

# Esempi applicativi e modalità del servizio di posizionamento GPS in tempo reale, all'interno della prima rete demo-test italiana del software GPSNet Trimble-Terrasat.

Massimo GELMINI\*, Carlo LANZI\*, Giuseppe STEFINI\*, Giorgio VASSENA\*

(\* Università degli Studi di Brescia, Dipartimento di Ingegneria Civile, via Branze 38, 25123 Brescia  
tel. +390303715516 e-mail [giorgio.vassena@unibs.it](mailto:giorgio.vassena@unibs.it)

## Riassunto

Dai primi mesi del 2003, presso il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università degli Studi di Brescia, è in svolgimento il primo test italiano di posizionamento cinematico GPS in tempo reale basato su una rete di stazioni fisse, secondo l'approccio *Network RTK*. La sperimentazione – svolta in collaborazione con Trimble Italia S.r.l. – intende verificare affidabilità e potenzialità del posizionamento RTK supportato da rete, attraverso la realizzazione di un *network* di quattro stazioni permanenti, allestite nel Nord Italia ai vertici del quadrilatero Brescia-Cremona-Mantova-Verona. All'interno della rete, la materializzazione di un esteso poligono di prova costituisce uno strumento utile alla concreta valutazione di prestazioni e applicabilità della nuova tecnica per l'utente finale. L'articolo descrive le fasi di allestimento della rete, illustrando le soluzioni adottate per l'attivazione del servizio, la modalità operativa e l'esecuzione di alcune prove realizzate nel corso della sperimentazione. Sono inoltre presentati i risultati ottenuti da una preliminare elaborazione dei dati acquisiti nell'area di prova.

## Abstract

The first Virtual Reference Station Demo Test in Italy – managed by the Civil Engineering Department of University of Brescia in collaboration with Trimble Italia – has been set up in the North of the Country, where a four stations network through Brescia, Cremona, Mantova and Verona has been established, in order to evaluate the real potentiality of the new concept, in terms of accuracy, precision and reliability. For the opportunity a wide test site has been made inside the network and through the border line, where some tests have been carried out. The paper describes the network installation and activation, the adopted technical solutions, the instrumentation equipment and main operational requirements. The first results are presented.

## 1. Una rete test VRS nel nord Italia. Aspettative.

Disporre di una rete di stazioni permanenti sulla quale implementare un sistema di gestione centralizzato è un'opportunità unica per la sperimentazione diretta di un approccio innovativo di posizionamento RTK quale è quello basato sul concetto di stazione di riferimento virtuale. In tale sistema il ricevitore mobile trasmette la propria posizione approssimata, contenuta nella stringa GGA del messaggio NMEA, ad un'unità di calcolo centrale e viene raggiunto da un'informazione dipendente dalla rete – data dall'interpolazione delle osservazioni di tutte le stazioni – che simula una base virtuale posta in prossimità del ricevitore mobile. L'utente interpreta i dati di correzione prodotti dall'intera rete come operando con un'unica stazione fissa, ma su una base di distanza ridotta, aumentando conseguentemente in modo significativo la prestazione rispetto ad un RTK tradizionale.

I vantaggi teorici riguardano la possibilità di mitigare la dipendenza dalla distanza che limita tipicamente la soluzione RTK, mediante la capacità della rete di produrre modellazioni accurate di effetti ionosferici e troposferici, oltre che di errori orbitali. In questo modo si realizza la possibilità di operare fino a distanze di 40 km, disponendo di una griglia di stazioni fisse con passo fino a circa 80 km, grazie alla riduzione degli effetti sistematici dipendenti dalla distanza (errori d'orbita, ionosferici e troposferici) e dal sito (multipath e variazione di fase dell'antenna); è quindi atteso un incremento di accuratezza, precisione e affidabilità, favorito dall'esistenza di un'unità centrale che si occupa tra l'altro di analizzare consistenza e qualità dei dati in ingresso e di svolgere un servizio di monitoraggio in tempo reale.

