

I nuovi ricevitori GNSS basso costo in una struttura di reti permanenti GNSS

Alberto Cina, Mattia De Agostino, Ambrogio M. Manzino, Chiara Porporato

Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino (Italy), tel. +39 (011) 564.7630/7661/7675/7687; fax. +39 (011) 564.7699
(alberto.cina/mattia.deagostino/ambrogio.manzino/chiara.porporato)@polito.it

Riassunto

Il crescente numero di ricevitori GNSS della fascia basso costo ci ha indotti a esaminare quale possa essere il loro ruolo all'interno di un'architettura di rete di stazioni permanenti, verificandone sul campo l'accuratezza e la precisione raggiungibile in tempo reale.

Abstract

The growing number of low cost GNSS receivers has induced us to examine what can be their role inside an architecture of real time permanent station network, verifying on the field the accuracy and the operative precision in real time.

Introduzione

Scopo del presente lavoro è verificare le effettive precisione ed accuratezze di alcuni dei più diffusi ricevitori GNSS *mass market* (attualmente solo GPS) e GIS, all'interno di una rete di stazioni permanenti per il tempo reale.

Parliamo di "effettiva" precisione perché nel caso di ricevitori *mass market*, anche quando dichiarate, le precisioni non sono ben specificate mentre, per i ricevitori GIS, i valori dichiarati sono spesso da intendersi legati a modalità operative specifiche e diverse fra di loro. È stato interessante condurre un confronto pratico sul campo basato su statistiche di molte misure, eseguite nelle varie modalità di ricezione del segnale di correzione all'interno di una rete di stazioni permanenti.

La finalità dichiarata è l'uso dei prodotti di rete, sia per il tempo reale (RT) che per il post processing (PP), vale a dire l'uso delle correzioni differenziali di rete nel primo caso e dei dati di una stazione virtuale posta in vicinanza del ricevitore *rover* nel secondo.

Per quanto detto, i ricevitori selezionati dovevano necessariamente essere in grado di applicare il flusso di correzioni differenziali provenienti dalla rete e di restituire una stringa NMEA GGA, da registrare in un file allo scopo di ricavare le statistiche dei risultati del posizionamento. I ricevitori utilizzati sono stati Garmin GpsMap 76 e u-Blox 4 nella fascia *mass market*, e Leica GS20, Magellan Mobile Mapper CE, Topcon GMS-2, Trimble Pro XRT per i ricevitori GIS.

I ricevitori sono stati connessi ad una antenna esterna situata sullo stesso sito in tutti gli esperimenti. Per i ricevitori *mass market* si è usata la stessa antenna, per i ricevitori GIS si è scelta l'antenna consigliata dalla Casa costruttrice.

Per evidenti ragioni di mercato, i test comparativi che appariranno nel seguito, salvo che per i ricevitori *mass market*, non riporteranno il nome e la ditta del ricevitore. Riteniamo ugualmente significativa la comparazione in quanto renderà noti quali possono essere statisticamente gli intervalli di precisione attesi e quali i limiti ancora da superare.

Non avremo in questa nota lo spazio per riportare i risultati del post processing, tuttavia in entrambi i casi si sono esaminati dati con rate di acquisizione di 1s ed insieme di acquisizione di 24 ore.

La scelta è infatti derivata dalla necessità di rendere indipendenti nei valori medi i risultati ottenuti dalla particolare costellazione presente in un determinato istante di misura.

Criteri usati nelle prove in real time

Come accennato, queste prove sono state eseguite con i prodotti di rete compatibili con i ricevitori utilizzati. Si è utilizzata la rete di stazioni permanenti del Politecnico di Torino, estesa in quasi tutta la Regione Piemonte. In genere si sono utilizzati sia i prodotti di rete generati dal software Leica Spidernet® che quelli generati dal software Gnsmart della Ditta Geo++®. Si sono acquisite, per mezzo delle uscite NMEA dei ricevitori, le posizioni, i valori HDOP, il numero dei satelliti usati in varie modalità operative compatibili: *stand-alone*, correzione da una stazione permanente reale, correzioni di rete (Leica e Geo++) e, ove possibile, le correzioni EGNOS.

