

## **Applicabilità dell'approccio "Multiconstellation" in condizioni operative di rilievo GNSS**

Valerio Baiocchi (\*), Francesca Giannone (\*), Maria Vittoria Milone (\*),  
Martina Mormile (\*), Grazia Pietrantonio (\*\*)

(\*) DICEA – Area Geodesia e Geomatica, "Sapienza" Università di Roma, Via Eudossiana, 18- 00184 Roma  
Tel. +390644585068, Fax. +390644585515, email: valerio.baiocchi@uniroma1.it

(\*\*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, 00143 Roma, via di Vigna Murata 605  
tel. +390651860660, fax +39065041303, pietrantonio@ingv.it

### **Riassunto**

L'attuale sviluppo dei sistemi di navigazione satellitare, in particolar modo il programma di risanamento del sistema GLONASS e l'affermazione del nuovo sistema europeo Galileo, richiede lo studio di soluzioni nuove relative all'integrazione delle osservazioni dei diversi sistemi satellitari. Scopo di questo lavoro è quello di illustrare un approccio innovativo, definito "Multiconstellation", per il post-processamento dei dati GLONASS e GPS. Per dimostrare la validità di tale approccio sono stati utilizzati due tra i software commerciali più diffusi di post-processamento dei dati GNSS: LGO (Leica Geo Office) e Pinnacle '07.

### **Abstract**

The current development of satellite navigation systems, especially the reorganization program of GLONASS system and the development of the new European Galileo system, requires the study of new solutions for the integration of the observations of various satellite systems.

The purpose of this work is to illustrate an innovative approach, called "Multiconstellation", regarding the post-processing of GPS and GLONASS data. In order to demonstrate the validity of such approach we used two of the most common commercial software for the post-processing of GNSS data: LGO (Leica Geo Office) and Pinnacle '07

### **Introduzione**

Allo stato attuale, andando a considerare una costellazione globale, comprendente sia satelliti GPS che GLONASS, si è notato come, in quasi tutte le finestre temporali, siano potenzialmente visibili almeno 12 satelliti. Questo numero di satelliti piuttosto elevato di cui si riesce a disporre consente di realizzare un approccio definito "Multiconstellation", cioè considerare la costellazione come composta da più costellazioni indipendenti (Baiocchi V. et al. 2007).

In un rilievo GPS solamente le basi tra loro linearmente indipendenti, ottenute in ciascuna sessione di misura, contribuiscono alla compensazione della rete. Data, quindi, una rete di  $N$  ricevitori, le basi indipendenti elaborate in ogni sessione sono  $N-1$  e quindi, come è noto, per effettuare un'eventuale compensazione non è sufficiente una sola sessione di misura in quanto non si ha ridondanza di osservazioni.

Utilizzando l'approccio "Multiconstellation" si sfrutta la possibilità di ricavare da una costellazione unica sufficientemente numerosa due sottocostellazioni, a partire dalle quali è possibile poter ottenere misure GNSS simultanee e indipendenti. Il software di pretrattamento dei dati è il MultiCon, scritto in linguaggio C++; esso va ad operare direttamente sui file in formato RINEX e consente di ottenere dal file unico originale contenente le osservazioni di  $n$  satelliti, due file tra loro uguali per intervallo temporale ma contenenti ciascuno le osservazioni di  $n/2$  satelliti (se  $n$  è dispari ottengo due gruppi di satelliti da  $n/2$  e  $n/2+1$ ).

Consideriamo, a titolo di esempio, una rete costituita da quattro punti (Fig. 1): scegliendo l'elaborazione "Multiconstellation" in un'unica sessione di misura è possibile ottenere 6 basi indipendenti (tre basi possono essere calcolate tramite le osservazioni provenienti dai satelliti di un gruppo e tre con le osservazioni dei satelliti del secondo gruppo) e, quindi, è possibile effettuare la compensazione della rete perché sono disponibili informazioni ridondanti. Operando, invece, in maniera classica, è noto che per ottenere la stessa ridondanza di misure del caso "Multiconstellation" sono necessarie due sessioni di misura.