Da test eseguiti all'estero provengono risultati incoraggianti che hanno mostrato un notevole aumento (circa 50%) delle precisioni sia nel posizionamento planimetrico che in quello altimetrico, oltre ad una consistente riduzione dei tempi di inizializzazione sempre inferiori ai 3 minuti. Assumendo gli esiti di tali esperienze come termine di confronto, il test italiano si attende di confermare il livello di accuratezza attestato inferiormente a 2 centimetri in coordinate orizzontali fino a distanze di 40 km, con tempo di inizializzazione non superiore al minuto su basi di 30 km, anche in condizioni di intensa attività ionosferica.

## **2. Allestimento della rete test e del poligono di prova.**

La rete consta di quattro stazioni di riferimento posizionate ai vertici del quadrilatero delimitato da Brescia, Cremona, Mantova e Verona. Le antenne GPS sono state allestite presso enti pubblici o sedi universitarie, su capisaldi stabilmente materializzati sulla copertura degli edifici. L'interdistanza tra le stazioni è compresa tra un minimo di 34 km (Verona-Mantova) ed un massimo di 65 km (Cremona-Verona, Cremona-Mantova).

La georeferenziazione dei vertici di rete è stata eseguita nel sistema WGS84 vincolando le coordinate della sola stazione di Brescia, precedentemente determinate in ITRF2000, per limitare l'introduzione di distorsioni. Entrambe le elaborazioni – l'inserimento in ITRF2000 e la risoluzione della rete test – sono state condotte operando in multisessione con il software Bernese 4.0 su dati acquisiti in continuo per sei giorni consecutivi. La rete è stata anche inquadrata nel sistema nazionale IGM95, indispensabile per verificare l'applicabilità del *Network RTK* in un contesto non accademico e la concreta fruibilità di un servizio per il territorio.

Nel sistema solidale ai vertici di rete sono stati in seguito inquadrati i punti appartenenti al poligono di prova realizzato internamente alla rete, lungo le diagonali del quadrilatero – dove si sono materializzati punti con passo di circa 10 km e raffittimento a 5 km – e in un'area limitrofa sulla congiungente Brescia-Cremona, destinata allo studio del comportamento al contorno e all'esterno del quadrilatero (Figura 3).

## **3. Architettura della rete RTK.**

Ognuna delle quattro stazioni di riferimento allestite presso i vertici della rete è equipaggiata con un ricevitore Trimble 5700, dotato di antenna Trimble Zephyr Geodetic e connesso ad un terminal server attraverso il quale si stabilisce la comunicazione via internet con il centro di controllo di Brescia, al quale vengono recapitati in continuo, alla frequenza di 1 Hz, i dati grezzi acquisiti nel formato proprietario RT17, con una velocità di 9600 baud rate. La scelta di impiegare la rete internet pubblica per inoltrare i dati al centro di calcolo, dettata inizialmente da esigenze di semplicità e di convenienza, si è rivelata alla prova dei fatti proficua, data l'elevata stabilità del collegamento (se si escludono alcune interruzioni sufficientemente brevi per non condizionare lo stato del processore) e considerata la piuttosto ridotta latenza riscontrata (raramente superiore al decimo di secondo e regolarmente di almeno un ordine di grandezza inferiore).

Il cuore del sistema è rappresentato dal *server software* GPSNet<sup>®</sup> installato a Brescia presso il centro di controllo, ininterrottamente connesso alle stazioni remote ed in grado di gestire simultaneamente diverse funzioni quali, la decodifica ed il trattamento preliminare dei dati grezzi, la modellizzazione e stima degli errori sistematici, la generazione della soluzione VRS, la

generazione e la trasmissione del flusso di dati RTCM (o CMR) per la posizione virtuale di ogni ricevitore mobile in campagna.

