

Procedure automatiche per il monitoraggio quasi real time di reti di stazioni permanenti mediante approccio Precise Point Positioning

Stefano Gandolfi, Luca Poluzzi

DICAM-ARCES, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna, Tel. 051-2093106, Fax 051-2093114, e-mail: stefano.gandolfi@unibo.it, poluzzi.luca@gmail.com

Riassunto

Le finalità delle reti di stazioni permanenti *GNSS*, in ambito geodetico, sono: l'erogazione di servizi di posizionamento di precisione in tempo reale, la definizione ed il monitoraggio dei sistemi di riferimento, e il controllo del territorio e delle strutture. In particolare, nei casi di monitoraggio, può essere utile disporre di un dato continuo. Il metodo di calcolo denominato Precise Point Positioning è una valida alternativa all'approccio differenziato e presenta vantaggi in termini di flessibilità, in quanto non impone correlazioni tra stazioni. Esso, così come l'approccio differenziato, consente quindi il calcolo in quasi tempo reale di una qualsiasi rete di stazioni *GNSS*. In questo lavoro si intende mostrare una procedura, realizzata ad hoc completamente automatica in grado di elaborare grandi reti di stazioni permanenti con ritardo giornaliero o settimanale e precisioni centimetriche sulla singola stima. Tale procedura può essere riassunta in 4 macrofasi: prelievo dati (download dati *GNSS* e file ancillari), pre-analisi (valutazione consistenza del *dataset* e individuazione di eventuali errori di natura formale), processamento, post-trattamento (la conversione in diversi sistemi di riferimento o di coordinate, individuazione e successiva rimozione di eventuali *outlier* nell'ipotesi di comportamento lineare, redazione di risultati grafici). Il campione di dati utilizzati per valutare l'applicabilità della procedura in termini generali consiste in una rete *GNSS* costituita da 16 stazioni permanenti omogeneamente distribuite sul territorio italiano e zone limitrofe.

Abstract

The purposes of the permanent stations networks in geodetic context are: the provision of positioning accuracy in real time, the definition and monitoring of reference systems, and control of land and structures. In particular, in cases of monitoring, may be useful to have a continuous data. The calculation method called Precise Point Positioning is an alternative of differentiated approach and it has advantages in terms of flexibility, being devoid of constraints between the stations. As well as the differentiated approach, it allows thus the calculation in quasi real time of a network of any *GNSS* stations. This paper intends to show a fully automatic procedure, purpose-built, capable of processing large network of permanent stations with daily or weekly delayed and centimeter accuracy on single estimate. This procedure can be summarized in 4 macro phases: collection (download *GNSS* data and ancillary files), pre-analysis (evaluation of consistency of the dataset and identification of possible errors of formal nature), processing, post-treatment (converting to different reference systems or coordinates, identification and subsequent removal of potential outliers in case of linear behavior, drafting of graphical results). The data sample used to evaluate the applicability of the procedure, is constituted by a geodetic network of 16 *GNSS* permanent stations evenly distributed over the Italian territories and neighbors.

1. Introduzione

Il numero sempre crescente di stazioni permanenti *GNSS*, ma soprattutto la grande reperibilità dei relativi dati, unita ad un loro elevato grado di aggiornamento, stanno portando all'espansione dell'impiego di tali dati a ambiti di natura differente. Al fine di poter gestire tali infrastrutture in modo pieno, è necessario automatizzare il processo di elaborazione del dato. Per questo motivo è stata realizzata una procedura automatica che esegue tutte le fasi di trattamento dati. L'elaborazione dei dati *GNSS* avviene storicamente utilizzando un approccio differenziato, ma, a partire dalla fine degli anni novanta, è in grande ascesa un diverso tipo di elaborazione noto con il nome di *Precise Point Positioning (PPP)* basato su un approccio non differenziato e sviluppato inizialmente dal *Jet Propulsion Laboratory - NASA* (Zumberge et al., 1997). Tale approccio consente di ottenere la posizione del singolo ricevitore a posteriori, utilizzando in blocco osservazioni di fase e di codice non differenziate e orbite precise (dotate di accuratezza centimetrica). Per ridurre ulteriormente la dispersione delle soluzioni, viene inoltre eseguita nella fase successiva al calcolo, una operazione di inquadramento della rete mediante l'utilizzo di stazioni permanenti già note nel sistema di riferimento utilizzato. Per questo motivo il *PPP* si può considerare un approccio ottimale in un contesto di monitoraggio in quasi real-time (Gandolfi et al. 2005, Gandolfi 2009).