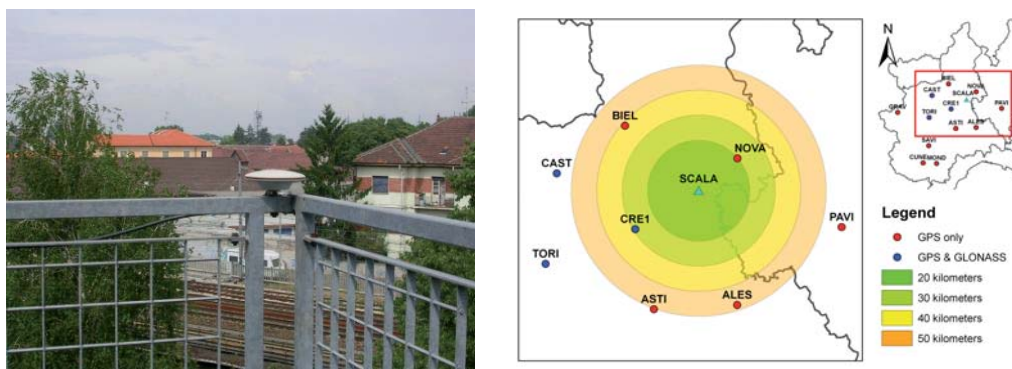


Fig. 1.a Sito ed antenna utilizzati per le prove. Fig. 2 Sito delle prove e stazioni della rete.

Come è noto una rete di stazioni permanenti per il tempo reale, non solo permette per i ricevitori geodetici il fissaggio dell'ambiguità all'interno della superficie coperta, ma rende anche grossomodo omogenea la precisione ottenibile in un vasto territorio. Il sito utilizzato per le prove si trova ad un centinaio di metri dalla stazione permanente di Vercelli. Per fare in modo che i risultati ottenuti fossero veramente quelli ottenibili in qualunque punto della rete, durante le prove, si è esclusa volutamente la stazione di Vercelli dai due software di rete usati. In questo modo la stazione reale più vicina risultava, nelle varie prove, ad almeno 20 km di distanza dal ricevitore testato. (Fig. 2). Nel seguito non riportiamo tutte le numerosissime prove derivanti dalle possibili combinazioni: ricevitore - prodotto di rete - software di rete; non solo occorrerebbe molto spazio, ma non apporterebbe elementi aggiuntivi alle conclusioni che possiamo trarre mostrando una sintesi dei lavori eseguiti.

I confronti sono derivati dalla differenza delle coordinate con quelle della posizione nota con precisione centimetrica del punto di stazione e vanno pertanto considerati veri e propri "errori" di posizionamento e non "scarti" rispetto a valori medi.

Per analizzare i risultati e produrre sintesi grafiche si è utilizzato il software GNSSDA (GNSS Data Analyser) costruito in ambiente Matlab® da uno degli Autori (Fig. 3).