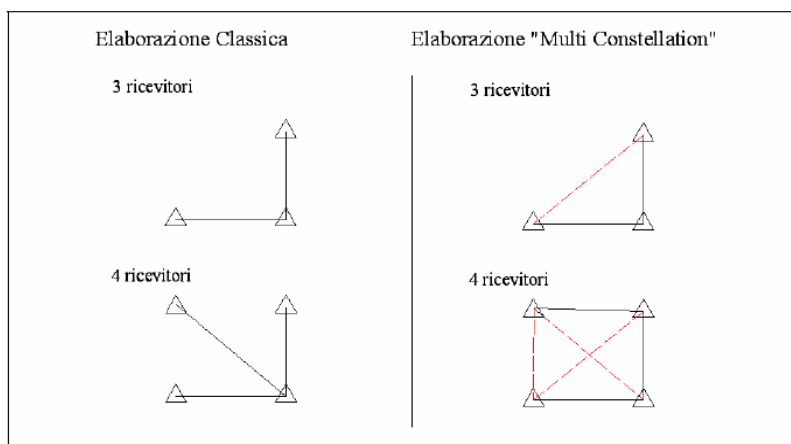


Figura 1 – Basi indipendenti osservabili in sessioni di misura classiche e con l'approccio "Multiconstellation".

### La rete test

Il software MultiCon consente di operare una suddivisione della costellazione unica GPS-GLONASS e di scegliere le modalità tramite le quali ripartire tra i due file RINEX di output i satelliti.

Le prime sperimentazioni del software hanno mostrato che un ridotto numero di satelliti GPS in una delle due sottocostellazioni create rappresenta un ostacolo per l'elaborazione dei dati in alcuni software commerciali, anche in presenza di un congruo numero di satelliti GLONASS. Nella pianificazione del rilievo della rete test è stato quindi necessario scegliere una finestra temporale in cui fossero visibili almeno otto satelliti GPS (è necessario garantire la presenza di almeno quattro satelliti GPS in ciascuna sottocostellazione).

La rete test è costituita da tre stazioni della rete regionale dell'Umbria (Radicioni F., Stoppini A. 2004), in particolare:

- Perugia (UNPG),
- Foligno (REFO),
- Città della Pieve (REPI).

Valutando la disponibilità di dati relativi a ciascuna stazione e il numero di satelliti visibili, si è individuata una finestra temporale della durata di 20 minuti compresa tra le 18:00 e le 19:00 del 21 ottobre 2009, durante la quale erano visibili 10 satelliti GPS e 4 satelliti GLONASS (Fig. 2). Si è scelto di elaborare solo 20 minuti di dati e non l'intera ora per ricreare condizioni simili a quelle di un rilievo operativo reale.

Per quanto riguarda l'elaborazione classica, sono state calcolate due basi tra loro linearmente indipendenti con una prima sessione caratterizzata dai dati del giorno 21 ottobre 2009, mentre la terza base indipendente si è calcolata utilizzando i dati relativi alle medesime stazioni del giorno 22 ottobre 2009 (sempre tra le 18:00 e le 19:00).

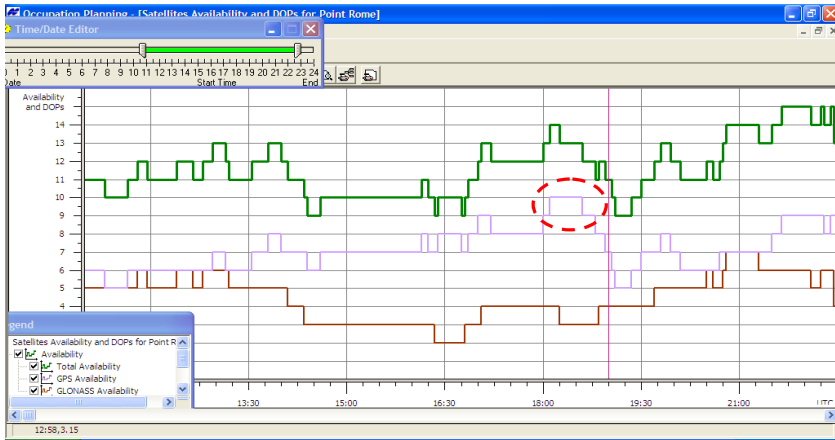


Figura 2 – Schermata relativa alla disponibilità satellitare per la scelta della finestra temporale.

