

Valutazione dell'apporto della costellazione GLONASS nel posizionamento NRTK con ricevitori GNSS geodetici

di Gino Dardanelli

Il potenziamento della costellazione satellitare GLONASS consente oggi di disporre di un sistema che ha raggiunto de facto la piena operatività fornendo un contributo importante in qualsiasi rilievo, soprattutto in presenza di ostruzioni alla visibilità satellitare. Questo lavoro riporta i risultati di alcuni test di posizionamento effettuati con ricevitori geodetici GNSS di ultima generazione di diverse case costruttrici al fine di valutare l'apporto che la costellazione GLONASS può dare ai rilievi NRTK (Network Real Time Kinematic) in condizioni di geometria satellitare GPS critica.

I sistemi di radionavigazione militari moderni come GPS e GLONASS derivano dai programmi spaziali sviluppati rispettivamente dagli USA (*United States of America*) e dall'URSS (*Unione delle Repubbliche Socialiste Sovietiche*) dopo la seconda guerra mondiale. Infatti, parallelamente al sistema NAVSTAR-GPS americano, l'URSS ha lavorato, a partire dagli anni '80, allo sviluppo di un sistema di radionavigazione satellitare militare, denominato GLONASS (*Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema, Global Navigation Satellite System*). La costellazione, sviluppata con l'obiettivo di una copertura globale, fu completata nel 1995 con 26 satelliti operativi, però, a causa della crisi sociale e politica dell'URSS, il sistema non fu più in grado di sostenersi economicamente e sembrava destinato ad un lento declino.

Stato dell'arte della costellazione GLONASS

Il progetto iniziale prevedeva 24 satelliti orbitanti su tre piani, con assi ascendenti separati di 120°. I satelliti GLONASS descrivevano orbite quasi circolari di circa 19100 km di raggio e 64,8° di inclinazione sul piano equatoriale con un periodo di rivoluzione di circa 11 ore e 15 minuti. L'operatività della costellazione GLONASS è assicurata, attualmente, dal segmento di controllo disposto internamente nel territorio della Russia, che consiste di un centro di controllo SCC (*System Control Center*) nei pressi di Mosca e diverse stazioni di tracciamento CTS (*Command Tracking Stations*) disposte a San Pietroburgo, Schelkovo, Yenisseisk, Komsomolsk-Na-Amure. In Figura 1 un'immagine di satelliti GLONASS.

Il GLONASS utilizza la tecnica denominata FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) basata sulla trasmissione dello stesso codice con frequenze differenti proprie di ogni satellite. In realtà i due satelliti che sono sullo stesso piano orbitale, ma agli antipodi, inviano i segnali alla stessa frequenza. Questo approccio costituisce la principale differenza con la costellazione GPS nella quale tutti i satelliti inviano i segnali su uguali frequenze (L1 e L2). Ciò comporta una maggiore complessità nella realizzazione dei rice-

vitori a livello hardware e software per consentire il tracciamento e l'utilizzo di entrambe le costellazioni. Dal 2001 un nuovo programma federale russo denominato *Global Navigation System*

è stato intrapreso dal Governo con la partnership finanziaria ed economica dell'India che è particolarmente interessata all'uso civile del sistema GLONASS. Per comprendere come il GLONASS sia prepotentemente tornato alla ribalta, basta osservare che nel 2007, il presidente russo Vladimir Putin ha firmato un decreto che permette libero accesso ai civili dei segnali di navigazione del sistema e l'uso gratuito anche agli utilizzatori stranieri. Attualmente il sistema conta 27 satelliti di cui 23 operativi (<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/>); il Governo federale russo prevede di raggiungere la piena capacità operativa entro la fine di quest'anno.

In campo scientifico e professionale l'interesse verso questo sistema satellitare è dovuto principalmente al fatto che l'utilizzo combinato di entrambi i sistemi (GPS e GLONASS) può fornire una migliore geometria satellitare e quindi informazioni ridondanti per stimare la posizione in condizioni di visibilità critica, dove con i soli GPS non si riuscirebbe ad ottenere soluzioni. La figura 2 mostra la disponibilità dei satelliti GPS+GLONASS a Palermo, all'epoca dei test con un angolo di cut-off di 10°: la somma delle due costellazioni (colore verde) raggiunge un massimo di 18 satelliti con 11 satelliti GPS (colore viola) e 7 satelliti GLONASS (colore rosso).



