Precisioni ottenibili dall'approccio PPP mediante uso di parametri di trasformazione regionali

Stefano Gandolfi, Luca Tavasci, 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, luca.tavasci2@unibo.it; luca.poluzzi5@unibo.it

Riassunto
Nel seguente lavoro vengono presentati alcuni risultati di uno studio condotto a partire da un *dataset* di 14 stazioni permanenti collocate sul territorio italiano e regioni limitrofe volto a valutare le precisioni attualmente raggiungibili mediante approccio PPP con particolare riferimento al miglioramento dei risultati a seguito dell'applicazione di parametri di trasformazione regionali. Nel lavoro si evidenzia come per applicazioni di natura regionale, esistano benefici nell'applicare ad una qualsiasi soluzione ottenuta mediante approccio PPP parametri di trasformazione giornalieri ottenuti a partire da una rete di inquadramento di cui risultano note le coordinate nel sistema di riferimento desiderato. In particolare l'analisi ha coperto un arco temporale di 6 anni evidenziando come nell'approccio PPP non inquadrato con parametri di trasformazione regionale permanga un *segnale comune* non imputabile a fenomeni di natura geologica o geofisica e che di fatto riduce la ripetibilità nella stima. Tale lavoro è una sintesi di un lavoro più completo in corso di stampa sulla rivista *GPS Solution* a nome dei medesimi autori dal titolo "Improved PPP performance in regional networks".

Abstract
In this paper the main results obtained by a study on a subnetwork of the EUREF Permanent Network has been reported. The study focus the impact of different methods to align PPP solution into ITRS Reference System using both global and regional transformation parameters. In particular we demonstrate as the regional parameter transformation improve accuracy and repeatability without remove any local periodical signal detected by the permanent stations. The considered dataset is constituted by 6 years of 14 permanent stations located in Italy and neighbor regions. This work is a review of a more complete work published in 2015 in *GPS solution* entitled "Improved PPP performance in regional networks" by the same coauthors of this contribute.

1. Introduzione

I sistemi di posizionamento GNSS di precisione costituiscono attualmente uno strumento largamente utilizzato per scopi di monitoraggio di sistemi di riferimento (alle differenti scale), di frane e di strutture. Essi sono anche utilizzati per applicazioni di natura tecnica, in particolare mediante tecnica RTK e NRTK. Il posizionamento di GNSS consente di raggiungere precisioni sub-centimetriche se le stazioni acquisiscono dati per lunghe finestre temporali e le massime precisioni sono raggiungibili da stazioni permanenti. Tradizionalmente il metodo di calcolo che garantiva le massime precisioni era basato sull'approccio differenziato, capace di eliminare le derive degli orologi dei ricevitori e dei satelliti. Questo approccio ancora largamente utilizzato stima di fatto la base tra due punti in acquisizione contemporanea permettendo quindi di calcolare le coordinate di un ricevitore a partire dalle coordinate del secondo ricevitore posto a coordinate note.
Alla fine degli anni '90 un approccio alternativo denominato Precise Point Positioning (PPP) (Zumberge et al 1997) permetteva di stimare le coordinate di un ricevitore GNSS senza l'ausilio di

un secondo ricevitore posto su un sito a coordinate note. Le precisioni ottenibili da questo sistema di elaborazione del dato non erano né in termini di precisione che di accuratezza allo stesso livello di quelle ottenibili dall'approccio differenziato. Dopo 15 anni circa, a seguito di alcune importanti evoluzioni tra cui la stima dell'ambiguità inziale di fase, il miglioramento nella stima delle orbite dei satelliti e soprattutto i file di correzione degli orologi, tale tecnica consente di raggiungere precisioni ed accuratezze dello stesso ordine di grandezza di quelle ottenibili dall'approccio differenziato almeno per osservazioni prolungate. In generale l'approccio PPP consente di ottenere la posizione di un punto rispetto al sistema di riferimento delle orbite dei satelliti e per migrare da un sistema all'altro è necessario applicare parametri di trasformazione generalmente determinati a partire da una rete globale. In questo lavoro si intendono mostrare i risultati, in termini di miglioramento sia delle precisioni che delle accuratezze, derivanti dall'uso di una rete di stazioni permanenti regionali e delle stima dei parametri di trasformazione ad essa relativi.