In questo lavoro si vuole presentare una procedura completamente automatica, la quale concatena una sequenza di operazioni che permettono di ottenere le serie temporali di ciascuna stazione permanente posta sotto controllo in formato numerico e grafico. Tale procedura è stata realizzata interamente in ambiente Linux, in quanto tale sistema operativo presenta notevoli vantaggi tra i quali la possibilità di utilizzare molteplici pacchetti *open-source* e sfruttare al meglio le risorse hardware (multi processore) grazie alla creazione di script *ad-hoc* che consentono la parallelizzazione dei processi. I suddetti *scripts* sono redatti gran parte in linguaggio *Perl*, ma anche in *C-shell* e *Fortran* e si servono del pacchetto *GIPSY OASIS II* (prodotto dalla *Jet Propulsion Laboratory - NASA*) per l'elaborazione del dato *GNSS* con approccio *PPP*.

2. Schema generale

Lo schema base della procedura si può riassumere in 4 macrofasi evidenziate in figura 1.

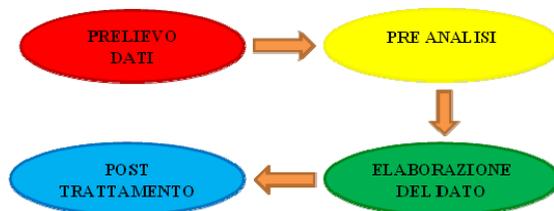


Figura 1. Macrofasi della procedura automatica di elaborazione di una rete *GNSS*.

Di seguito, brevemente si riportano, per ciascuna fase, le principali azioni svolte:

- Fase I. **Prelievo Dati:** In questa fase viene eseguito il download di tutti i file *GNSS*, i file delle orbite (precise e rapide). Ogni singola azione presenta diversi livelli di controllo in grado, in modo automatico, di segnalare al gestore tramite e-mail eventuali errori nel processo.
- Fase II. **Pre-Analisi:** in questa fase viene eseguita una valutazione in termini di consistenza del *dataset* acquisito. In particolare vengono effettuate alcune verifiche di congruenza dei file per appurare errori di natura formale potenzialmente critici per l'elaborazione. E' poi possibile a posteriori correggere le incongruenze creando un nuovo archivio omogeneamente costruito secondo gli standard internazionali sia dal punto di vista dell'architettura di archiviazione sia per quanto attiene il formato (*STAZDOYS.YYd.Z*). Inoltre in questa fase è possibile anche ottenere dati statistici dell'archivio considerato.

- Fase III. **Elaborazione del dato:** rappresenta il fulcro dell'intera procedura e consiste nell'elaborazione dei dati *GNSS* con approccio *PPP* grazie all'utilizzo del pacchetto *GIPSY OASIS II*. In particolare per ogni singolo giorno viene stimata la posizione di tutti i punti della rete. Successivamente mediante una stima a sette parametri calcolata sui punti doppi è possibile inquadrare l'intera rete sul sistema di riferimento desiderato. In questo modo si ottiene una soluzione finale. Se la rete posta sotto monitoraggio è una rete utilizzata per l'inquadramento allora i *files* di trasformazione (*xfiles*) contenenti i sette parametri possono essere archiviati ed applicati direttamente a qualsiasi altra soluzione *PPP* di una qualsiasi altra rete all'interno del perimetro della rete di inquadramento anche se quest'ultima non contiene stazioni di inquadramento (figura 2).
- Fase IV. **Post-Trattamento:** tale fase è costituita da una serie di procedure che consentono di ottenere a partire da soluzioni giornaliere di rete in un sistema geocentrico cartesiano le serie temporali e risultati grafici per ciascuna stazione posta in analisi. In particolare per ciascun sito le coordinate di ogni giorno vengono convertite anche in geografiche e geodetiche locali. Inoltre vengono individuati e successivamente rimossi eventuali *outliers* nell'ipotesi di comportamento lineare della serie temporale. Infine vengono redatti i risultati grafici mediante il software *Generic Mapping Tools*.