Figura 1 - Satelliti GLONASS.

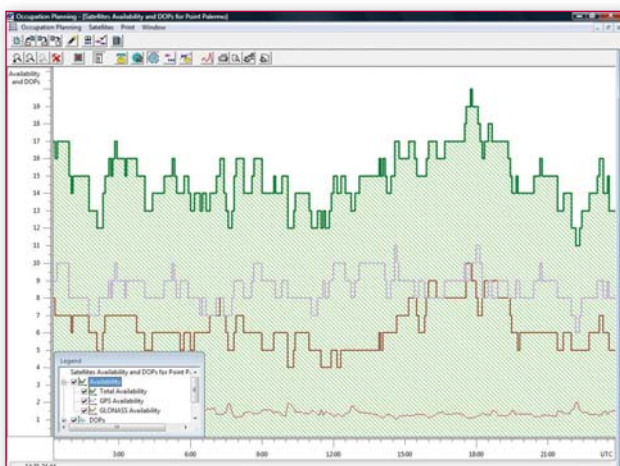


Figura 2 - Disponibilità dei satelliti GPS+GLONASS all'epoca dei test.

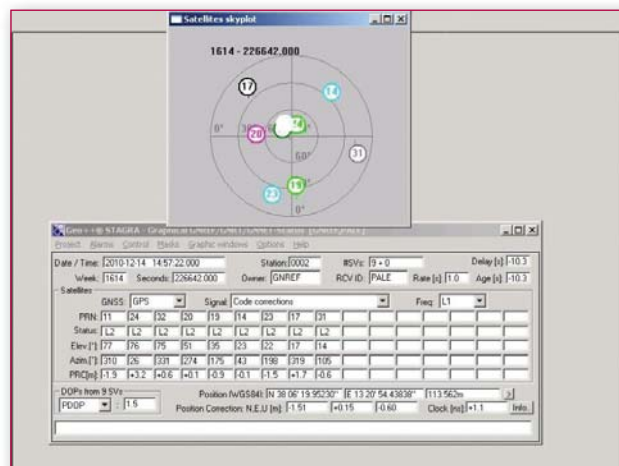


Figura 4 - Screenshot di Geo++ con i satelliti utilizzati.

Programmazione ed esecuzione dei rilievi

Lo scopo dei test è la verifica dell'utilizzo della doppia costellazione GPS+GLONASS nel calcolo della posizione in tempo reale nella modalità NRTK con i ricevitori geodetici di tre importanti case costruttrici. Le prove oggetto di questo lavoro sono state condotte presso un'area test ubicata sul tetto di copertura del DICA (Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Aerospaziale) della Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo nei giorni 14 e 15 Dicembre 2010. Sono stati materializzati tre vertici con chiodi in metallo ad una distanza di 3 metri l'uno dall'altro; questa scelta è stata effettuata per operare simultaneamente con i tre ricevitori e per avere un'identica configurazione satellitare e analoghe condizioni di accesso alla rete Internet per la ricezione delle correzioni NRTK (figura 3).

Preliminarmente è stata eseguita una sessione di rilievi in modalità statica nei vertici scelti per la prova, per ottenere le coordinate di riferimento da utilizzare nel confronto con i risultati ottenuti durante i test con il rilievo in NRTK. L'elaborazione è stata eseguita con un software commerciale in dotazione al DICA (Topcon Tools) inquadrando le coordinate ottenute nel sistema di riferimento ETRF2000 (epoca 1.2011); la Stazione Permanente PALE utilizzata appartiene anche alla RDN (Rete Dinamica Nazionale) gestita dall'IGM (Istituto Geografico Militare).

La correzione differenziale è stata generata con il software GNSMART della azienda Geo++ di Hannover, anch'esso in dotazione al DICA. Geo++ è stata una delle prime aziende

a livello mondiale a produrre un software di gestione di Stazioni Permanenti GNSS con differenti correzioni di rete ed è una società autonoma rispetto alle tre aziende di cui si sono testati gli strumenti; inoltre il suo software GNSMART è perfettamente compatibile con tutti i ricevitori usati (oltre a decine di installazioni nel mondo, in Italia è installato in sei reti regionali di Stazioni Permanenti). Il formato della correzione utilizzato durante le prove è lo standard RTCM 3.0, trasmesso attraverso il protocollo NTRIP nella modalità Nearest dalla Stazione Permanente GNSS PALE di Palermo, operativa dal 2007.