Requisito fondamentale di una rete RTK implementata secondo la modalità VRS è l'esistenza di una comunicazione bidirezionale tra ricevitore mobile e centro di calcolo. Per il test italiano è stata adottata la soluzione di collegamento GSM mediante modem cellulare. Il livello di trasmissione è pertanto costituito da una serie di modem collegati alle porte seriali del PC che ospita il server centrale, ciascuno dei quali accoppiato – all'interno del software GPSNet<sup>®</sup> – ad un generatore di correzione differenziale che si attiva automaticamente non appena pervenga la chiamata dal modem remoto. Lato utente, l'equipaggiamento comprende un ricevitore GPS che accetti RTCM v2.1, 2.2 o CMR, connesso ad un terminale GSM. I telefoni cellulari con accesso immediato ai dati possono fungere da modem per un dispositivo portatile: in tal caso è sufficiente collegare il terminale al ricevitore attraverso un appropriato cavo dati.

#### **4. Prove in tempo reale. Risultati.**

Una parte significativa delle prove in tempo reale è stata dedicata al posizionamento ripetuto su una successione di punti materializzati all'interno della rete (georeferenziati tramite posizionamenti in modalità statica di 4 ore), lungo le direzioni delle diagonali del quadrilatero, con un equipaggiamento comprendente un ricevitore Trimble 5700 con antenna Zephyr Geodetic allestita su treppiede topografico ed un modem cellulare. I test – finalizzati alla valutazione delle prestazioni ottenibili dal sistema in termini di accuratezza, precisione e affidabilità rispetto ad un RTK convenzionale avente Brescia come stazione fissa – sono stati anticipati da una serie di prove preliminari volte alla definizione di alcuni parametri guida utili allo svolgimento successivo. Da un'analisi dei dati acquisiti è emerso che l'influenza del tempo di stazionamento (mai inferiore a 5 s) è assente sull'accuratezza mentre sembra condizionare la precisione che aumenta stabilizzandosi rapidamente per stazionamenti di 30 s, ma soltanto nei punti prossimi ai bordi della rete e all'esterno di essa; all'interno della rete non si riscontra alcuna dipendenza dalla durata dell'operazione di misura. L'indagine preliminare ha anche permesso di stabilire il numero minimo di acquisizioni necessario per dare consistenza ad un'analisi statistica dei dati: considerando la numerosità di un campione statisticamente rappresentativo, si è ritenuto sufficiente, su ogni punto rilevato, ripetere la procedura di inizializzazione per 10 volte e, all'interno di ciascun rilievo, acquisire la posizione ripetutamente, per 5 volte, al termine di ogni misura rispettivamente della durata di 5, 15 e 30 secondi. Valutando inoltre l'opportunità di considerare la variazione dello stato della costellazione GPS e delle condizioni atmosferiche (soprattutto l'escursione dell'effetto ionosferico), si è scelto di eseguire almeno due sessioni di misura in condizioni differenti nell'arco di una giornata. Operando nel modo descritto sui punti dell'area di prova, è stato possibile stabilire la variazione di accuratezza e precisione in funzione della posizione occupata all'interno della rete e al variare dei parametri ambientali.

L'errore di posizionamento plano-altimetrico per il punto BSMN024 – situato in posizione centrale della rete, alla distanza di 37 km da Brescia – è illustrato in Figura 1. Per entrambe le tecniche di misura, l'accuratezza risulta inferiore al centimetro in planimetria; il posizionamento VRS presenta la medesima accuratezza in quota, mentre in RTK lo scostamento medio è di 2.5 cm. La precisione planimetrica si mantiene inferiore a 1.5 cm in VRS, mentre risulta prossima a 2 cm in RTK; in altimetria il VRS appare maggiormente preciso (2.8 cm) della tecnica tradizionale (4.3 cm).

Estendendo l'analisi ai dati raccolti su tutto il poligono interno, lo scenario appare più variegato, mostrando per VRS e RTK in planimetria accuratèzze confrontabili, mai superiori a 2 cm, e valori normalmente prossimi a 2.5 cm in quota. Le precisioni – attestate su valori inferiori a 1.5 cm per entrambe le tecniche fino a 25 km dalla stazione di riferimento – si differenziano per distanze superiori, rimanendo invariate per la modalità VRS ed aumentando rapidamente per il posizionamento RTK, superando 3 cm in planimetria e arrivando a 4 cm in quota. Raggiunta la distanza di 45 km, la disponibilità di inizializzazione RTK cessa determinando il limite di portata del sistema (Figura 2).

