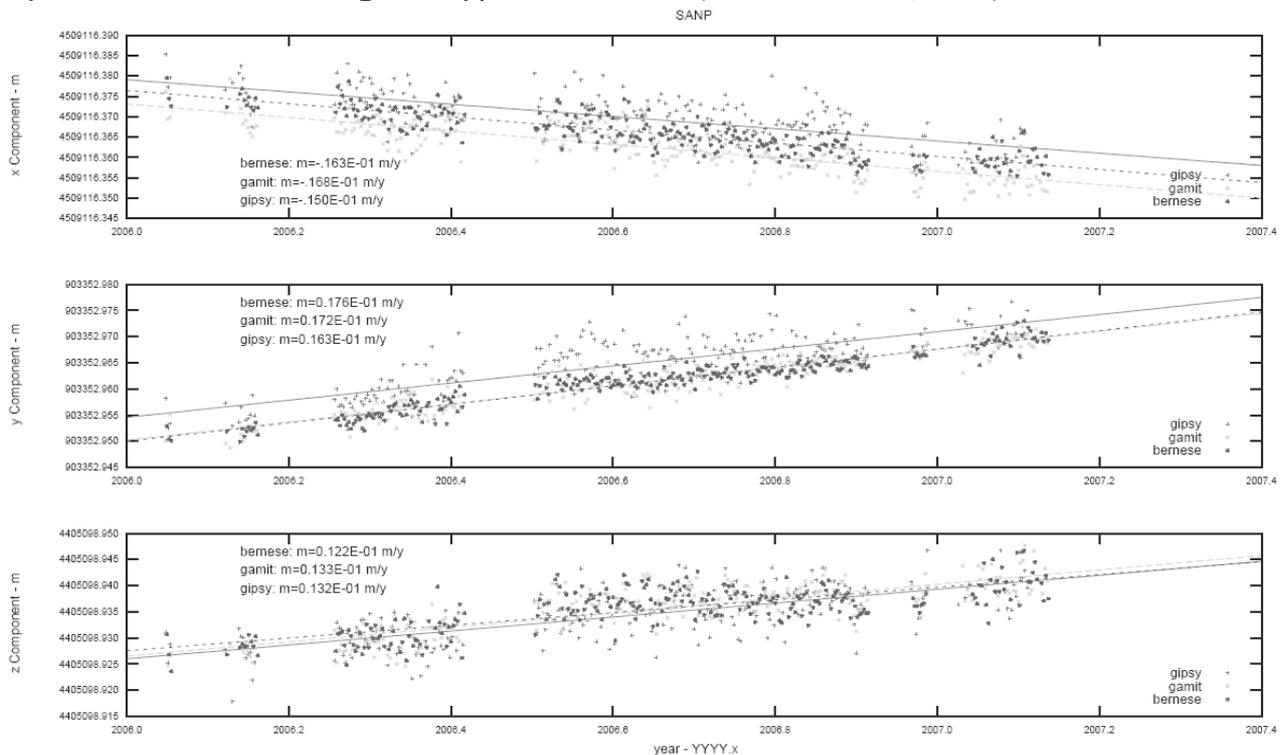


Figura 1 – Esempio di soluzione ottenuta dai codici Bernese Gamit e Gipsy per un sito della rete BO-POS nella prima sperimentazione.

I risultati ottenuti sono stati del tipo di quelli riportati in Figura 1 : i tre colori si riferiscono alle posizioni ottenute utilizzando i differenti codici (Bernese in blu, Gamit in verde e Gipsy in rosso), le linee rappresentano le regressioni lineari nei quindici mesi analizzati. I risultati hanno mostrato una sostanziale analogia tra i risultati dei differenti software, ma non è stato possibile comprendere la reale natura delle piccole differenze riscontrate, se cioè dovute a differenze effettive dei codici, oppure per contro dovute solo alle differenze dei parametri al contorno e delle procedure d'impiego utilizzate (in genere, quelle suggerite per ciascun codice). In questa nuova fase della sperimentazione, si intende rimuovere queste differenze ed eseguire i calcoli con le medesime condizioni al contorno, laddove i codici di elaborazione lo consentano. Per generalizzare il risultato, si è scelto sia di ripetere i calcoli sulla rete BO\_POS sia di elaborare una rete di estensione nazionale (rete ITALPOS della ditta Leica Geosystem Italia) definendo a priori tutte le condizioni e i criteri geodetici per il calcolo.

