STUDIO DELLE POSSIBILITA' DI UTILIZZO DELLA COSTELLAZIONE GLONASS NEL SUO STATO ATTUALE E FUTURO

Valerio BAIOCCHI (*), Francesca GIANNONE (*), Grazia PIETRANTONIO (**)

(*) DITS - Area di Geodesia e Geomatica, Università di Roma "La Sapienza", via Eudossiana, 18 - 00184 Roma
tel. +390644585068, fax +390644585515, e-mail: valerio.baiocchi@uniromal.it, francesca.giannone@uniroma1.it
(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, via di Vigna Murata 605 - 00143 Roma
tel. +390651860266, fax +39065041303, e-mail: pietrantonio@ingv.it

Riassunto
Il GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System) è un sistema satellitare di posizionamento globale realizzato dall'Ex Unione Sovietica più o meno in concomitanza con quello americano. Il primo lancio di satelliti risale al 12 ottobre 1982, la costellazione si è completata con 24 satelliti nel 1997. Negli anni la Russia non ha avuto la forza economica per mantenere attiva l'intera costellazione. Ma nel 2002 è stato dato il via al programma di rilancio del sistema satellitare GLONASS, che prevede 18 satelliti entro il 2007, e dovrà raggiungere nuovamente il numero di 24 satelliti entro il 2010. Il programma prevede il lancio di due o tre razzi l'anno, ciascuno dei quali porterà nello spazio due o tre satelliti. Attualmente (15 settembre 2006) i satelliti operativi in orbita sono 15.
Scopo di questo lavoro è mostrare le potenzialità dell'utilizzo congiunto delle costellazioni GPS e GLONASS mediante opportuna suddivisione delle osservazioni satellitari registrate durante un rilievo effettuato nell'area di Roma con strumenti TOPCON in grado di acquisire dati provenienti da entrambi i sistemi satellitari.

Abstract
GLONASS (Global Navigation Satellite System) is a global position satellite system realized by ex-Urss at the same time with the United State's one. The first launch of satellites went back to 12th October 1982, they completed constellation with 24 satellites in 1997. In the years Russia didn't have economic force to maintain active the entire constellation. But in 2002 GLONASS relaunching started, that provides 18 satellites before 2007, and it will reach 24 satellites before 2010. The program provides the launch of three or two rockets a year, each one will bring to space two or three satellite. At present (15th September 2006) there are 15 operative GLONASS satellites.
The aim of this work is to show the potentiality of the jointed use of GPS and GLONASS satellites by performing an adequate subdivision of the observations collected during a survey in the area of Rome using TOPCON receivers able to acquire data coming from both constellations.

Introduzione
Lo sviluppo dei sistemi di navigazione satellitare a cui si assiste in questi anni, in particolare il programma di risanamento del sistema GLONASS e l'introduzione del nuovo sistema satellitare europeo GALILEO, richiede lo studio di soluzioni nuove, in particolar modo per quanto riguarda l'integrazione delle osservazioni provenienti dai diversi sistemi satellitari.
Attualmente esistono ricevitori di varie case produttrici in grado di acquisire sia osservazioni GPS che GLONASS. Il "classico" utilizzo congiunto di tali osservazioni e gli eventuali vantaggi che se ne possono trarre sono già stati analizzati in vari lavori. Solo per citarne alcuni, (Cefalo, Gatti,

2000), analizzando una rete a scala continentale, hanno riscontrato un dimezzamento delle ellissi d'errore planimetriche nel caso di utilizzo di osservazioni miste rispetto al caso delle sole osservazioni GPS; più recentemente (Barbarella et al., 2004), analizzando una rete di dimensioni molto inferiori nell'area dell'Appennino Tosco-Emiliano, hanno invece mostrato che il vantaggio principale delle osservazioni miste risiede nel miglioramento della geometria della costellazione, mentre non hanno osservato significativi incrementi nel livello di precisione dei risultati ottenuti.
Come è ben noto, solo le basi linearmente indipendenti in ciascuna sessione di misura contribuiscono alla compensazione finale di una rete e pertanto se *n* è il numero di ricevitori a disposizione per un rilievo, il numero di tali basi è *n-1*.
Tuttavia il maggior numero di satelliti a disposizione nel caso di reti con costellazioni miste può essere utilizzato per superare tale "limite" imposto alla ridondanza delle reti stesse: l'idea, che sarà illustrata più avanti con maggior dettaglio, è quella di suddividere opportunamente le osservazioni provenienti da satelliti diversi al fine di rendere indipendenti vettori di base che altrimenti non lo sarebbero (fig. 2).