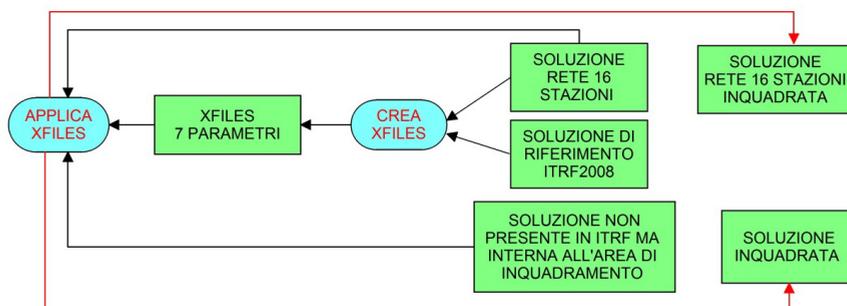


Figura 2. Schema del processo di realizzazione di applicazione di *xfiles* contenenti i parametri di trasformazione per il passaggio al sistema di riferimento desiderato.

3. Implementazione della procedura ad un caso reale per monitoraggio di precisione e in tempo quasi reale

Lo schema esposto in paragrafo 2 può avere molteplici impieghi: esso infatti può funzionare sia utilizzando orbite precise sia utilizzando orbite rapide, tuttavia, a causa della necessità di dover disporre dei file di calibrazione degli orologi, non è possibile impiegare le orbite ultra rapide che consentirebbero un vero e proprio monitoraggio in real-time. Nell'ipotesi di valersi di orbite fornite dal *JPL* è anche possibile, in fase di elaborazione del dato *GNSS*, applicare la procedura per la risoluzione dell'ambiguità iniziale di fase, che induce un miglioramento particolarmente visibile nella componente *est*. Per quanto riguarda l'impatto delle orbite, l'utilizzo di quelle precise rispetto alle rapide è veramente modesto ma formalmente più corretto e dunque al fine di non dover attendere le soluzioni 14 giorni (tempo di ritardo nell'erogazione delle orbite precise da parte del *JPL*) è stata realizzata una procedura unica che applica a *dataset* diversi, lo stesso processo indicato precedentemente. Una prima procedura viene eseguita con cadenza giornaliera: essa utilizza i dati scaricati (*files Rinex* e orbite rapide), producendo quotidianamente soluzioni con un solo giorno di ritardo. Gli stessi dati vengono poi rielaborati con cadenza settimanale e 16 giorni di ritardo utilizzando però le orbite precise (Figura 3). Tali procedure consentono un monitoraggio quasi in tempo reale con successivo affinamento al momento della disponibilità delle orbite precise. Sia nella elaborazione con orbite rapide che con quella con orbite precise vengono stimati i parametri di trasformazione per l'inquadramento nel sistema di riferimento desiderato.

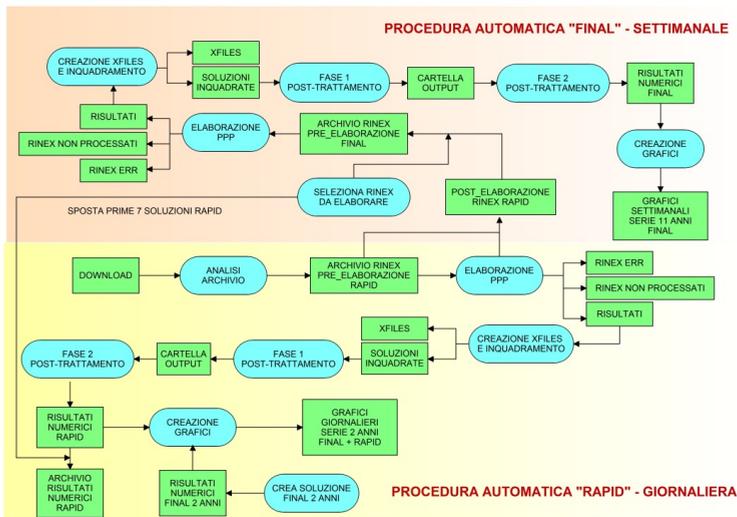


Figura 3. Schema dettagliato delle procedure automatiche, con le relative cartelle (verdi) e script (azzurro) operanti.

4. Applicazione alla rete di inquadramento IGS/ITRF

Una volta creato il motore della procedura automatica, si è scelto di testarla su una rete di inquadramento IGS/EUREF costituita da 16 stazioni permanenti omogeneamente distribuite sul territorio italiano e in zone limitrofe come mostrato in Figura 4. Tutte le stazioni considerate sono anche quelle utilizzate per l'inquadramento della Rete Dinamica Nazionale (RDN) che ha permesso la istituzione del Nuovo Sistema geodetico nazionale in ETRS89 – ETRF00 epoca 2008.0.