Si è scelto volutamente di non trasmettere altri tipi di correzione, poiché la Stazione Permanente di PALE si trova in prossimità della area test e anche per evitare formati di rete specifici delle singole case costruttrici (MAC, VRS o FKP). La figura 4 mostra un menu di GNSMART contenente i satelliti usati durante una sessione.

Nella tabella 1 a pagina seguente sono riportati i ricevitori utilizzati nei test i loro dati tecnici principali. Essi rappresentano lo stato dell'arte delle principali case costruttrici.

I test sono stati condotti variando intenzionalmente le configurazioni geometriche dei satelliti appartenenti alle costellazioni GPS e GLONASS e sono di due tipi:

1. La prima prova consente di verificare se i ricevitori usano i satelliti GLONASS nel calcolo delle ambiguità di fase. A tal fine si è variato opportunamente il numero dei satelliti trasmessi nelle correzioni differenziali; ad ogni variazione



Figura 3 - Area test e strumentazione utilizzata.

AZIENDA	Tipo	Firmware	Canali	Foto	Controller	Software	Versione
LEICA	VIVA GS15	1.2	120		CS15	Smart Worx	1.2
TOPCON	GR3	3.3p4	72		FC250	Topsurv	7.2.3
TRIMBLE	R8 GNSS	3.24	220		TSC2	Survey Controller	12.10

Tabella 1- ricevitori usati nei test.

nei ricevitori è stato resettato il calcolo delle ambiguità e poi sono state registrate le posizioni per 300 epoche. Sono state eseguite quattro sessioni di prove variando anche le posizioni tra i ricevitori per dare maggior robustezza e attendibilità ai risultati. Questo tipo di test riproduce la situazione all'inizio del rilievo.

- Il secondo tipo di prova ha lo scopo di verificare il comportamento dei ricevitori nei rilievi più difficili in cui, per la presenza di ostacoli, varia di continuo il numero di satelliti. Questo test è iniziato trasmettendo la correzione usando tutti i satelliti disponibili e successivamente, ogni 150 secondi circa, è stato disabilitato un satellite GPS alla volta, mentre il ricevitore continuava a registrare le posizioni senza interruzioni.

La registrazione delle osservazioni è stata ottenuta sia ad ambiguità di fase fissate (*fixed*) che non fissate (*float*) e autonoma (*standalone*). Alla fine dell'acquisizione sono stati considerati soltanto i valori *fixed* indicati dagli strumenti, seguendo le indicazioni delle ditte costruttrici che indicano come soluzione affidabile quella *fixed*.

Per la valutazione dei risultati si sono considerate le differenze tra le posizioni registrate e la posizione di riferimento calcolata come precedentemente detto.

Le differenze planimetriche sono calcolate con la formula :

$$dH = \sqrt{dE^2 + dN^2}$$

dove $dE = E_{\text{nota}} - E_{\text{misurato}}$ e $dN = N_{\text{nota}} - N_{\text{misurato}}$, mentre le differenze di quota sono calcolate con la formula $dQ = Q_{\text{nota}} - Q_{\text{misurata}}$.

Infine non sono state considerate nell'analisi le coordinate con una differenza maggiore di 10 cm rispetto alla coordinata nota pur essendo la posizione calcolata in modalità *fixed*.

Rilievi con satelliti GPS (prove con re-inizializzazione)

Nel test in cui è stata trasmessa la correzione da soli satelliti GPS si è variata la geometria, passando da una situazione con tutti i satelliti GPS disponibili al momento, a 6, a 5 e a 4 rispettivamente. La variazione suddetta è stata effettuata tramite il software *GNSMART*. Il test è stato ripetuto tre volte il 14/12/2010 e una volta il 15/12/2010, ad ogni variazione della configurazione il calcolo delle ambiguità è stato resettato e sono state registrate le soluzioni per 300 epoche. Dall'esame dei risultati per i tre ricevitori si sono osservati ottimi risultati in termine di differenze planimetriche per tutte e quattro le prove condotte simultaneamente; i dati provenienti dai ricevitori sono in totale accordo tra loro, con andamento pressoché contenuto all'interno di un intervallo di 1-2 cm, senza variazioni significative dovute alla diminuzione del numero di satelliti (da 9+0 a 5+0). Nella condizione estrema (4+0) invece nessun ricevitore è riuscito a calcolare le ambiguità di fase. Anche le differenze di quota sono in accordo con i risultati planimetrici, cioè non ci sono apprezzabili variazioni significative al variare della configurazione satellitare.