La rete test
La rete utilizzata per la sperimentazione è stata rilevata il 12 maggio 2006 nell'area di Roma (fig. 1). Essa è costituita da 4 vertici, di cui uno (la stazione permanente INGR dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) dotato di ricevitore solo GPS (Trimble 4000SSI con antenna TRM22020.00+GP) e gli altri 3 dotati di ricevitori GPS/GLONASS della TOPCON (TPS E_GGD, 2 con antenne del tipo TPSPG_A1 e uno con antenna TOP_CR3_GGD).

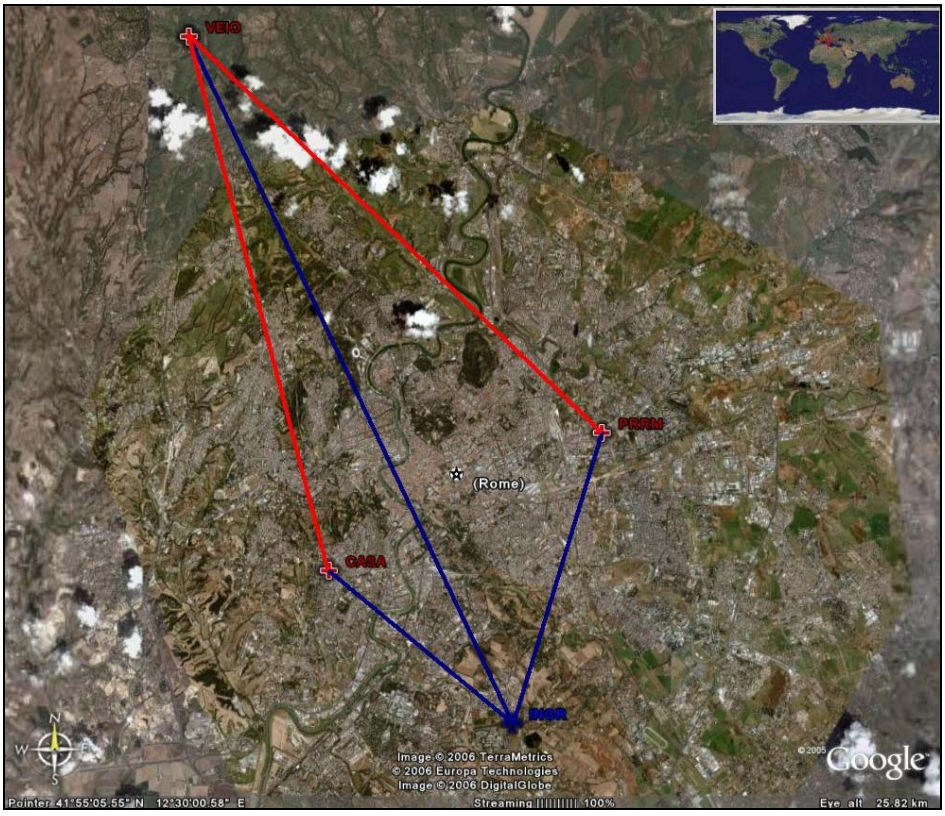

Figura 1 – La rete test (in blu il vertice e le basi solo GPS, in rosso i vertici e le basi GPS+GLONASS)

Il rilievo è stato preceduto da un'accurata fase di planning effettuata con il software Pinnacle della TOPCON al fine di individuare la finestra temporale che consentisse una maggiore copertura di

satelliti sia GPS che GLONASS. Ciò è particolarmente importante allo stato attuale in quanto, come già detto, la costellazione GLONASS non ha ancora raggiunto la sua configurazione definitiva.
Le lunghezze delle basi variano tra 8 e 24 km, l'intervallo di campionamento scelto è di 1 secondo.
Il tempo totale di stazionamento è stato di poco superiore alle 2 ore.