Dataset ed elaborazione del dato

Il dataset considerato è l'insieme delle 16 stazioni (figura 1) che appartengono alla rete EPN (European Permanent Network) utilizzata per l'inquadramento della Rete Dinamica Nazionale (RDN) (Barbarella et al. 2009). Il periodo considerato di 6 anni (2007-2012). L'elaborazione è avvenuta mediante codice di calcolo Gipsy Oasis II (Webb e Zumberge, 1997) in modalità Precise Point Positioning con risoluzione dell'ambiguità ed utilizzo di orbite precise e correzioni degli orologi provenienti dal JPL-NASA (Hurst 1995). Per ogni stazione sono state ottenute serie temporali nel sistema di riferimento delle orbite fornite. Da una prima analisi condotta su questi siti è possibile osservare come le serie temporali riferite a sistemi geodetici locali presentano coefficienti di correlazione significativi (Tabella 1).

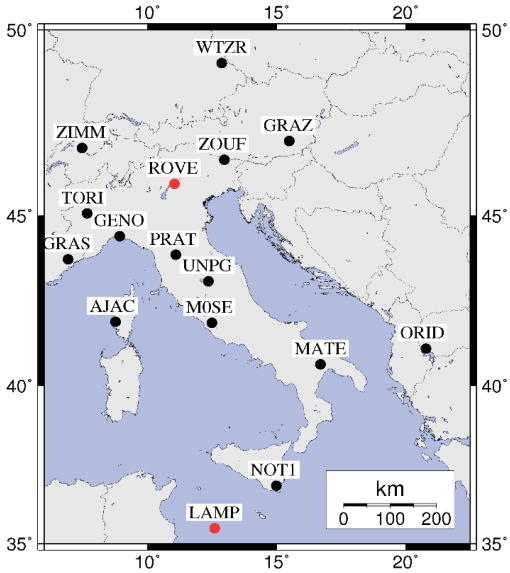

Figura 1 - Mappa delle stazioni permanenti considerate per lo studio (Gandolfi et al. 2015).

In Figura 2 si mostrano a titolo di esempio due serie temporali sovrapposte una volta eliminata la velocità media del sito.

A partire da tali dati, lo studio ha preso in esame due possibili approcci di inquadramento al sistema di riferimento ITRS. Il primo chiamato GIS (Global ITRS Solution) che fa uso dei parametri di trasformazione globale forniti assieme alle orbite e alle correzioni degli orologi dal JPL. Il secondo RIS (Regional ITRS Solution) che utilizza parametri di trasformazione generati a partire dalle

soluzioni giornaliere della rete di inquadramento considerata e i valori teorici ottenuti dalla soluzione EPN_A_igb08.snx, successivamente poi riapplicati sulla rete stessa.

	Correlation coefficient ρ_{rs}		
SITE	N	E	U
AJAC	0.90	0.90	0.66
GENO	0.93	0.96	0.74
GRAS	0.91	0.94	0.76
GRAZ	0.94	0.96	0.84
LAMP	0.90	0.94	0.71
M0SE	0.93	0.95	0.77
MATE	0.89	0.95	0.76
NOT1	0.89	0.91	0.62
ORID	0.91	0.91	0.75
PRAT	0.70	0.95	0.56
ROVE	0.92	0.94	0.72
TORI	0.90	0.86	0.47
UNPG	0.91	0.94	0.75
ZIMM	0.93	0.95	0.80
ZOUF	0.91	0.94	0.81
Media valori	0.90	0.93	0.71

Tabella 1 - Tabella dei coefficienti di correlazione di Pearson di ciascuna serie temporale rispetto alla stazione WTZR (Gandolfi et al. 2015).