Rilievi GPS+GLONASS (prove con re-inizializzazione)

Per ciò che riguarda la configurazione GPS+GLONASS, si è passati da una geometria con 4+5 a 3+5, ed infine a 2+5. La variazione suddetta è stata effettuata sempre tramite il sof-

CosmoClub

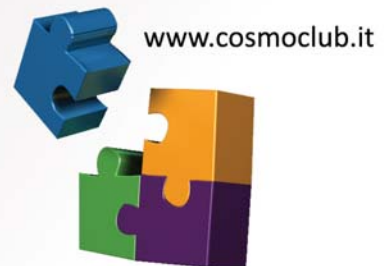
Un mondo di servizi a tua disposizione

Formazione

Topografia - GPS - GIS - Software
Laser scanner - Stazioni totali

Noleggio

Stazioni totali - GPS - GIS
Laser scanner - Termocamere
Cantieristica



www.cosmoclub.it

Assistenza tecnica

Assistenza tecnica su strumenti topografici di tutte le marche



VRS Service

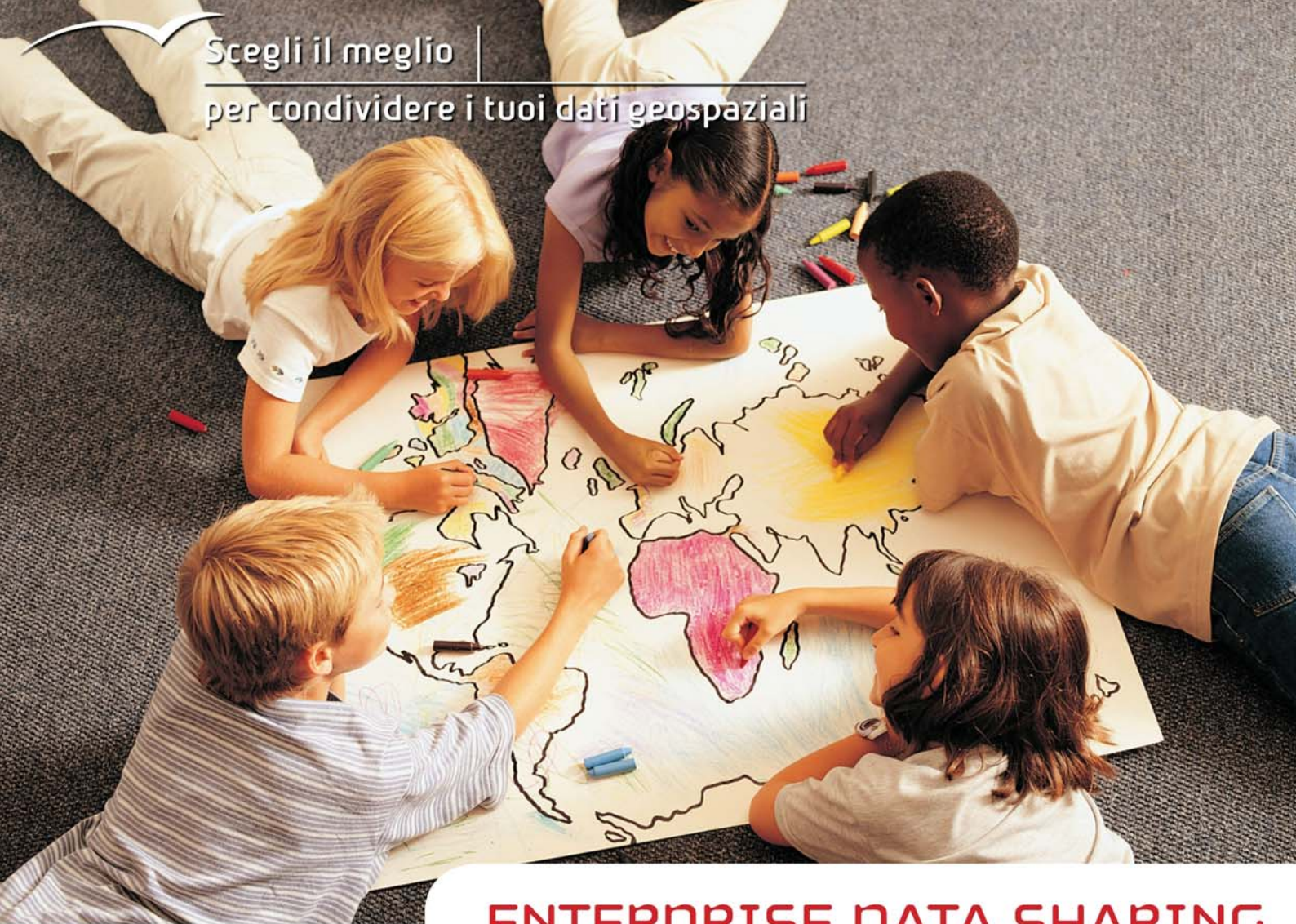
Noleggio di:
Ricevitore GPS
Controller da campo di ultima generazione
Telefono cellulare Nokia