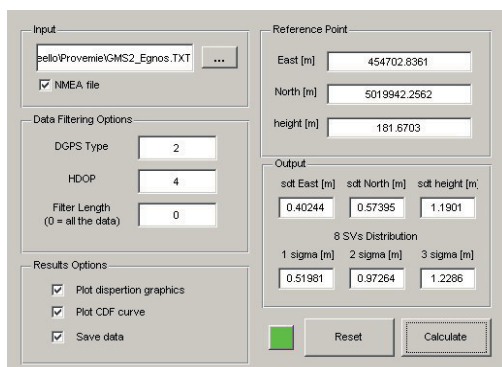


Fig. 3 a Interfaccia del software GNSSDA

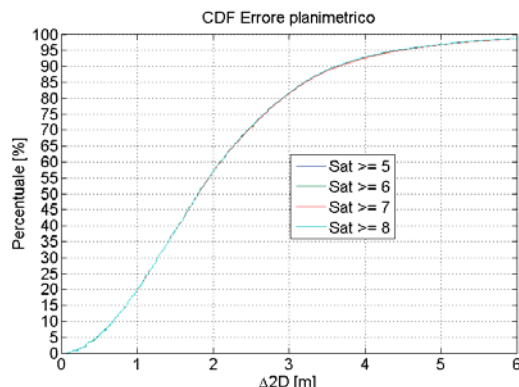


Fig. 3 b Uno dei grafici prodotti dal software

Dall'immagine di sinistra di Fig. 3 si può comprendere quali siano alcune delle variabili considerate dal programma. È possibile, ad esempio, non considerare nelle statistiche i risultati con valori HDOP superiori ad una certa tolleranza. I risultati seguenti considerano tutti un valore limite di HDOP =4. La finestra "FilterLength" permette di mediare i risultati attraverso una media mobile di "n" dati con "n" variabile. Il valore zero indica che non vengono eseguite operazioni di media mobile.

È poi possibile produrre grafici delle funzioni cumulative di frequenza rispetto al valore vero (non rispetto al valore medio) per valutare sia l'accuratezza che la precisione, produrre grafici di dispersione planimetrica ed altimetrica, salvare i dati elaborati per ulteriori analisi. Il programma fornisce gli sqm delle tre componenti, gli rms dei risultati, i parametri dell'ellissoide d'errore ed altre statistiche accessorie. Il grafico di fig. 3.b mostra ad esempio come cumulativamente si distribuiscono gli errori in planimetria (la somma vettoriale delle componenti planimetriche) per il ricevitore GpsMap76 in 24 ore di misura senza alcun tipo di correzione differenziale (*stand-alone*). Con un numero di satelliti minore od uguale a 7 e maschera HDOP di 4, ci poniamo, al 90% di probabilità, attorno a 3.6 m di errore e, al 95% di probabilità, attorno a 4.5m di errore. Si noti come le curve non differiscano di molto al variare del numero di satelliti; per tale motivo, statisticamente possiamo dire che, nel 95% dei casi, mediamente, con ogni costellazione presente, l'errore planimetrico sarà inferiore a 4.5m.

I risultati ottenuti in RT per ricevitori mass market

Per poter confrontare fra di loro le numerose prove ci siamo posti in condizioni simili, utilizzando per tutte le analisi i risultati forniti dalle curve per un numero di satelliti massimo uguale a 7 ed un HDOP mask =4 in ogni confronto. Considereremo il 95% di probabilità nei vari casi. Partiamo dai due ricevitori *mass market*: uBlox 4 e Gpsmap76. Ove non specificato esamineremo la precisione planimetrica, non per ridurre l'analisi che è stata invece completa, ma perché questi ricevitori vengono prevalentemente utilizzati in un contesto ove prevale l'importanza dell'informazione planimetrica; i risultati altimetrici, come prevedibile, sono più scadenti nonostante, come già detto, i ricevitori fossero connessi ad un'antenna esterna.