## 4. Strategie di calcolo e parametri al contorno comuni adottati per l'elaborazione dei dati GNSS

### 4.1 Rete di inquadramento

Uno dei primi problemi nel calcolo di reti consiste nell'individuare quali e quante stazioni di riferimento utilizzare per l'inquadramento nel/i sistema/i di riferimento desiderati. Per quanto attiene il contesto italiano emergono due sistemi di riferimento dai quali non si può prescindere (ITRS e ETRS). L'ITRS trova la sua realizzazione dei frames ITRF calcolati dallo IERS a partire da frames calcolati nel sistema IGB (ottenuti dalla *tracking network* IGS) e combinati con le soluzioni provenienti da altre tecniche di posizionamento. L'ETRS viene invece definito dalla rete EPN (European Permanent Network) calcolata inizialmente nel sistema ITRS e poi depurata dal moto medio della placca Euroasiatica. L'EUREF e l'IERS producono soluzioni ufficiali che esprimono le coordinate di alcune stazioni di riferimento nei frames desiderati. In Italia e nelle nazioni limitrofe



Figura 2 – Rete di inquadramento costituita da stazioni contemporaneamente IGS e EUREF individuate ed utilizzabili per il calcolo di una qualsiasi rete nel territorio italiano

sono collocate molteplici stazioni GNSS permanenti che in alcuni casi sono appartenenti sia alla *tracking network* IGS sia alla rete EPN dell'EUREF. Di queste stazioni esistono le coordinate e le velocità sia nel sistema ITRS che nel sistema ETRS. Ai fini del calcolo di reti di stazioni permanenti non è necessario né che le stazioni di riferimento siano ad altissima densità né che esse siano particolarmente prossime alla rete da dover calcolare. Quando si dispone di ampie finestre di osservazione giornaliera e prolungate per mesi o addirittura anni, allora gli approcci per il calcolo delle reti consentono di raggiungere le più alte precisioni ed accuratezze anche con basi di qualche centinaio di chilometri. Con tali premesse, è stato realizzato un progetto che definisce quali siano le stazioni più idonee a consentire il calcolo di una rete NRTK collocata in una qualsiasi parte d'Italia. Tali stazioni sono dunque stazioni IGS ed EUREF dalle quali è possibile dedurre

direttamente dagli enti preposti all'emissione degli aggiornamenti ai frames le coordinate che costituiscono un "vincolo" da dover onorare. Ultimo vincolo che si è considerato consiste nell'aver considerato la ormai prossima realizzazione della nuova Rete Dinamica Nazionale (RDN). Si è infatti verificato che tali stazioni fossero anche presenti in tale modo da essere comunque allineati con le nuove scelte dell'Istituto Geografico Militare e non dover rieseguire calcoli nel momento in cui tale rete costituirà l'infrastruttura di base per l'emanazione del nuovo sistema di riferimento nazionale. L'elenco delle 13 stazioni considerate comprende CAGL, GENO, GRAS, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, MEDI, NOT1, PADO, SOFI, WTRZ, ZIMM.

In realtà, vista l'ubicazione di tali stazioni, si è poi deciso di aggiungere alcune stazioni permanenti per coprire un "vuoto" presente nell'Italia centrale, nella Corsica e nella parte centrale dell'Adriatico introducendo tre stazioni (AJAC, MOSE e DUBR) che comunque appartengono alla

rete EUREF. In figura 2 vengono evidenziate le stazioni individuate a tale compito specificando con pallini gialli quelle che soddisfano i criteri di cui sopra e con pallini verdi le tre stazioni aggiunte per raffittire ulteriormente le aree che si sono ritenute scoperte. Il numero di stazioni per l'inquadramento risulta dunque essere di 16.

#### **4.2 Unificazione dei parametri di calcolo**

Dalla analisi delle possibilità di scelta dei parametri e dei dati ausiliari di calcolo consentiti dalle versioni più aggiornate (a giugno 2008) dei codici impiegati, è stato possibile definire un set di parametri unici per tutti i codici; in particolare i principali parametri utilizzati per le elaborazione dati sono i seguenti:

Angolo di Cut-Off per le osservazioni: 13°;

Soluzioni Lc;

Nessun ricalcolo delle orbite;

Nessun ricalcolo dei parametri terrestri;

Stesso set di coordinate a priori;

Errore quadratico medio attribuito alle coordinate a priori 10m;

Orbite precise: IGS – SP3;

Variazioni dei centri di fase assolute delle antenne sia dei satelliti che dei ricevitori (Standard IGS);

Funzione mappante per la troposfera: Niell (1996);

Modello troposferico: Saastamoinen (1972).