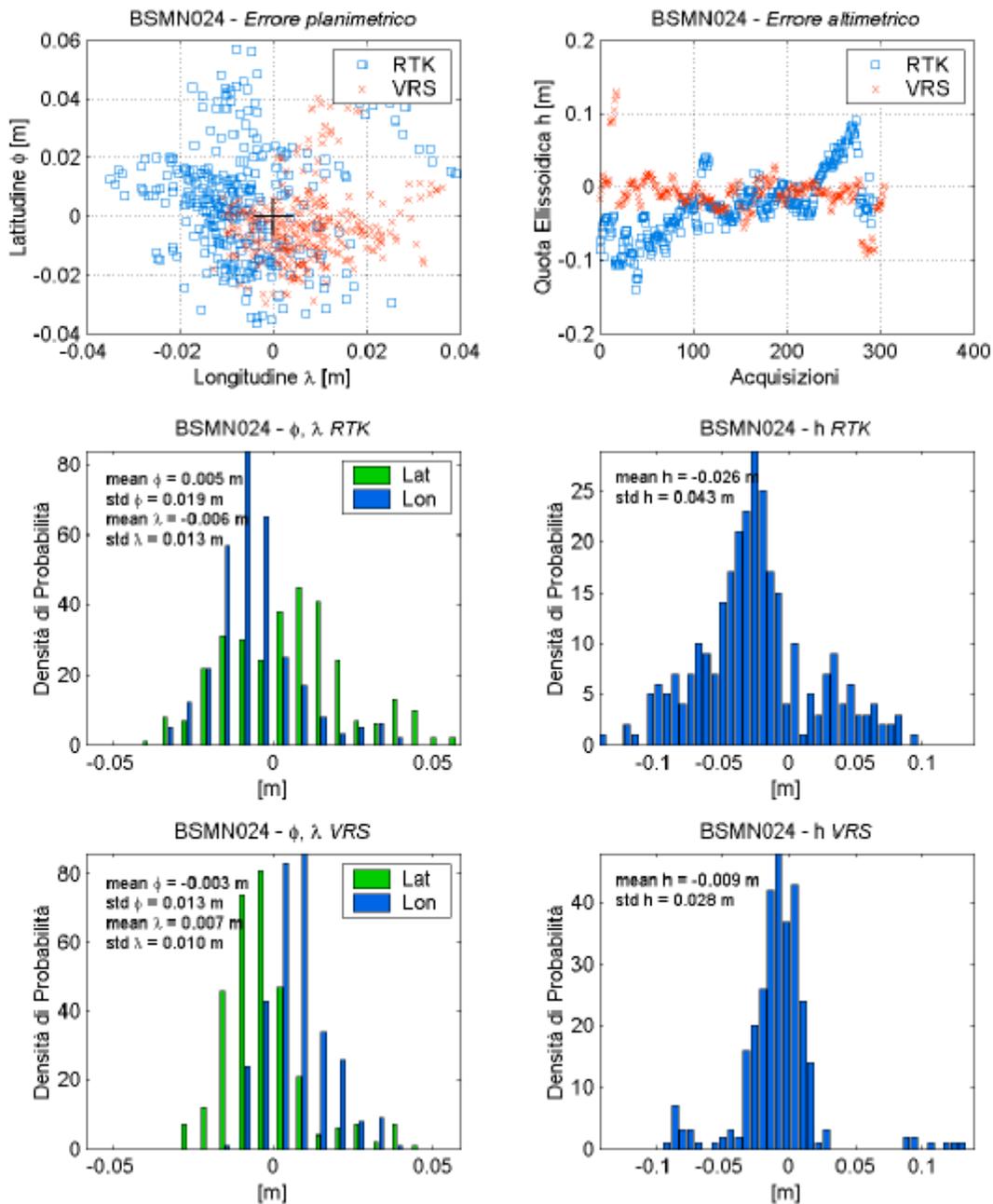


Figura 1 Errore di posizionamento plano-altimetrico e statistiche per il punto BSMN024.