al costo di € 80,00 al giorno.

Premia il tuo lavoro. Scegli qualità ed assistenza

Scegli il meglio

per condividere i tuoi dati geospaziali



ENTERPRISE DATA SHARING

il futuro ha una lunga esperienza

In progetti complessi, che prevedono la realizzazione di soluzioni enterprise per la condivisione di banche dati geografiche, lavorare con chi ha esperienza può fare la differenza. Planetek Italia fornisce soluzioni basate sulle tecnologie ERDAS per la gestione integrata dei metadati, la realizzazione di cataloghi e la condivisione di banche dati. Soluzioni conformi agli standard OGC, ISO 19115/19139 e alle linee guida del CNIPA. Software affidabili, alta professionalità, esperienza pluriennale e cortesia uniti sapientemente per dare futuro alle tue applicazioni.

SOLUZIONI PER

L'ENTERPRISE DATA SHARING

- Cart@net
- ERDAS APOLLO
 - Essentials Spatial Data Infrastructure
 - Essentials Image Web Server
 - Advantage
 - Professional
 - Solution Toolkit
 - ADE
 - Titan

Planetek Italia è distributore di:



www.planetek.it

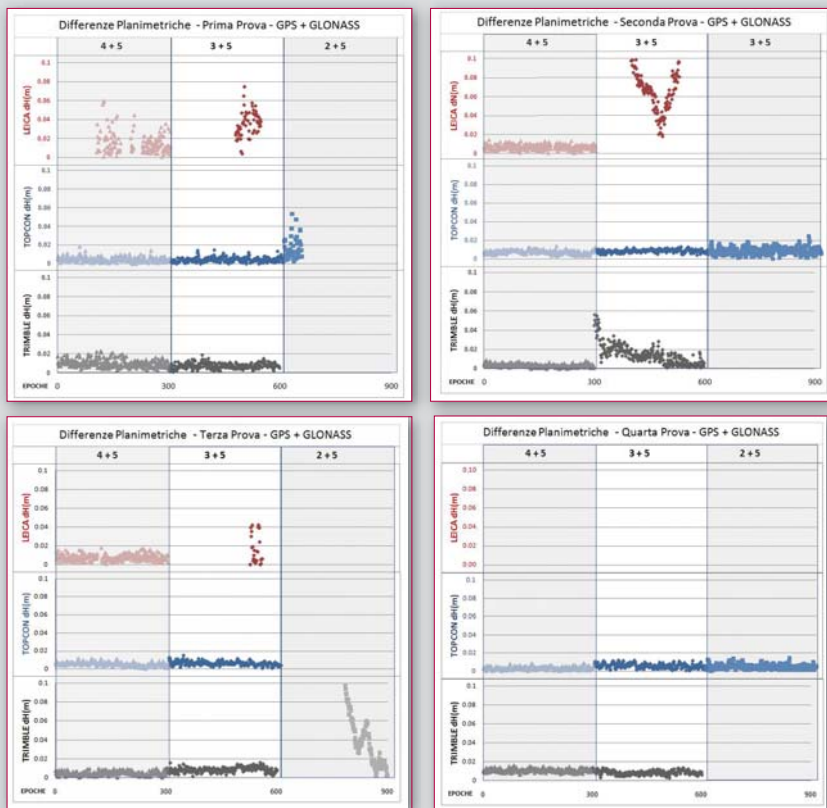


Figura 5 - Diagrammi planimetrici delle prove con re-inizializzazione GPS+GLONASS.

tware GNSMART, con la stessa modalità operativa del test con soli satelliti GPS.