Elaborazione delle misure

L'elaborazione dati è stata condotta sia in maniera usuale, processando cioè con il software Pinnacle solo le basi indipendenti nelle sessioni di misura considerate, sia secondo una procedura originale che prevede la suddivisione delle osservazioni totali acquisite dalla costellazione GLONASS/GPS in 2 sottogruppi di osservazioni provenienti da 2 sottocostellazioni differenti. In quest'ultimo caso cresce il numero di basi indipendenti per sessione da compensare, in quanto in generale delle basi che, se ricavate dalla medesima costellazione satellitare, risultano tra loro linearmente dipendenti, diventano indipendenti se ricavate da dati provenienti da costellazioni satellitari completamente differenti tra loro, cioè con nessun satellite in comune. Tale metodo sarà in seguito chiamato "MultiConstellation".
E' stato implementato un software di pre-trattamento dati in linguaggio C++, *MultiCon*, per ora in versione prototipale, in grado di effettuare la suddivisione di ciascun file di dati RINEX relativo ad una certa sessione in 2 file RINEX contenenti ognuno osservazioni diverse ovvero provenienti da diversi satelliti. Il criterio di suddivisione su cui si basa il software è quello di ottenere dalla costellazione totale le 2 sottocostellazioni con migliore configurazione geometrica, ovvero con minori valori dell'indice PDOP. Senza entrare nel dettaglio, si vuole sottolineare che la suddivisione dei satelliti va eseguita secondo strategie differenti a seconda che nella rete sia presente o meno anche un solo ricevitore solo GPS. In tal caso infatti tutti i satelliti GLONASS devono essere assegnati alla stessa "costellazione" e questo ovviamente limita le scelte di possibili suddivisioni ai soli satelliti GPS. Ciò è quanto si verifica più frequentemente nella pratica dato il gran numero di stazioni permanenti solo GPS già installate.

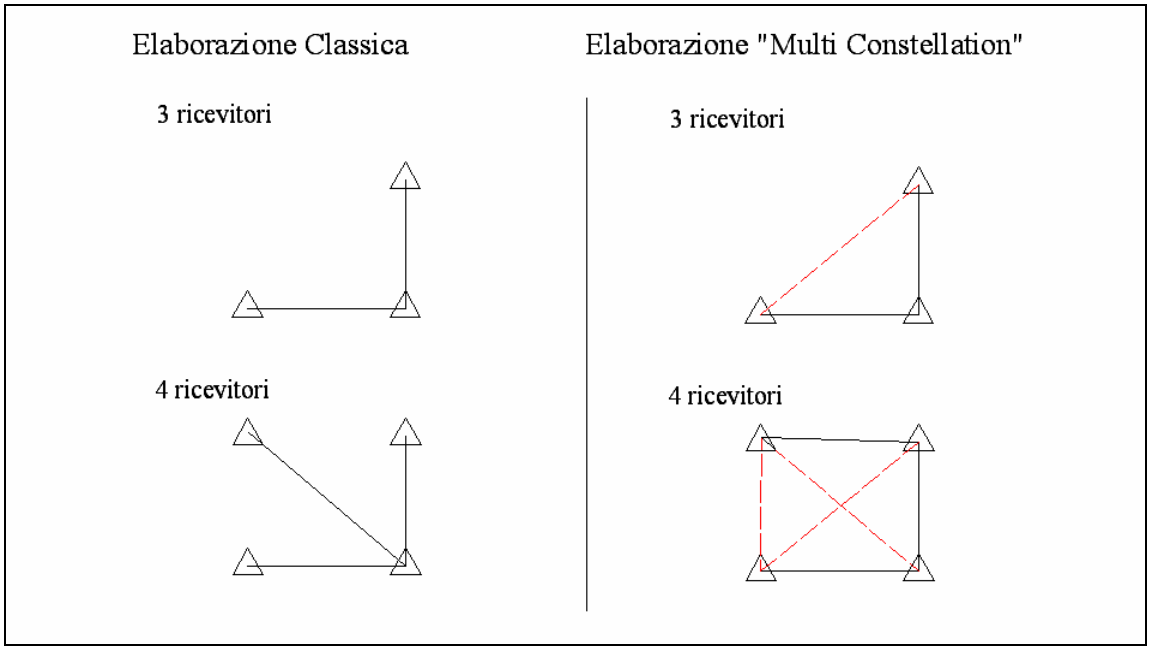

Figura 2 – Possibili basi indipendenti osservabili in una sessione di misura nel caso di ricevitori GPS+GLONASS.

