

# **SISTEMI DI RIFERIMENTO E SISTEMI DI POSIZIONAMENTO GPS NETWORK BASED. I RISULTATI DELLA RETE VRS DI BRESCIA.**

Massimo GELMINI (\*), Costante BONACINA (\*), Carlo LANZI (\*), Giorgio VASSENA (\*)

(\*) Università degli Studi di Brescia, via Branze 38 - 25123 Brescia, tel 030 3715516, fax 030 3715503,  
(massimo.gelmini, costante.bonacina, carlo.lanzi, giorgio.vassena)@ing.unibs.it

## **Riassunto**

Si è verificato l'inserimento nel datum IGM95 della rete di stazioni permanenti GPS attiva da 3 anni presso l'Università degli Studi di Brescia – una sorta di laboratorio per lo studio e la sperimentazione delle varie soluzioni hardware e software rese disponibili in ambito commerciale o scientifico –. Questa struttura, unitamente all'esteso e diversificato poligono di vertici di controllo istituito nell'area di influenza e conformemente inquadrato, oltre a permettere di affrontare le varie problematiche inerenti la gestione della rete e il suo utilizzo, ha dimostrato l'attuabilità del NRTK nel datum nazionale. L'articolo documenta le esperienze ed i risultati raggiunti, in merito ad accuratezza e precisione del posizionamento in un contesto ordinario, e relativamente all'affidabilità del servizio in vari possibili scenari.

## **Abstract**

The realization in the IGM95 national datum of the GPS Network managed by the University of Brescia (Italy) has been verified. The network – with a wide and various set of points established and coherently georeferenced inside its influence area – has been operating since 2002 as a test site for new available hardware and software solutions not yet experimented in a real environment. The paper presents the results of carried out applications trying to investigate performance, accuracy and reliability of the VRS network directly solved in the same datum usually adopted by the user, so that he doesn't need to apply any reference system transformation.

## **Introduzione**

Le reti di stazioni permanenti GPS hanno radicalmente modificato – anche in ambito nazionale – sia la tradizionale materializzazione del sistema di riferimento sia le procedure di posizionamento e georeferenziazione per scopi ingegneristici. In Italia, alla rete IGM95 va naturalmente sostituendosi l'ampia e variegata moltitudine di vertici GPS attivi e permanenti sorti sul territorio, sia come entità autonome, sia all'interno di network abilitati alla distribuzione di dati in tempo reale o differito, spesso irrobustiti da modelli spaziali di correzione degli errori dipendenti dalla distanza. È stato al proposito osservato come, per servizi Network RTK estesi su scala regionale, l'esigenza pratica di inquadrare le stazioni permanenti nel sistema nazionale ETRF89-IGM95 introduca un deterioramento rispetto alla precisione intrinseca della rete, tanto da comprometterne in alcuni casi la coerenza interna e l'applicabilità. Si è reso pertanto necessario verificare l'impiego di NRTK non solo in termini di accuratezza e precisione intrinseca – già largamente indagata – ma anche riguardo alla sua adattabilità ad un contesto come quello nazionale. Per un sistema che sia aderente alle esigenze dell'utilizzatore serve inoltre procedere con la definizione di standard per l'unificazione e la certificazione dei network nascenti; oltre al necessario potenziamento dell'offerta del servizio che si può determinare ampliando il segmento di controllo sull'integrità del dato e di monitoraggio e supporto dell'utente mobile.

## **La rete VRS di Brescia**

Tra le prime iniziative attuate in Italia in merito alla sperimentazione e realizzazione di reti GPS permanenti per il posizionamento Network RTK, la rete dimostrativa gestita dall'Università di Brescia è andata costituendosi, dal 2003 ad oggi, quale laboratorio di studio e verifica per le varie soluzioni tecniche nel tempo disponibili. Costituita da un numero di stazioni fisse variabile tra quattro e cinque – nell'area delimitata dalle città di Brescia, Milano, Cremona, Mantova e Verona – e controllata dal centro situato presso la sede della Facoltà di Ingegneria di Brescia, ha conosciuto al proprio interno l'allestimento e lo sviluppo di un'area di prova, organizzata in vertici stazionabili di coordinate note – nel sistema di riferimento coerente con la rete – sui quali rendere possibile un riscontro diretto delle prestazioni fornite.