Si è osservato che le differenze provenienti dalle elaborazioni dei ricevitori Topcon e Trimble hanno mantenuto lo stesso andamento, coerente con i valori a dispersione delle precedenti configurazioni GPS, solo nella situazione satellitare con 4+5; in questa configurazione il ricevitore Leica ha fornito soluzioni valide per due sessioni su tre.

Nel passaggio alla configurazione 3+5 i dati provenienti dai ricevitori Trimble e Topcon hanno mostrato lo stesso andamento delle prove solo GPS, mentre il ricevitore Leica non ha fornito tutte le soluzioni. E nella combinazione di satelliti 2+5 il ricevitore Topcon ha fornito per 2 sessioni tutte le soluzioni mentre quelle derivanti dal ricevitore Trimble sono presenti solo in una prova su quattro, con evidenti discontinuità (Figura 5).

Risultati analoghi a quelli derivanti dai diagrammi dei residui orizzontali si sono ottenuti per le differenze di quota (Figura 6).

La tabella 2 riporta il riassunto dei risultati ottenuti nelle prove in cui si sono resettati i ricevitori al variare del numero di satelliti GPS. Con *SI* si indica la presenza delle soluzioni fixed, con *NO* si indica la mancanza di soluzioni fixed per la sessione ed infine con *NO/SI* si indicano soluzioni *fixed* presenti solo in parte.

Prova con registrazione continua

In questa prova, della durata di circa 20 minuti, i ricevitori sono stati lasciati in registrazione continua con intervallo di 1 secondo, mentre nel software GNSMART veniva modificata la geometria della costellazione GPS ogni 150 secondi circa.

Sono stati calcolati i risultati delle differenze planimetriche (nord ed est) e quota determinati rispetto alla posizione ricavata con il rilievo statico elaborato con Topcon Tools; i grafici esprimono gli andamenti nel tempo delle differenze dei tre ricevitori. Dall'esame dei dati contenuti nei diagrammi a dispersione delle figure 8 e 9 per i tre ricevitori si osserva preliminarmente che, fino a quando vengono utilizzati 4 satelliti per la soluzione Nearest (cioè un rilievo in condizioni geometriche teoriche accettabili), i dati provenienti dai ricevitori sono in totale accordo tra loro, con andamento pressoché rettilineo e residui contenuti all'interno di un intervallo di 1-2 cm. Passando invece alle condizioni critiche, per esempio con

3 satelliti GPS + 6 GLONASS, le differenze provenienti dalle elaborazioni dei ricevitori Topcon e Trimble mantengono lo stesso andamento, coerente con i valori a dispersione delle precedenti configurazioni, mentre le differenze provenienti dalle analisi del ricevitore Leica mostrano una discontinuità evidente, passando bruscamente fino a 7-8 cm di differenza. Riducendo ancora il numero dei satelliti GPS si osserva che le differenze provenienti dai ricevitori Topcon e Trimble sono centimetriche e cioè sono dello stesso ordine di grandezza delle prove con i soli satelliti GPS, con una maggiore disponibilità di soluzioni derivanti dal ricevitore Topcon (nelle configurazioni 3+6, 2+6 e 0+6), mentre i residui provenienti dalle elaborazioni del ricevitore Leica sono presenti soltanto fino alla geometria 3+6.

Risultati analoghi a quelli derivanti dai diagrammi delle differenze planimetriche si ottengono per la quota ed, in particolare fino all'utilizzo di 4 satelliti GPS, le differenze provenienti dai tre ricevitori sono coerenti tra loro con andamento pres-