I dati sono stati importati ed elaborati nei software commerciali LGO e Pinnacle; per entrambi i software sono state controllate le opzioni relative al processamento delle basi: le configurazioni di *default* per lo LGO sono state lasciate sostanzialmente inalterate, mentre per il Pinnacle è stato necessario selezionare il modello troposferico che di *default* non viene utilizzato.

Il funzionamento del software MultiCon è piuttosto semplice; è sufficiente indicare l'intervallo di tempo in cui si desidera tagliare il file RINEX originale e se si intende dividere i satelliti GNSS in automatico, con un algoritmo implementato che assicura una distribuzione uniforme dei satelliti nello spazio, o manualmente (opzione introdotta nel caso in cui l'utente deve soddisfare delle specifiche necessità).

Si riporta di seguito lo skyplot (Fig. 3) con indicata la ripartizione dei satelliti tra le due sottocostellazioni.

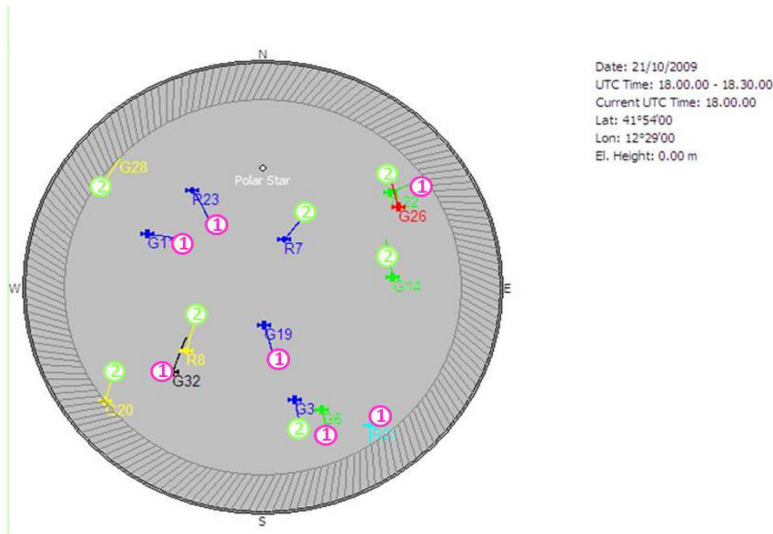


Figura 3 – Skyplot relativo alla finestra temporale scelta con evidenziati i satelliti attribuiti alle due sottocostellazioni.

Dopo aver scelto per ciascuna sessione di misura il punto di controllo (per ogni elaborazione e per entrambi i programmi si è sempre scelta la stazione di Perugia UNPG come punto fisso), è stata avviata l'elaborazione e successivamente la compensazione.

I dati pretrattati con il MultiCon sono stati importati ed elaborati senza problemi dal software Pinnacle '07. In questo caso sono stati calcolati i vettori Perugia-Foligno e Perugia-Città della Pieve con i dati relativi alla prima sottocostellazione, mentre il restante vettore è stato calcolato sfruttando i dati della seconda sottocostellazione.

Di seguito proponiamo i risultati della compensazione della rete ottenuti sia con l'approccio "Multiconstellation", (Tab. 4) che con l'approccio classico (Tab. 5).

	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	$\sigma_{\Delta Y}$ (m)	$\sigma_{\Delta Z}$ (m)
<b>REPI REFO</b>	12694.300	55789.774	104.519	0.033	0.025	0.034
<b>UNPG REPI</b>	18631.783	25433.687	13430.183	0.020	0.007	0.009
<b>UNPG REFO</b>	5937.472	30356.005	13325.755	0.014	0.011	0.014

Tabella 4 – Basi compensate e loro deviazioni standard (approccio "Multiconstellation" - Pinnacle).