Nella figura 2 sono riportati alcuni esempi dei vantaggi che si ottengono utilizzando il metodo "MultiConstellation". Si vuole sottolineare che la presenza di un ricevitore solo GPS nel caso di 3

ricevitori non cambierebbe quanto mostrato in figura, mentre in presenza di 4 ricevitori (caso della sperimentazione in oggetto) produce una base indipendente in meno. Per reti con un numero di ricevitori pari o superiore a 5, i casi possibili diventano molteplici e non verranno illustrati in questa sede per questioni di spazio.
Considerata la nostra rete test, abbiamo voluto focalizzarci su brevi sessioni della durata di 5 minuti, particolarmente "favorevoli" dal punto di vista del numero di satelliti osservati, per verificare se, elaborando i dati secondo la nuova procedura, sia possibile ridurre i tempi del rilievo senza penalizzarne la precisione dei risultati.
In particolare, essendo la rete costituita da 4 vertici, abbiamo considerato i seguenti 2 casi:

1) Elaborazione "MultiConstellation" di una sola sessione: suddivise con il software *MultiCon* le osservazioni relative ai 5 minuti considerati in 2 gruppi, si sono elaborate con il software Pinnacle 5 basi, di cui 2 contenenti solo osservazioni provenienti da satelliti del primo gruppo (indicate in rosso nella figura 1) e 3 contenenti solo osservazioni provenienti da satelliti del secondo gruppo (indicate in blu nella figura 1); tutte le basi sono poi state compensate insieme a minimi vincoli (INGR fissa) con il software NETGPS (Crespi, 1996).
   Durante la sessione scelta il numero totale di satelliti osservati ammonta a 14 (9 GPS e 5 GLONASS): in seguito alla suddivisione, ciascuna base viene pertanto calcolata utilizzando le osservazioni relative a 7 satelliti.
2) Elaborazione "classica" di due sessioni: le basi sono le stesse del caso precedente, ma essendo state considerate tutte le osservazioni satellitari insieme, esse non risultano linearmente indipendenti e quindi sono state necessarie 2 sessioni di misura contigue di 5 minuti ciascuna. Queste sono state elaborate nuovamente con il Pinnacle, scegliendo le stesse opzioni del processamento relativo al caso 1, e poi sono state compensate insieme come sopra.
   Sia nella prima (i 5 minuti del caso 1) che nella seconda sessione (i successivi 5 minuti) il numero totale di satelliti osservati è pari a 14, per cui in questo secondo caso ciascuna base viene calcolata utilizzando le osservazioni relative a 14 satelliti.

Va sottolineato che l'utilizzo di un software di compensazione a valle dell'elaborazione con il Pinnacle è stato reso necessario dal fatto che il software della TOPCON non avrebbe consentito la compensazione di basi relative alla stessa sessione, necessaria nel caso 1, in quanto, anche se contenenti osservazioni provenienti da costellazioni diverse, considera tali basi necessariamente linearmente dipendenti solo sulla base di considerazioni temporali.

Punto	ϕ (g p s)	sqm ϕ (m)	λ (g p s)	sqm λ (m)	h (m)	sqm h (m)
CASA	41 52 26.541338	0.006	12 26 25.208939	0.005	134.964	0.009
VEIO	42 1 27.564208	0.008	12 23 26.564751	0.007	160.681	0.014
PRRM	41 54 39.820363	0.004	12 32 56.923277	0.004	87.436	0.007
INGR	41 49 41.102251	0.000	12 30 53.279273	0.000	104.441	0.000

Tabella 1 – Compensazione "MultiConstellation": coordinate geodetiche compensate e loro scarti quadratici medi.

Punto	ϕ (g p s)	sqm ϕ (m)	λ (g p s)	sqm λ (m)	h (m)	sqm h (m)
CASA	41 52 26.541728	0.008	12 26 25.209646	0.006	134.989	0.009
VEIO	42 1 27.564068	0.008	12 23 26.565722	0.005	160.682	0.014
PRRM	41 54 39.820503	0.009	12 32 56.923536	0.004	87.464	0.007
INGR	41 49 41.102251	0.000	12 30 53.279273	0.000	104.441	0.000

Tabella 2 – Compensazione "classica": coordinate geodetiche compensate e loro scarti quadratici medi.