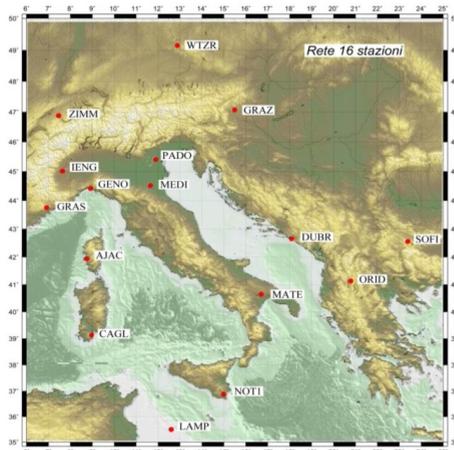


Figura 4. Rete GNSS utilizzata per la sperimentazione.

5. Prodotti finali

I prodotti finali di tale procedura sono file contenenti serie temporali per ciascuna stazione in tre sistemi di riferimento (geocentriche, geografiche e geodetiche locali) suddivisi tra soluzioni statisticamente accettate sotto l'ipotesi di andamento lineare e soluzioni rigettate. Tali serie temporali vengono poi rappresentate in modo grafico su file *Post Script* e *Pdf* per consentire una agevole lettura. La differenza sostanziale tra le due procedure sta nel fatto che in quella giornaliera, viene elaborata una serie temporale poco estesa contenente la soluzione finale relativa ad un periodo inferiore a due anni e nella quale viene concatenata la soluzione con orbite rapide degli ultimi giorni mancanti. Nella procedura settimanale vengono invece calcolate le serie temporali complete e definitive, vale a dire quelle elaborate con orbite precise.

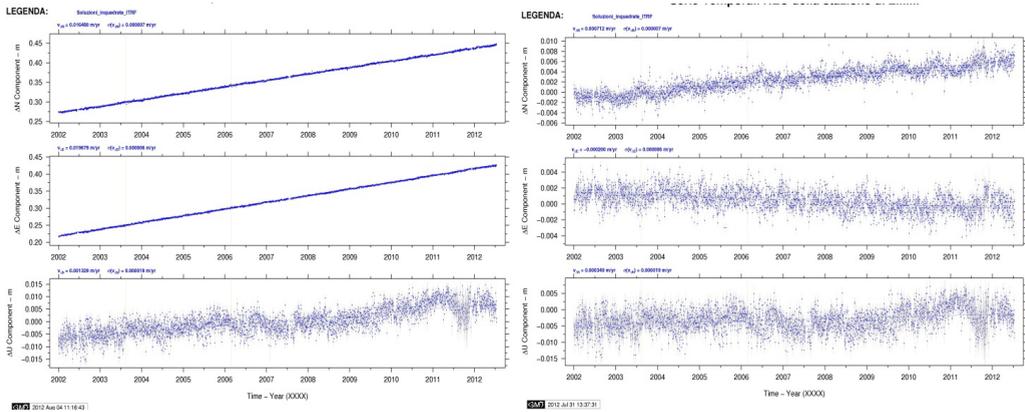


Figura 5. Procedura settimanale con orbite Precise, Serie temporali della stazione di Zimmerwald nel sistema ITRF (sinistra) ed ETRF(destra).

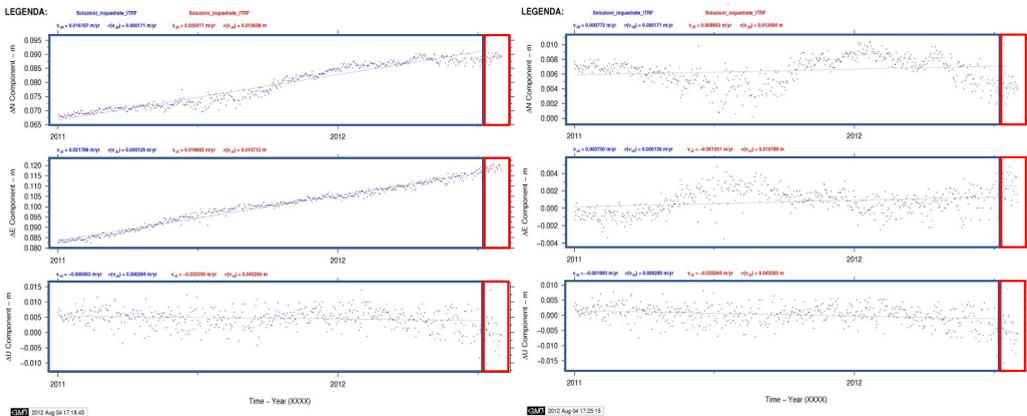


Figura 6. Procedura giornaliera, Serie temporali della stazione di Padova nel sistema ITRF (sinistra) ed ETRF(destra) – Soluzione evidenziata in blu: orbite Precise, Soluzione evidenziata in rosso: orbite Rapide.