#### **4.3 Dati di reti NRTK**

Spesso le reti NRTK presentano dati archiviati che contengono “buchi” o problemi. Tali problemi, almeno nel passato, erano dovuti al fatto che il file delle osservazioni veniva generato a partire da dati ricevuti in *streaming* dal centro di controllo. In sostanza ogni dato ricevuto in tempo reale veniva accumulato con quelli precedenti ed alla fine della giornata si disponeva del file di osservazioni per quella stazione. Il problema che si verificava era che di fatto non vi era garanzia di continuità nel flusso di dati e dunque capitava spesso che qualche pacchetto di osservazioni non venisse registrato dal centro di calcolo. Attualmente i software consentono, nella maggior parte dei casi di acquisire in modo giornaliero i dati ricevuti da ciascuna stazione ed archiviati preventivamente nel ricevitore stesso. In questo modo, il centro di controllo riceve giornalmente il file di dati del giorno precedente con un'unica trasmissione ed il file risulta essere “pieno”.

Ciononostante può capitare che alcune stazioni presentino dati non completi sulle 24 ore e dunque preventivamente, vista la consistenza del *dataset* a disposizione, si è scelto di non elaborare file che presentassero finestre di osservazioni inferiori alle 8 ore.

### **5. Il calcolo della rete ITALPOS**

Come già anticipato, le scelte adottate e i calcoli sono stati eseguiti preliminarmente sulla rete BO\_POS gestita dal DISTART per scopi di natura puramente scientifica e mutuati sulla rete ITALPOS della ditta Leica. I calcoli sono stati eseguiti utilizzando i tre codici di cui sopra con le condizioni geodetiche individuate. Come mostrato in Figura 3, la rete ITALPOS è costituita da 130 stazioni (stato dell'arte al mese di giugno 2008), l'intervallo considerato (7 mesi) è più che sufficiente per la stima delle coordinate ma non per la stima accurata delle velocità. E' inoltre da sottolineare che non tutte le stazioni presentano dati per l'intero intervallo temporale considerato anche perché molte di esse sono state installate da poco. La prima fase è consistita nelle operazioni preliminari di pulizia del dato, con accurata indagine sulle antenne realmente installate e sui formati dati: come noto questa è una fase particolarmente lunga e complessa, ma che deve essere effettuata



Figura 3 – La rete ITALPOS di Leica (pallini blu) aggiornata al mese di giugno 2008

con la massima cura, come del resto si è accennato precedentemente. La seconda fase, consistente nel calcolo vero e proprio, è già iniziata e ha consentito di mettere a punto ulteriormente il set di dati eliminando incoerenze restate dopo l'analisi preliminare. Non ci si sta limitando solo alla elaborazione degli stessi dati con tre codici diversi, ma si stanno sperimentando diverse modalità di calcolo, consentite o suggerite dai diversi programmi. Tale scelta di natura prettamente scientifica intende indagare quali siano attualmente le tecniche che garantiscono maggior affidabilità per casi come questi. Per quanto attiene il codice Bernese, è stato scelto di effettuare il calcolo un unico cluster per l'intera rete e sono state realizzate anche soluzioni in PPP. Con il codice Gipsy è stato eseguito il confronto tra l'uso delle orbite JPL con file di calibrazione

delle antenne relative e file di trasformazione e l'uso di orbite IGS, con file di calibrazione assoluta delle antenne. I tempi di calcolo variano notevolmente al variare delle potenzialità della macchina a disposizione ma da prime analisi emerge come le soluzioni PPP siano di gran lunga più veloci richiedendo circa una settimana di calcolo per l'intera rete. Le soluzioni con approccio differenziato richiedono almeno il doppio del tempo se non il triplo. Tali risultati ottenuti sono comunque in linea con quanto si conosce dalla teoria del calcolo differenziato rispetto all'approccio PPP.

### Bibliografia

Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E., (2006). "The Use of a GNSS Test Network for Real Time Application in Italy: First Results Based on Regional Field Test", *ION GNSS 19<sup>th</sup> International Technical Meeting of the Satellite Division*, 26-29 September 2006, Fort Worth, TX, USA, 1226-1232.

Barbarella M., Gandolfi S., Zanutta A., Cenni N., (2007), "Tecniche per l'inquadramento di reti di stazioni permanenti regionali per il posizionamento in tempo reale". *Atti del Convegno Nazionale SIFET (ISBN 88-901939-4-8)*, 27-29 giugno 2007, Arezzo, 52-59

J.M. Dow, R.E. Neilan, G. Gendt, (2005), "The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th Anniversary and Looking to the Next Decade", *Adv. Space Res.* 36 vol. 36, no. 3, pp. 320-326, 2005. doi:10.1016/j.asr.2005.05.125

Zanutta A., Gandolfi S., Vittuari L., (2008), "Geodetic GPS-based analysis of recent crustal motions in Victoria Land (Antarctica)", *Global and Planetary Change (ISSN: 0921-8181)*, 62 (2008) 115–131, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.01.001