	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	$\sigma_{\Delta Y}$ (m)	$\sigma_{\Delta Z}$ (m)
<b>REPI REFO</b>	12694.227	55789.840	104.473	0.025	0.018	0.019
<b>UNPG REPI</b>	18631.758	25433.680	13430.183	0.015	0.009	0.015
<b>UNPG REFO</b>	5937.546	30356.159	13325.711	0.015	0.008	0.015

Tabella 5 – Basi compensate e loro deviazioni standard (elaborazione classica - Pinnacle).

Come si può notare dalle tabelle le precisioni dei vettori ottenute con l'approccio "Multiconstellation" sono lievemente inferiori rispetto a quelle ottenute con l'elaborazione classica, in particolare la base REPI-REFO, unica base elaborata con la seconda sottocostellazione, risente maggiormente di questo effetto perché probabilmente nella suddivisione dei satelliti in due gruppi un satellite più rumoroso degli altri è stato inserito nella seconda sottocostellazione.

Maggiori difficoltà si sono riscontrate con il software LGO, rispetto all'elaborazione realizzata con i file originali. Mentre, infatti, in quel caso il terzo vettore veniva calcolato tramite misure di una seconda sessione distinta dalla prima, in questo caso doveva fungere da seconda sessione una serie di misure sempre dello stesso intervallo temporale, ma relativa ad una differente costellazione di satelliti.

Il software LGO, importando i due file RINEX relativi alle due sottocostellazioni, legge due differenti file osservabili del medesimo orario e quindi deduce erroneamente che le osservazioni dei due file contengano le misure eseguite su due punti distinti, anche se il nome del punto in entrambi i file è il medesimo. Questo comportamento è dovuto al fatto che l'approccio "Multiconstellation" è sicuramente un'innovazione e quindi non è stata prevista nel software.

L'unico modo per aggirare questa limitazione e riuscire a compensare la rete è stato quello di ricorrere all'opzione di "Network simulation" prevista nel software LGO; con questa opzione si può procedere infatti alla compensazione di una rete di *baseline* elaborate in differenti progetti. Per eseguire una simulazione di una rete è necessario fornire al software le informazioni relative alle componenti delle basi elaborate e le corrispondenti matrici di varianza-covarianza.

In un primo progetto sono stati importati, quindi, i file osservabili delle stazioni di Perugia, Foligno e Città della Pieve, relativi alla prima costellazione; quindi sono state elaborate le basi UNPG-REPI e UNPG-REFO, avendo scelto la stazione di Perugia come riferimento. In un secondo progetto, anch'esso preliminare alla realizzazione della rete simulata, è stato invece calcolato il terzo vettore

della rete REPI-REFO, importando i RINEX del secondo gruppo di satelliti. Una volta in possesso di tutti i dati necessari, si è creato un terzo progetto dove effettuare la compensazione della rete utilizzando l'opzione di "Network simulation".

Di seguito proponiamo i risultati della compensazione della rete ottenuti sia con l'approccio "Multiconstellation", (Tab. 6 e 8) che con l'approccio classico (Tab. 7 e 9).

	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	$\sigma_{\Delta Y}$ (m)	$\sigma_{\Delta Z}$ (m)
<b>REPI REFO</b>	-12694.318	55789.805	104.371	0.008	0.002	0.007
<b>UNPG REPI</b>	18631.734	-25433.685	-13430.194	0.006	0.003	0.005
<b>UNPG REFO</b>	5937.538	30356.165	-13325.716	0.007	0.003	0.007

Tabella 6 – Basi compensate e loro deviazioni standard (approccio "Multiconstellation" - LGO).

	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\sigma_{\Delta X}$ (m)	$\sigma_{\Delta Y}$ (m)	$\sigma_{\Delta Z}$ (m)
<b>REPI REFO</b>	-12694.223	55789.838	104.473	0.005	0.002	0.005
<b>UNPG REPI</b>	18631.751	-25433.682	-13430.190	0.003	0.001	0.003
<b>UNPG REFO</b>	5937.528	30356.156	-13325.717	0.005	0.002	0.004

Tabella 7 – Basi compensate e loro deviazioni standard (elaborazione classica - LGO).