S_{err} (m)	I_{conf} (m)	S_{aff} (m)	I_{aff} (m)
0.014	0.020	0.170	0.321

Tabella 3 – Compensazione "MultiConstellation": semiasse medio delle ellissi di errore e intervallo medio di confidenza in quota al 95%, semiasse medio delle ellissi di affidabilità e intervallo medio di affidabilità in quota al 95%.

S_{err} (m)	I_{conf} (m)	S_{aff} (m)	I_{aff} (m)
0.016	0.025	0.050	0.097

Tabella 4 – Compensazione "classica": semiasse medio delle ellissi di errore e intervallo medio di confidenza in quota al 95%, semiasse medio delle ellissi di affidabilità e intervallo medio di affidabilità in quota al 95%.

Nelle tabelle 1, 2, 3, 4 vengono mostrati i risultati delle 2 compensazioni in termini di: coordinate geodetiche compensate con relativi scarti quadratici medi, semiassi medi delle ellissi di errore e intervalli medi di confidenza in quota al 95%, semiassi medi delle ellissi di affidabilità ed intervalli medi di affidabilità in quota al 95%.

Analisi dei risultati

Come si evince dalle tabelle, la compensazione "MultiConstellation" fornisce risultati di precisione del tutto simile, e in alcuni casi addirittura superiore, rispetto a quella classica; si ritiene comunque che in generale ci si possa aspettare precisioni comparabili anche se leggermente inferiori.
Si noti che in qualche caso le coordinate stimate con i due metodi presentano differenze significative rispetto ai rispettivi scarti quadratici medi.
Come prevedibile, a causa della minore ridondanza di osservazioni, le affidabilità risultano peggiori nella compensazione "MultiConstellation" (tab. 3, 4), anche se comunque il numero di satelliti utilizzati in questo caso è pari, se non superiore, al numero dei satelliti comunemente osservati nelle reali operazioni di rilievo.

Conclusioni

In questo lavoro è stato presentato un approccio originale per l'elaborazione di osservazioni miste GPS+GLONASS. In particolare si è evidenziato come, in presenza di una costellazione sufficientemente nutrita, sia possibile ottenere un numero di basi indipendenti superiore, e in alcuni casi doppio, rispetto alle metodologie classiche. Ciò nella pratica operativa potrebbe permettere di dimezzare i tempi di rilievo rispetto a quelli attualmente necessari.
I risultati della compensazione della rete test mostrano che la diminuzione della ridondanza di osservazioni non sembra influire sulle precisioni ottenibili, mentre sembra influenzare l'affidabilità, pur senza scendere al di sotto dei livelli normalmente accettati nella pratica di rilievo.
Attualmente la possibilità di utilizzare questa strategia è vincolata alla visibilità di un elevato numero di satelliti durante il rilievo e quindi limitata ad alcune particolari finestre temporali di osservazione, ma in futuro, con il completamento della costellazione GLONASS e l'introduzione della costellazione GALILEO, tale approccio sarà probabilmente sempre adottabile, e potrebbe addirittura essere possibile utilizzare più di due "costellazioni" indipendenti.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il prof. Mattia Crespi per le idee, i consigli ed i continui incoraggiamenti e il dott. Bruno Panico per aver ospitato la stazione PRRM presso i locali dell'Amministrazione Provinciale di Roma.

Bibliografia

Barbarella M., Gandolfi S., Mancini F., Ronci E., Vittuari L. (2004), "Integrazione di misure GPS-GLONASS, analisi di una rete di appoggio per sperimentazioni VRS", *Atti della VIII Conferenza Nazionale ASITA.*

Cefalo R., Gatti M. (2000), "Dual Frequency GPS+GLONASS Measurements in the Static Relative Positioning"**,** *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, n. 4.

Crespi M. (1996), "A software package for the adjustment and the analysis of GPS control networks", *Reports on Surveying and Geodesy*, Nautilus, Bologna.

Hall T., Burke B., Pratt M., Misra P. (1997), "Comparison of GPS and GPS+GLONASS Positioning Performance", *ION GPS Annual Meeting*.

Siti web:

www.glonass-ianc.rsa.ru

www.glonass.it