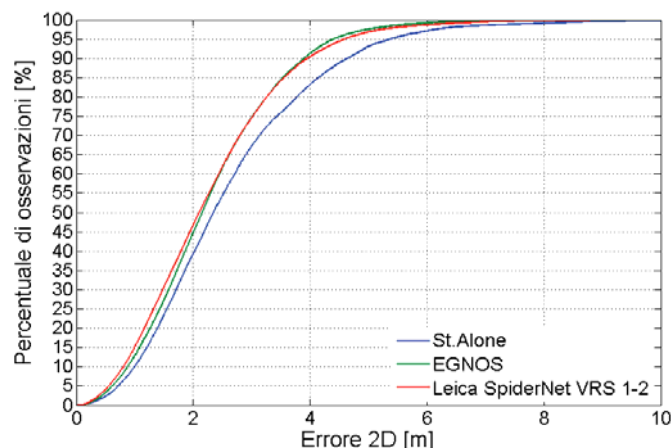


Fig. 4 Dispersione cumulativa per il ricevitore uBlox 4

Fra le analisi eseguite sul ricevitore uBlox 4 riportiamo i risultati del posizionamento planimetrico *stand-alone*, di quello ottenuto con la correzione EGNOS e di quello ottenuto con la correzione VRS della rete Leica. I risultati ottenuti dall'altro software di rete (Gnsmart ®) sono quasi identici, come pure molto simili al dato di rete sono i risultati ottenuti con i dati di una stazione reale a 20 km o più di distanza. In estrema sintesi le precisioni al 95% sono in *stand-alone* di 5.4 m, con EGNOS si portano a 4.5 m e con il software di rete a circa 4.6 m. Le conclusioni che si possono trarre sono: con questo ricevitore non è migliore la correzione di rete rispetto alla correzione europea. Il valore dell'“augmentation” massima è di circa 1 metro. Ciò che però producono entrambe le correzioni è un aumento di accuratezza del risultato, in quanto la posizione *stand-alone* risulta deviata.

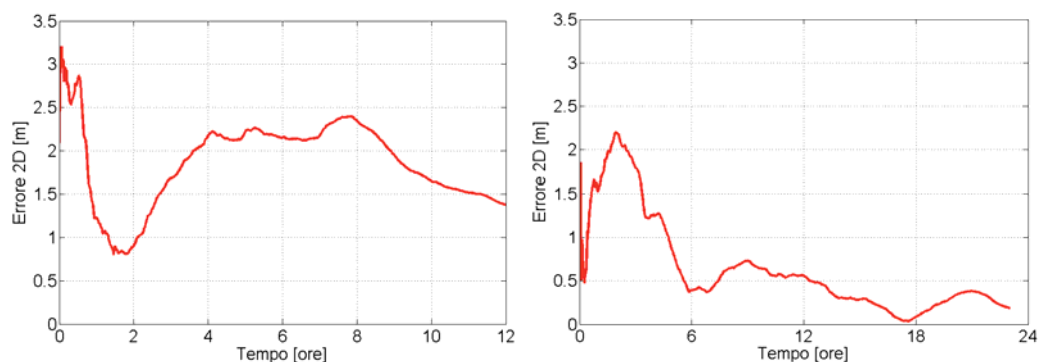


Fig. 5 Errore di posizionamento planimetrico per uBlox 4 con correzioni Stand Alone (sx) e correzioni EGNOS (dx)

Quest'ultima affermazione è messa ben in evidenza dai grafici visibili in Fig. 5: mediando i dati di posizione nelle modalità *stand-alone*, anche dopo diverse ore di misura, l'errore non scende sotto 1.5m, mentre si annulla dopo poche ore con l'uso della correzione EGNOS (e con quella di rete). I grafici di Fig. 5 mostrano anche che, mediando dati, anche nel caso di uso di correzioni differenziali, si scende a precisioni dell'ordine di 2 m dopo circa 2 ore e a precisione metrica dopo circa 5 ore di misura.

Risultati simili si sono ottenuti anche con il ricevitore Garmin GpsMap76, con qualche lieve differenza che riportiamo: una migliore precisione *stand-alone*: 4.5 m al 95% (Fig. 3), contro 5.4 m

di uBlox, una maggiore sensibilità a migliorare la precisione mediando poche epoche: ad esempio, mediando 120 epoche, la precisione e l'accuratezza al 95% scendono a 3.2 m *stand alone*. In questo caso infatti il dato *stand-alone* non risulta essere deviato. Il beneficio di qualsiasi correzione porta un aumento di precisione al 95% di meno di 1 m, vale a dire si passa da 4.5m a 3.6 m al 95%.

Dalle prove compiute abbiamo ricavato una generale deduzione valida per entrambi i ricevitori *mass market*: mentre si possono ottenere lievi benefici mediando il dato di posizione *stand-alone*, non si hanno praticamente benefici nel mediare il dato corretto con ogni tipo di correzione. Il suggerimento tuttavia è utilizzare con tutti questi ricevitori qualche tipo di correzione differenziale per evitare che il risultato sia deviato e preferibilmente una correzione di rete per essere automaticamente nel riferimento desiderato.