L'analisi dei risultati ottenuti per il software LGO non evidenzia particolare differenze tra le precisioni ottenute con i due differenti approcci, anche analizzando le precisioni relative alle coordinate compensate si può generalmente concludere che i due approcci producono risultati confrontabili.

Punto	$\phi$	$\sigma_{\phi}$ (m)	$\lambda$	$\sigma_{\lambda}$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
<b>REFO</b>	42° 57' 20.42202"	0.002	12° 42' 12.65860"	0.002	304.167	0.010
<b>REPI</b>	42° 57' 07.67727"	0.001	12° 00' 08.73094"	0.002	573.301	0.008
<b>UNPG</b>	43° 07' 09.8461"	0.000	12° 21' 20.5329"	0.000	348,742	0.000

Tabella 8 – Coordinate delle stazioni e loro deviazioni standard (approccio "Multiconstellation" -LGO).

Punto	$\phi$	$\sigma_{\phi}$ (m)	$\lambda$	$\sigma_{\lambda}$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
<b>REFO</b>	42° 57' 20.42227"	0.001	12° 42' 12.65831"	0.001	304.158	0.006
<b>REPI</b>	42° 57' 07.67700"	0.001	12° 00' 08.73094"	0.001	573.318	0.005
<b>UNPG</b>	43° 07' 09.84610"	0.000	12° 21' 20.53288"	0.000	348.742	0.000

Tabella 9 – Coordinate delle stazioni e loro deviazioni standard (elaborazione classica -LGO).

Un confronto tra i due software permette di evidenziare che gli errori sui vettori compensati il Pinnacle sono più grandi di quelli ottenuti con lo LGO; questa differenza non è interpretabile perché attualmente non è noto come i due software commerciali stimino tali valori di precisione.

## Conclusioni

In tale lavoro si è dimostrata la reale applicabilità dell'approccio "Multiconstellation" in condizioni operative di rilievo GNSS. Allo stato attuale, tale approccio presenta ancora dei limiti legati alle caratteristiche dei software commerciali che non sempre consentono di implementare tale metodo al loro interno. Revisionati i software e realizzato il completamento di tutti i sistemi di posizionamento

satellitare previsti per il futuro, l'approccio "Multiconstellation" sarà paragonabile al pieno delle sue possibilità e potrebbe rappresentare una significativa innovazione nel trattamento dei dati GNSS.

### **Ringraziamenti**

Gli autori desiderano ringraziare:

- il personale del Laboratorio di Topografia dell'Università degli studi di Perugia per la disponibilità nel fornire i dati delle stazioni della rete dell'Umbria;
- Giuliano Molinelli della Geotop per l'assistenza ed i preziosi consigli;
- la Leica Geosystems Italia per la gentile disponibilità nel mettere a disposizione il software

### **Riferimenti bibliografici**

Baiocchi V., Giannone F., Pietrantonio G. (2007), "Utiliser Glonass, une gaugere?" *GÉOMATIQUE EXPERT*, vol. 55; p. 20-23, ISSN: 1620-4859

Biagi L. (2009), "I fondamenti del GPS" *Geomatics Workbooks*, vol. 8, ISSN: 1591-092X

Radicioni F., Stoppini A. (2004), "Istituzione di una rete di stazioni permanenti GPS/GNSS in Umbria" *Atti della VIII Conferenza Nazionale ASITA*

### **Siti web**

[www.glonass.it](http://www.glonass.it)

[www.glonass-ianc.rsa.ru](http://www.glonass-ianc.rsa.ru)

<http://labtopo.ing.unipg.it/>

[www.leica-geosystems.it](http://www.leica-geosystems.it)

[www.geotop.it](http://www.geotop.it)

<http://geomatrica.como.polimi.it/fondamentigps/>