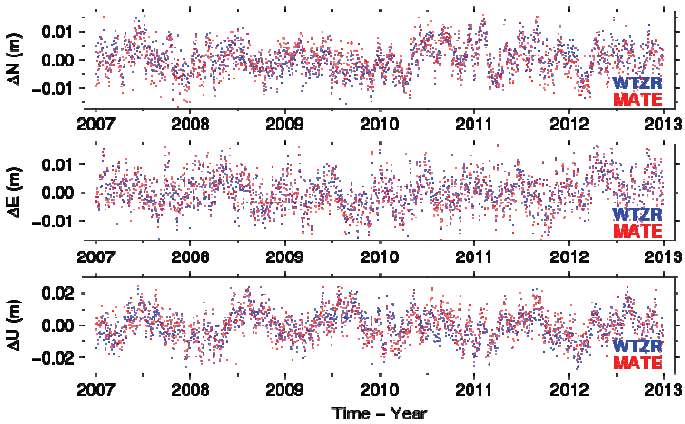

Figura 2 - Serie temporali (riferite a sistemi di riferimento geodetici locali) delle stazioni di Matera e Wettzel prima dell'inquadramento mediante parametri di trasformazione globali o regionali (Gandolfi et al. 2015).

Precisioni ed Accuratezze

A partire da tali soluzioni si sono stimati i coefficienti di correlazione lineare di Perason (Pearson 1895) sempre rispetto alla stessa stazione osservando un abbattimento per le soluzioni inquadrate con l'approccio GIS significativo ma comunque non trascurabile. In valori medi inizialmente pari a 0.90, 0.93, 0.71 rispettivamente nelle componenti Nord Est e Up ottenuti sulle serie non inquadrate si sono assestati su 0.43, 0.53, 0.43. Per quanto attiene invece l'approccio RIS i coefficienti di correlazione sono sostanzialmente trascurabili (-0.05, -0.06, -0.06). Tale primo risultato risulta

essere interessante in quanto almeno per i dati osservati, l'applicazione di parametri di trasformazione globali lascia all'interno delle serie temporali *segnali* comuni a tutte le stazioni che però, considerando l'estensione dell'area in oggetto, non possono essere riconducibili a fenomeni di natura geofisica.
Passando invece alle statistiche relative all'accuratezza e ripetibilità, l'analisi è stata realizzata a partire dalle due soluzioni sottraendo il valore giornaliero teorico ufficiale presente nel file EPN_A_Igb08.snx che costituisce la densificazione Europea della realizzazione dell'Igb08 (Rebischung et al 2011, Rebischung 2012). In questa fase eventuali componenti periodiche non sono state modellizzate in quanto le soluzioni "ufficiali" di realizzazione dell'ITRS presentano solo posizioni e velocità medie. I risultati ottenuti dalle due soluzioni (GIS e RIS) presentano valori di accuratezza e ripetibilità media riportati in Tabella 2. In particolare dai risultati ottenuti si può osservare come la ripetibilità (definita come la deviazione standard campionaria dei residui) risulta attestarsi su valori millimetrici per le due soluzioni, anche se la soluzione RIS risulta leggermente migliore.
Per quanto attiene invece l'accuratezza (stimata come la medi dei residui) si ottengono valori prossimi allo zero per la soluzione RIS e leggermente deviati (1.6 mm) in direzione Nord per la soluzione GIS. La quota presenta il medesimo bias leggermente inferiore ai 2 mm.

	GIS				RIS			
	N	E	Horiz	U	N	E	Horiz	U
Ripetibilità media	1.8	1.8	2.5	5.4	1.2	1.1	1.6	3.4
Accuratezza media	1.6	0.4	1.7	1.9	0.3	0.3	0.5	1.6

Tabella 2 - Statistiche relative ai parametri di precisione ed accuratezza sulle soluzioni GIS e RIS (Gandolfi et al. 2015).

Analisi in frequenza

Sempre a partire dalle serie temporali inquadrate in differenti modi, è stata condotto anche un confronto del contenuto di segnale che generalmente caratterizza le serie temporali GNSS. Tale aspetto è stato indagato ricostruendo, per ogni tipologia di soluzione (GIS e RIS) ed ogni stazione, un modello teorico basato su un movimento medio costante e sulla composizione delle prime 5 componenti periodiche (tra quelle che presentavano in termini di potenza la maggiore significatività).
Le frequenze sono state individuate mediante il periodogramma di Lomb-Scargle (Lomb 1976, Scargle 1982) e le ampiezze e fasi stimate mediante approccio ai minimi quadrati.
Dall'analisi comparata sono emerse differenze significative tra la soluzione GIS e la soluzione RIS tali da non ritenere che le componenti fossero esattamente comparabili. Tale aspetto può lasciare presupporre che l'inquadramento regionale non consente di evidenziare alcuni movimenti che per particolari applicazioni possono risultare importanti. Si è quindi scelto di indagare in modo più approfondito tale differenze calcolando per ogni sito la serie temporale delle differenze tra i modelli sintetici della soluzione GIS e RIS. I risultati sono riportati in figura 3. La figura 3 mostra come per tutte le stazioni esista un modello che si presenta sostanzialmente con le medesime caratteristiche. La linea rossa presenta il modello ottenuto mediando tutti i segnali. Tale segnale *residuo* presenta una ampiezza variabile al variare della componente ma dell'ordine di circa 2mm con una spiccata periodicità annuale e semestrale. In sostanza tale modello è definibile come l'impatto di un inquadramento regionale rispetto ad un inquadramento globale.