I risultati ottenuti in RT sui ricevitori GIS

I ricevitori esaminati sono di quattro Case diverse. Per ovvi motivi commerciali, non riportiamo i nomi dei costruttori ma evidenziamo i problemi e le peculiarità riscontrati. In generale, sia il posizionamento *stand-alone* che quello differenziale risultano ovviamente più precisi di quelli realizzati con i ricevitori *mass market*. Nel 95% dei risultati ottenuti il posizionamento planimetrico *stand-alone* si colloca in una fascia compresa tra i 2.8m e 1.8m, mentre l'uso di correzioni differenziali può portare la precisione al 95% dei casi a valori submetrici. Ciò significa che, a differenza dei ricevitori *mass market*, la precisione migliora di un fattore due con l'uso di correzioni; più in generale, migliora anche l'accuratezza e l'affidabilità, intesa come minor sensibilità ad errori grossolani.

A questo proposito osserviamo il caso emblematico di un ricevitore che utilizza le due costellazioni ad oggi disponibili più sviluppate (GPS e GLONASS). La fig. 6 mostra la distribuzione degli errori nel posizionamento *stand-alone*, EGNOS e con le correzioni di rete (record 1 e 2 di RTCM 2.1)

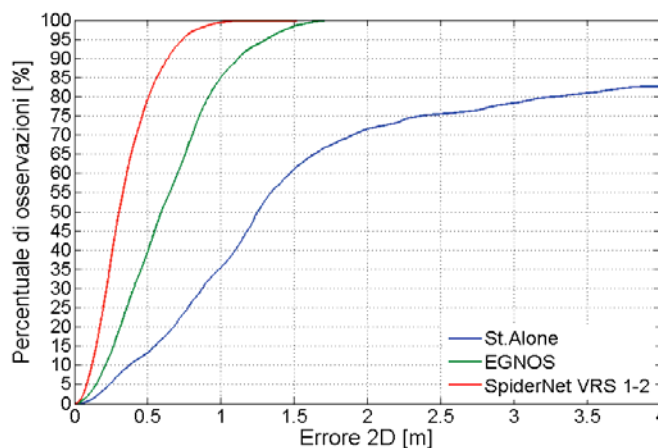


Fig. 6 Distribuzione cumulativa degli errori planimetrici in un ricevitore GIS abilitato a EGNOS

Si noti come le precisioni *stand-alone* siano scadenti, mentre rimangono ottime le precisioni (e le accuratezze) nel posizionamento EGNOS (1.3m) e di rete (0.75m). I test sul posizionamento *stand alone* sono stati ripetuti per altri tre giorni successivi, fornendo simili risultati scadenti. Indagando su quale potesse essere il problema, si è ragionevolmente ipotizzato che fosse dovuto all'uso di un satellite non in salute che il ricevitore ugualmente utilizzava. Per eliminare questo problema non era quindi sufficiente fissare una maschera di HDOP = 4, in quanto tale valore era ampiamente rispettato, ma occorreva almeno imporre anche una tolleranza ai valori di *sqm* formali delle coordinate, per quanto questi siano spesso poco indicativi della reale precisione del dato.

L'uso di un tipo di “*augmentation*” quindi non solo migliora la precisione, ma permette anche di utilizzare le informazioni derivanti dai soli satelliti in salute, aumentando di fatto l'affidabilità del risultato.

Infine si può notare che l'uso della correzione di rete porta a migliorare la precisione di più di mezzo metro nei confronti della correzione EGNOS.

Un secondo ricevitore esaminato era in grado di utilizzare anche la fase per lisciare i dati di codice, permettendo inoltre di usufruire dei record 18 e 19 oltre che dei record 1 e 2 del messaggio RTCM 2.1.