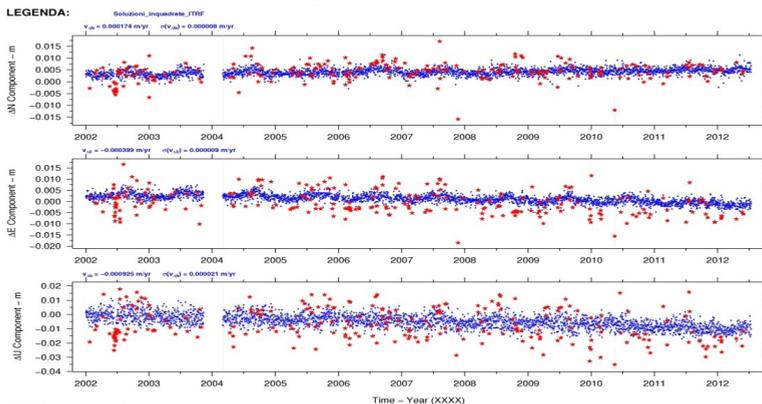


Figura 7. Procedura settimanale con orbite Precise, Serie temporale comprensiva degli outliers (punti rossi) della stazione di Cagliari.

6. Conclusioni

È stata presentata una procedura completamente automatica che permette di ottenere soluzioni giornaliere con orbite rapide e soluzioni settimanali con orbite precise di una rete di stazioni permanenti GNSS. Tale procedura scritta in linguaggio *Perl* e sviluppata in ambiente Linux si avvale come codice di calcolo per l'elaborazione del dato GNSS, del pacchetto software *GIPSY OASIS II* sviluppato al *JPL (NASA)* e, per quanto attiene i risultati grafici del pacchetto *Generic Mapping Tools (GMT)*. Il campione di dati utilizzati per valutare l'applicabilità della procedura in termini generali consiste in una rete GNSS costituita da 16 stazioni permanenti facenti parte dell'ITRF e omogeneamente distribuite sul territorio italiano e zone limitrofe. La possibilità di utilizzare tali procedure in ambito di monitoraggio ha richiesto un calcolo (con le stesse modalità seguite per lo sviluppo della procedura automatica) di un set consistente di dati. Quindi in tale ottica, i dati delle 16 stazioni permanenti sono stati elaborati per una finestra complessiva di 11 anni. Tale elaborazione ha consentito di valutare i livelli di precisione ed accuratezza ottenibili e dunque individuare il campo di applicabilità del metodo ai fini del monitoraggio. In questa fase di studio sono stati valutati differenti approcci o tipologie di soluzione. L'applicazione dei parametri di trasformazione di similitudine è risultata efficace già con quelli direttamente forniti dal *JPL* ed ulteriormente migliorativa usando parametri di trasformazione regionali calcolati *ad-hoc* per l'area monitorata.

7. Bibliografia

- Gandolfi S., Gusella L., Milano M., 2005, Precise Point Positioning: studio sulle accuratezze e precisioni ottenibili, *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini (ISSN 0006-6710)*, 4, 2005, 227-253.
- Barbarella M., Gandolfi S., Zanutta A., Cenni N., Ricucci L., 2008, Confronto di codici di calcolo per l'inquadramento di reti di stazioni permanenti per il posizionamento in tempo reale, *Atti 12^a Conferenza Nazionale ASITA (ISBN 978-88-903132-1-9)*, *L'Aquila*, 21-24 ottobre 2008, pp. 281-286.
- Gandolfi S., 2009, L'approccio non differenziato (Precise Point Positioning) nel calcolo di posizioni mediante sistemi GNSS, *Bollettino SIFET (ISSN 1721-971X)*, 2009, 1, 121-137
- 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.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato condotto all'interno del programma di ricerca di interesse nazionale PRIN2008 coordinato dal Prof. Fernando Sansò dal titolo: "Il nuovo sistema di riferimento geodetico italiano: monitoraggio continuo e applicazioni alla gestione e al controllo del territorio".