La performance del servizio viene indagata anche relativamente al tempo necessario per la risoluzione delle ambiguità intere di fase (TTFA), parametro essenziale per giudicare la produttività dell'applicazione. I risultati di Figura 4, dove si illustrano i tempi medi di inizializzazione riscontrati sui punti della diagonale Brescia-Mantova, confermano come l'elevata produttività sia uno degli elementi di forza del sistema VRS: la durata media del processo di risoluzione delle ambiguità di fase appare infatti generalmente inferiore a 25 secondi e comunque non superiore a 45 secondi, indipendentemente dalla posizione all'interno della rete; diversamente, i tempi medi RTK tendono ad aumentare decisamente con la distanza dalla stazione fissa, raggiungendo anche valori superiori a 3 minuti.

Lo stato della costellazione GPS e – in misura minore – la condizione ionosferica (variabile attualmente in modo contenuto a queste latitudini) influenzano significativamente la qualità di posizionamento, come evidenziano i risultati delle due sessioni svolte sul punto BSMN013 (Figura 5), la prima al mattino (AM), in presenza di numerosi satelliti e scarsa attività ionosferica, la

seconda pomeridiana (PM), contraddistinta da un minor numero di satelliti in vista e in prossimità del culmine ionosferico giornaliero.

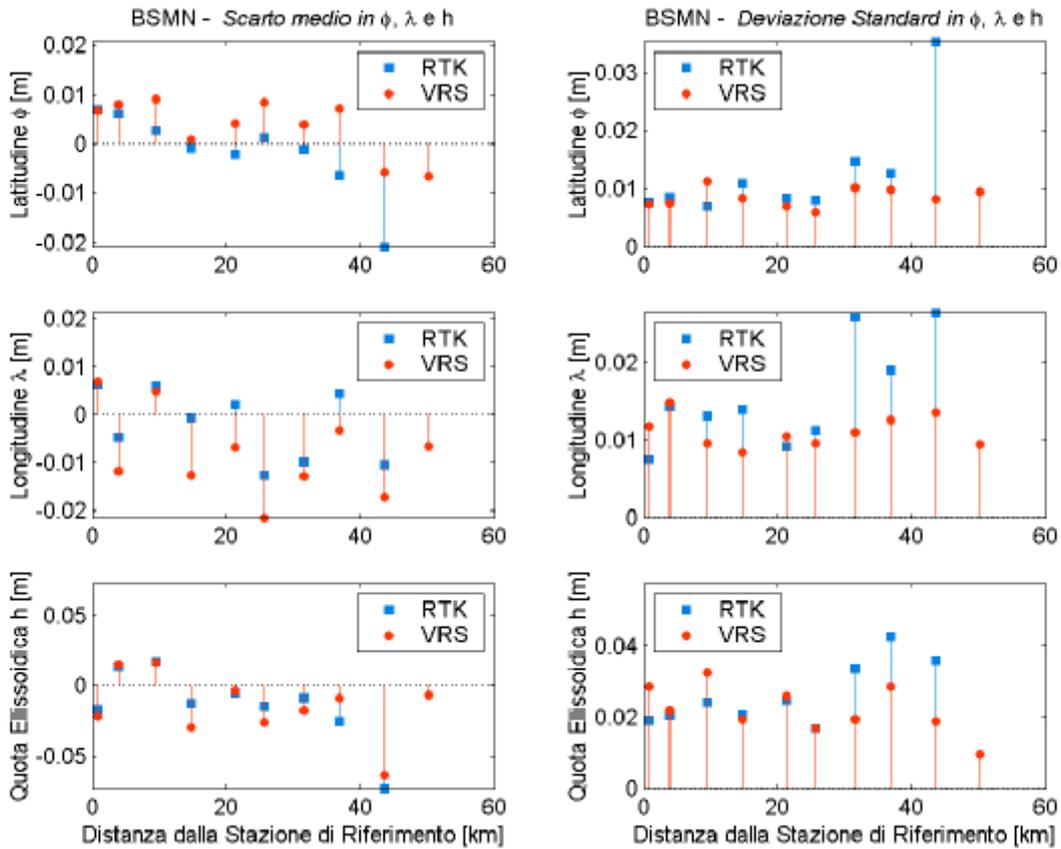


Figura 2 Accuratezza e precisione di posizionamento sulla diagonale BSMN al variare della distanza da Brescia.