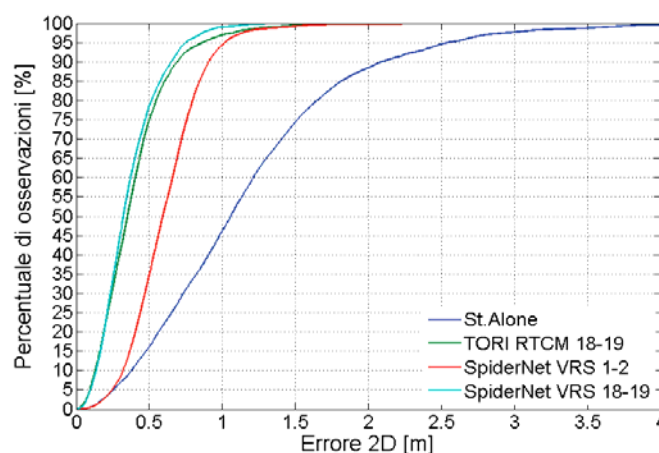


Fig. 7 Cumulativa degli errori planimetrici in un ricevitore GIS abilitato ai record 18 e 19

In questo ricevitore la precisione planimetrica stand-alone è di 2.50 m al 95%. Il miglioramento dovuto alla correzione di rete ci porta a precisione metrica nel caso di utilizzo dei record di codice (RTCM 1-2) e dei dati di rete (1.05 m al 95%). Utilizzando anche le fasi (RTCM 18-19) tali valori scendono a 0.74 m con i prodotti di rete.

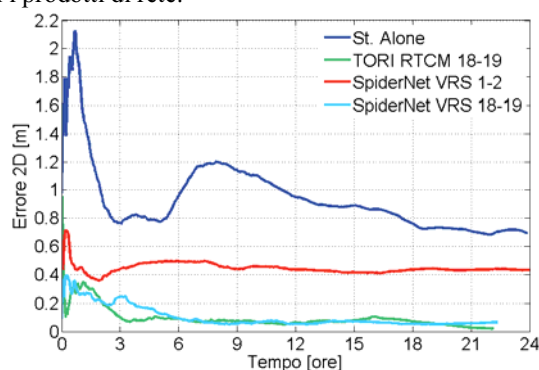


Fig. 8 Andamento nel tempo dei valori medi di posizione rispetto alla posizione nota

Per verificare a quale dei fattori fosse dovuto principalmente il miglioramento, se all'uso della fase o alla modellazione migliore del dato di fase all'interno della rete, abbiamo utilizzato anche le correzioni di codice e di fase provenienti da una stazione lontana: Torino, a circa 80 km. Il valore trovato in questo caso è di 0.80 m al 95%.

In questo caso il ricevitore era in grado di utilizzare la sola costellazione GPS: il confronto con il caso precedente, nel caso di utilizzo per entrambi delle correzioni di codice, mostra risultati a favore

dello strumento a due costellazioni ma, nel caso di uso di misure di fase, le precisioni sono praticamente identiche. Le misure sono state eseguite con 13 satelliti GLONASS operativi; lo scenario potrebbe cambiare, forse non drasticamente, al completamento della costellazione GLONASS.

È al solito interessante osservare se vi siano dei sistematismi nei dati: lo si può verificare sia dai valori medi sia da come gli errori medi di posizione variano nel tempo (Fig. 8). Si nota che, nel caso di uso delle correzioni VRS con i record 1 e 2 permane un errore sistematico in planimetria di circa mezzo metro. Un errore circa doppio si ha nel posizionamento *stand-alone*. Tale errore è assente nei due tipi di posizionamento che utilizzano anche le fasi. In questo caso l'accuratezza scende a 30 cm dopo un'ora di misure ed a 10 cm mediando ben sei ore di dati. Siamo ovviamente consapevoli che questi tempi di attesa non sono praticamente operativi.

Analizziamo ora alcuni risultati ottenuti da un ricevitore GIS GPS leggermente più economico dei precedenti. Alcuni risultati sono visibili in Fig. 9. L'errore planimetrico è migliore, nel 95% dei casi a 2.7 m in modalità *stand-alone*. Le correzioni applicabili (record 1, 2 e 3 di RTCM 2.1) sia di rete, sia da una stazione permanente lontana (Torino a 80 km) apportano lo stesso grande beneficio: 1.85 m al 95% dei casi. La correzione di rete tuttavia permette nel 100% dei casi di non superare errori maggiori di 2.8 m, mentre si arriva a 3.5 m con correzioni da singola stazione.