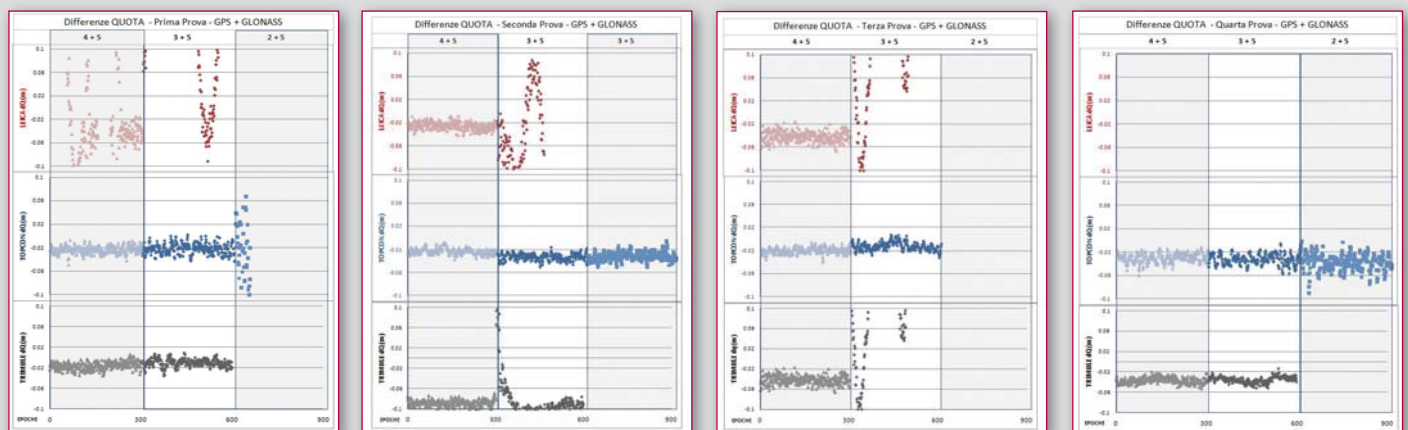


Figura 6. Diagrammi altimetrici delle prove con re-inizializzazione GPS+GLONASS

		GPS + GLONASS							
		satelliti	9+0	6+0	5+0	4+0	4+5	3+5	2+5
1 sessione	LEICA		SI	SI	SI	NO	NO/SI	NO	NO
14/12/2010	TOPCON		SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO/SI
9.20 - 10.30	TRIMBLE		SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
		satelliti	8+0	6+0	5+0	4+0	4+5	3+5	2+5
2 sessione	LEICA		SI	SI	SI	NO/SI	NO/SI	NO	NO
14/12/2010	TOPCON		SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
10.57 - 11.52	TRIMBLE		SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
		satelliti	9+0	6+0	5+0	4+0	4+5	3+5	2+5
3 sessione	LEICA		SI	SI	SI	NO	NO/SI	NO	NO
14/12/2010	TOPCON		SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
15.00 - 16.15	TRIMBLE		SI	SI	SI	NO	SI	SI	NO
		satelliti	9+0	6+0	5+0	4+0	4+5	3+5	2+5
4 sessione	LEICA		SI	SI	SI	NO	SI	NO	NO
15/12/2010	TOPCON		SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI
8.00 - 8.50	TRIMBLE		SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO

Tabella 2 - riassunto dei risultati ottenuti nei test con re-inizializzazione.

soché rettilineo e sono contenuti all'interno di un intervallo di $\pm 2-5$ cm. Con condizioni di scarsa visibilità satellitare, i dati provenienti dai ricevitori Topcon e Trimble mantengono lo stesso andamento lineare, mentre il ricevitore Leica non ha fornito soluzioni valide per le configurazioni 3+6, 2+6 e 0+6. Infine da notare come nella situazione limite con nessun satellite GPS e 6 satelliti GLONASS soltanto il ricevitore Topcon è riuscito a fornire risultati compatibili con i valori delle precedenti configurazioni.

Conclusioni

Come già affermato, l'interesse dei centri di ricerca e delle Università verso il sistema GLONASS è dovuto al fatto che l'utilizzo combinato di entrambi i sistemi satellitari può fornire una migliore geometria satellitare in condizioni critiche come quelle rappresentate dagli ambienti urbani o naturali ed eventualmente da zone soggette a disturbi elettromagnetici. Il nuovo interesse politico del Governo federale

Russo riguardo il GLONASS permetterà l'utilizzo del sistema in piena capacità operativa, 26 satelliti, come è avvenuto per il GPS entro la fine dell'anno; ad ogni modo, l'uso congiunto delle due configurazioni satellitari americana e russa oggi è possibile grazie ai ricevitori satellitari GNSS presenti sul mercato.

I primi risultati ottenuti dai test condotti in questo lavoro, variando intenzionalmente le configurazioni geometriche dei satelliti appartenenti alle costellazioni GPS e GLONASS, hanno messo in luce un buon comportamento in termini di precisione ed accuratezza da parte di tutti i ricevitori impie-

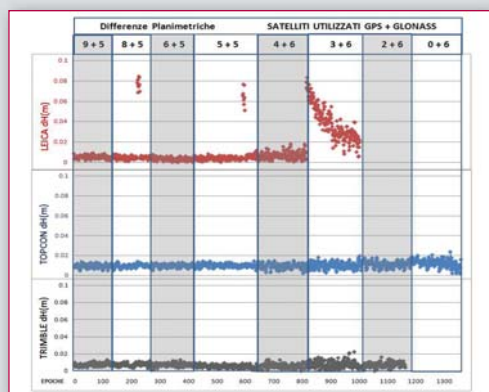


Figura 8 - Diagrammi delle differenze planimetriche.