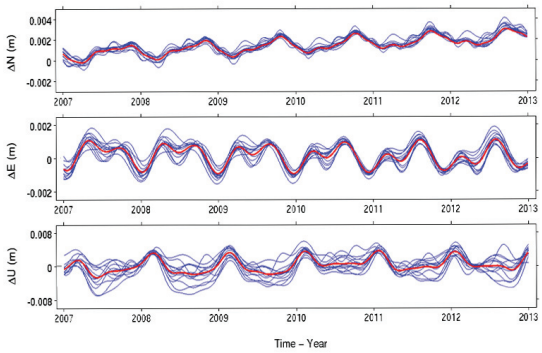

Figura 3 - Sovrapposizione dei residui di tutte le stazioni permanenti esaminate ed ottenuti dalla sottrazione del modello sintetico delle serie GIS rispetto alle serie RIS. La linea rossa rappresenta il modello medio (Gandolfi et al. 2015).

Conclusioni

Dalle analisi condotte risulta che, nella soluzione PPP, l'inquadramento con parametri regionali risulta essere migliorativo sia in termini di precisione che accuratezza senza eliminare effetti locali delle singole stazioni permanenti. In particolare l'inquadramento con file di trasformazione regionali mantiene, almeno sul test condotto, un segnale comune difficilmente riconducibile a fenomeni di natura geofisica. E' evidente però che l'applicazione di parametri di trasformazione regionale impone un calcolo di una rete di inquadramento in modalità PPP che generalmente non è richiesto dall'approccio. Un utente infatti con questa tecnica può semplicemente calcolare la posizione di un punto isolato ed applicare i parametri di trasformazione globali (soluzione GIS) forniti assieme alle orbite precise dal JPL ed ottenere una soluzione particolarmente accurata e precisa. Se però si realizzano procedure automatiche di calcolo di reti di inquadramento di stazioni permanenti sul territorio di interesse (ad esempio il territorio italiano) allora è possibile rendere disponibili parametri di trasformazione regionali giornalieri che migliorano ulteriormente le soluzioni sia in termini di ripetibilità che di accuratezza.

Bibliografia

Barbarella M, Gandolfi S, Ricucci L, Zanutta A. (2009). The new Italian geodetic reference network (RDN): a comparison of solutions using different software packages. Proc. EUREF Symposium, Florence, Italy, 27-30 May, Available on the Internet.

Gandolfi S., Tavasci L., Poluzzi L., (2015). "High accuracy Precise Point Positioning strategy for regional networks", GPS Solution, DOI 10.1007/s10291-015-0459-z

Hurst K (1995) Precise orbital products available from JPL. GIPSY-OASIS II Newsletter. V2N1, 1-3. ftp://sideshow.jpl.nasa.gov/pub/usrs/PS-DOCUMENTS/GOA_newsletter_v2n1.ps.

Lomb NR (1976) Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. Astrophys Space Sci. 39(2), 447-462.

Pearson K (1895) Note on regression and inheritance in the case of two parents. P R Soc London, 58(347-352): 240-242.

Rebischung P, Griffiths J, Ray J, Schmid R, Collilieux X, Garayt B (2011) IGS08: the IGS realization of ITRF2008. GPS Solut 16(4): 483-494

Rebischung P (2012) [IGSMAIL-6663] IGb08: an update on IGS08. Available on the Internet

Scargle JD (1982) Studies in astronomical time series analysis. II-Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. Astrophys J 263:835-853.

Webb FH, Zumberge JF (1997) An introduction to GIPSY OASIS-II. JPL Publ. D-11088

Zumberge J.F., Helfin 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.