I risultati mostrati sono confermati da un'ulteriore serie di prove, condotta in una zona di confine lungo la congiungente Brescia-Cremona e trasversalmente ad essa e finalizzata a verificare l'affidabilità del servizio in zone di bordo e la «portata» oltre il perimetro della rete. Da tali prove, tuttora in fase di svolgimento, emerge la possibilità di ottenere qualità di posizionamento paragonabili a quelle valutate internamente alla rete, anche allontanandosi più di 20 km da essa, purché si adottino tempi di stazionamento di almeno 15 secondi.

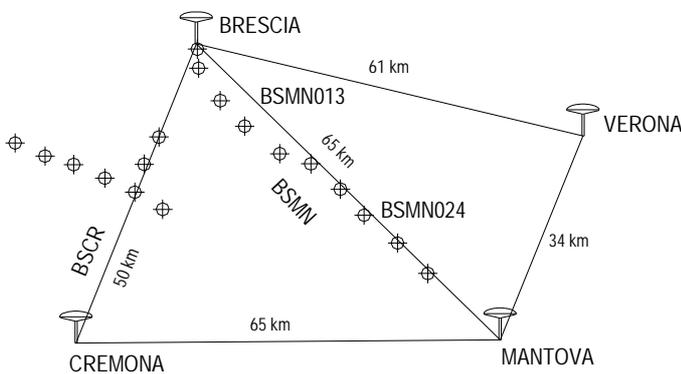


Figura 3 Schema della rete e dell'area di prova.

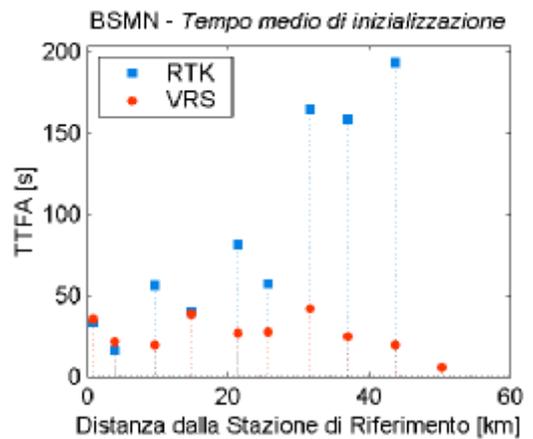


Figura 4 TTFa medi sulla diagonale BSMN.