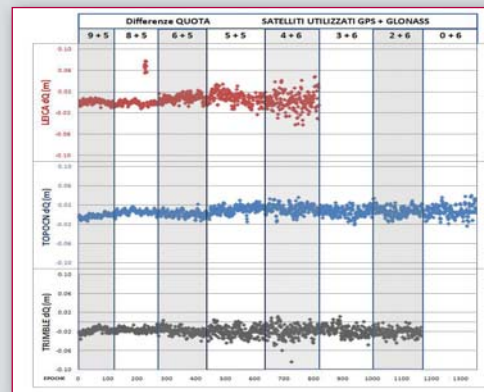


Figura 9 - Diagrammi delle differenze in QUOTA.

gati in condizioni di visibilità satellitare ottimale cioè con la disponibilità di numerosi satelliti GPS e GLONASS.

Ricreando le condizioni operative di un rilievo GPS (ostacoli, perdite di segnale, rilievo in ambito urbano, disturbi elettromagnetici) e quindi con un numero limitato di satelliti GPS e GLONASS (prove con registrazione continua), i ricevitori Topcon e Trimble hanno evidenziato bassi valori dei residui planimetrici e verticali ed elevate percentuali di soluzioni *fixed*; mentre si è notato che i risultati provenienti dal ricevitore Leica non hanno fornito soluzioni coerenti con quelle delle precedenti configurazioni, con meno di 4 satelliti GPS, seppure in presenza di 6 satelliti GLONASS.

Infine, in condizioni estreme di rilievo NRTK con soli satelliti GLONASS, l'unico ricevitore che ha fornito soluzioni *fixed* con residui centimetrici è risultato quello Topcon.

Ad ogni modo lo studio non ha la pretesa di dare dei giudizi di valore sul funzionamento dei ricevitori utilizzati, inoltre è intenzione dell'autore continuare la sperimentazione sull'apporto della costellazione GLONASS nei rilievi NRTK con ulteriori prove, verificando anche i risultati ottenibili attraverso altri tipi di correzione (VRS, MAC, FKP) generate da diversi software commerciali di gestione delle stazioni permanenti.

Autore

GINO DARDANELLI
GINO.DARDANELLI@UNIPA.IT

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE AMBIENTALE E AEROSPAZIALE,
UNIVERSITÀ DI PALERMO, VIALE DELLE SCIENZE, 90128 PALERMO

Ringraziamenti

L'autore desidera ringraziare per la *Leica Geosystem Italia*: Sergio Condello, Gianfranco Lupo e Davide Pellegrino, per la *Geotop srl*: Paolo Centanni e Vito Terzo, per la *CGT Trimble*: Leonardo Alestra e Michele Gagliano, per avere tutti cortesemente messo a disposizione gratuitamente le attrezzature software ed hardware per i test.

Un ringraziamento particolare a Francesco Bordonaro, che ha collaborato alle operazioni di rilievo e che su tali tematiche discuterà a breve la sua tesi di Laurea in Ingegneria Civile.

Parole chiave

GNSS, GLONASS, GPS, NRTK.

Abstract

Evaluation of the contribution of the GLONASS constellation in GNSS geodetic positioning with NRTK

The strengthening of the GLONASS satellite constellation can now have a system that has achieved de facto full operation by providing an important contribution to any survey, especially in the presence of obstructions to satellite visibility. This paper reports the results of some tests carried out using positioning geodetic GNSS receivers with the latest generation of different manufacturers in order to assess the contribution that the GLONASS constellation can give to NRTK (Network Real Time Kinematic) survey in GPS satellite geometry critical conditions.

TEOREMA - SOLUZIONI PER LA TOPOGRAFIA

Leica
Viva

Leica TS/TM30

Leica GNSS Serie Viva

Leica C10

- when it has to be right

Leica
Geosystems

www.geomatica.it



**WHAT
YOU SEE IS WHAT
YOU GET**
IMAGING
STATION



IS
IMAGING
STATION


**CAPTURE
REALITY**

La prima e unica imaging station
con tecnologia "Through The Lens" e zoom ottico 30x.