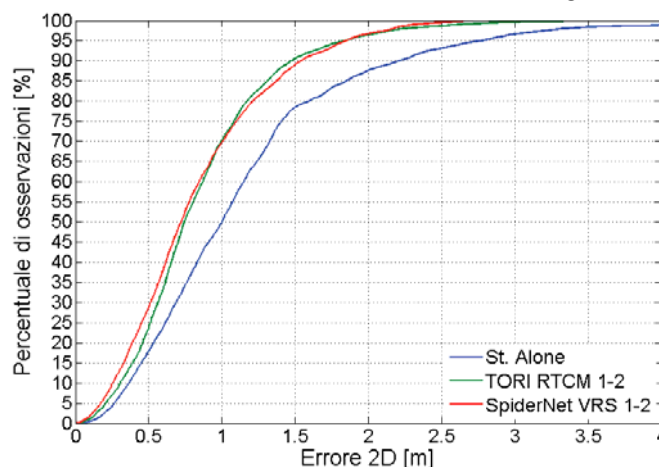


Fig. 9 Andamento degli errori cumulativi di un ricevitore GIS di medio costo

I dati *stand-alone* appaiono affetti da errore sistematico di circa 0.95 m mentre nelle posizioni corrette i sistematismi planimetrici scendono a 0.45m. In questo caso la media di un numero di epoche compreso tra 30 e 120 non produce un sensibile miglioramento della precisione che appare dopo alcune decine di minuti di misure e quindi ancora operativamente non proponibile. Con questo ricevitore quindi non si riesce ad abbattere la barriera del metro (al 95% dei casi).

Conclusioni

Il lavoro, pur nella sua brevità, pensa di aver chiarito l'ordine di grandezza delle precisioni realmente ottenibili all'interno di una rete RT per i ricevitori *mass market* e GIS attualmente più diffusi. Purtroppo alcune volte non si distingue fra le due categorie ed altre volte i valori riportati nelle tabelle tecniche sono eccessivamente ottimistici. Fra le conclusioni ottenute sottolineiamo:

- I ricevitori *mass market* e GIS possono vantaggiosamente essere utilizzati all'interno di una rete RT, con un beneficio più marcato per quest'ultimi. Tutti, in ogni caso, migliorano accuratezza ed affidabilità;

- le correzioni di rete migliorano sensibilmente i risultati rispetto alle correzioni EGNOS, ma solamente nei ricevitori di tipo GIS;
- il posizionamento di rete non migliora di molto mediando le posizioni;
- non tutti i ricevitori GIS, pur con l'uso di antenna esterna come in tutti i nostri casi, possono raggiungere precisioni planimetriche inferiori al metro;
- alla data odierna la costellazione GLONASS non apporta sensibili benefici, o meglio, la correzione di codice apporta gli stessi benefici ottenibili su un ricevitore GPS con la correzione di fase.

Più in generale, possiamo osservare che le barriere da abbattere nei ricevitori di questa fascia di costo non riguardano tanto la precisione, ma l'accuratezza e l'affidabilità del risultato e che molto, in termini di algoritmi a ciò dedicati, è ancora possibile fare.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano esprimere un sentito ringraziamento alle Ditte che gentilmente hanno messo a disposizione la loro strumentazione.

Bibliografia

Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J., *GPS Theory and Practice*, Springer Wien New York, ISBN: 3-211-83534-2.

Cina, A. Manzino, A. Roggero, M.: "Stazioni Virtuali di Codice". In "Atti della V Conferenza Nazionale ASITA", 2001, pagg. 539-546.

Baldo M., Cina, A. Manzino A., Roggero M. "Utilizzo geodetico e in tempo reale di ricevitori GPS di basso costo". in Atti della VI Conferenza Nazionale ASITA, Perugia – novembre 2002