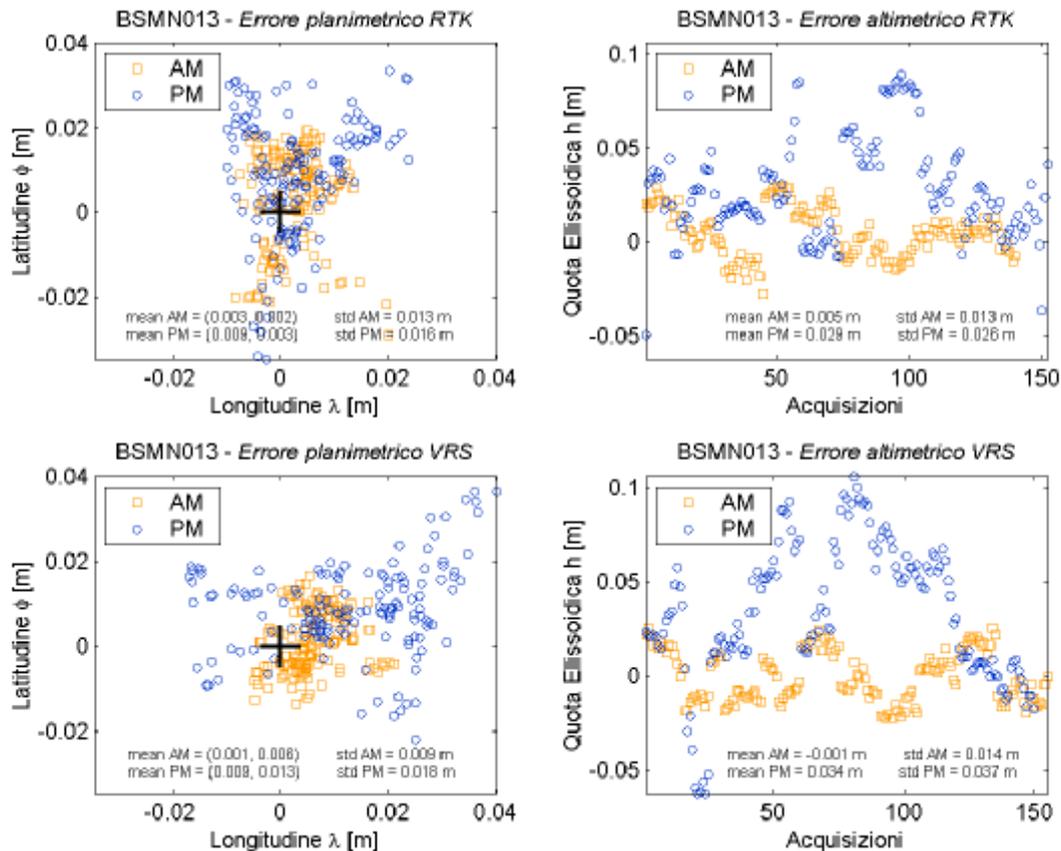


Figura 5 Errore di posizionamento plano-altimetrico nel punto BSMN013 in due sessioni distinte.

## 5. Conclusioni.

L'analisi dei dati acquisiti sembra confermare i risultati pubblicati all'estero. Operando all'interno della rete, dove non sembra sussistere alcuna dipendenza dell'accuratezza dal tempo di stazionamento, l'accuratezza è stimabile in 1.5 cm in planimetria e 2 cm in altimetria; la precisione si attesta al centimetro in planimetria e varia tra 2 e 3 centimetri in quota, rimanendo comunque inferiore ai valori del posizionamento RTK, soprattutto per basi di distanza superiore a 25 km. Indiscutibilmente superiore rispetto alla modalità RTK – assai più dispendiosa nei tempi operativi e limitata superiormente in copertura – è risultata la rapidità del processo di inizializzazione, il quale ha comportato un'attesa media, per punto, sempre inferiore a 45 secondi, indipendentemente dalla posizione occupata. Restano infine ancora da indagare le effettive possibilità di estrapolazione del modello correttivo esternamente al confine della rete, apparentemente dilatabile oltre il perimetro fisico senza evidente decadimento di performance, almeno per durate di stazionamento maggiori di 5 secondi.

## Bibliografia

- Landau H., Vollath U., Chen X. (2002), *Virtual Reference Station Systems*, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 1, No. 2, pp. 137-143.
- Talbot N., Lu G., Allison T., Vollath U. (2002), *Broadcast Network RTK – Transmission Standards and Results*, Proceedings of ION GPS 2002, 24-27 September 2002, Portland, Oregon, USA, pp. 2379-2387.
- Vollath U., Landau H., Chen X. (2002), *Network RTK – Concept and Performance*, Proceedings of the GNSS Symposium, Wuhan, China, November 2002.
- Landau H., Vollath U., Deking A., Pagels C. (2001), *Virtual Reference Station Networks – Recent Innovation by Trimble*, Paper presented at the GPS meeting, Tokio, Japan, November 2001.
- Vollath U., Deking A., Landau H., Pagels C. (2001), *Long Range RTK Positioning using Virtual Reference Stations*, Proceedings of ION GPS 2000, September 2000, Salt Lake City, Utah, USA.
- Vollath U., Deking A., Landau H., Pagels C., Wagner B. (2000), *Multi-base RTK Positioning using Virtual Reference Stations*, Proceedings of ION GPS 2000, September 2000, Salt Lake City, Utah, USA.