Dalla sua attivazione, la rete consta di quattro stazioni monumentate su edifici appartenenti ad enti pubblici (università, istituti tecnici, pubbliche amministrazioni), alle quali se ne è recentemente aggiunta una quinta, gestita dalla società privata che mette a disposizione la strumentazione del network. L'interdistanza minima tra le stazioni è di 35 km (asse Verona-Mantova). Quella massima, pari a 75 km, si raggiunge sulla base tra Mantova e Soresina (Cremona). La trasmissione verso il centro di controllo di Brescia avviene tramite internet, con protocollo TCP/IP, nel formato proprietario compatto dell'hardware GPS impiegato. Il centro di controllo dissemina il dato di correzione sia nel formato proprietario CMR+, sia secondo lo standard RTCM 2.3, permettendo connessioni multiple in modalità GSM o via internet a porte IP; queste ultime raggiungibili sia collegandosi direttamente al server, sia accedendo – attraverso la porta internet 80 – alla selezione di *mount point* disponibile presso il caster NTRIP installato sul sistema. L'offerta all'utente comprende, oltre a correzioni RTK da singola stazione, soluzioni di rete RTK e DGPS, in modalità VRS.

## **Il test site: dalla stima di precisione intrinseca alla verifica di operatività**

Conclusa la fase iniziale di misure in modalità NRTK atte a valutare la precisione intrinseca del servizio di posizionamento offerto dalla rete, avvenuta stazionando in punti fissi appartenenti al poligono realizzato lungo le diagonali del quadrilatero principale, l'obiettivo successivo è stato quello di apprezzare concretamente, indipendentemente dai riscontri positivi già rintracciabili in letteratura, l'affidabilità e le reali potenzialità del metodo, anche in considerazione dei vantaggi effettivi per l'utente finale a prescindere dai requisiti infrastrutturali che le nuove realizzazioni comportano. In questa fase è diventata pressante l'esigenza di poter disporre di una soluzione di rete che permetta all'utenza di ottenere coordinate compatibili con il datum nazionale IGM95. La realizzazione del datum IGM95 appare in contrasto con le necessità di precisione intrinseca della rete e di coerenza con il datum ITRF00, nel quale sono state originariamente riferite le stazioni fisse; l'inquadramento diretto del network nel sistema nazionale è potenzialmente deleterio per la generazione della soluzione, condizionata dal fissaggio delle ambiguità di fase sulla rete. L'influenza di tale inconveniente – per il cui superamento è stata recentemente proposta e adottata la soluzione descritta in [Benazzo et al., 2005], che prevede compensazione intrinseca e successiva roto-traslazione in IGM95 – è stata verificata direttamente sulla rete test, procedendo con la georeferenziazione diretta dei suoi vertici nel datum italiano. Si è inteso in questo modo valutare le possibilità di estensione del servizio ad un contesto concreto, per constatare se, nonostante la scorrettezza formale dell'operazione che produce delle incongruenze con il datum delle effemeridi, il degrado di accuratezza introdotto sia tale da non generare comunque problemi di coerenza con il riferimento IGM95, risultando in definitiva accettabile. Si potrebbe obiettare che la soluzione adottata aggiri il problema piuttosto che affrontarlo; si ritiene tuttavia che essa – se efficace – possa essere considerata come valida alternativa al compromesso che prevede compensazione intrinseca della rete e conseguente traslazione nel datum nazionale. Un'alternativa concretizzabile è quella – tuttora discussa e condivisa nell'ambito del progetto di ricerca PRIN 2004 *I servizi di posizionamento satellitari per l'e-government* – che riguarda l'adozione di un unico datum (ITRF00 o IGB00) sia per la risoluzione della rete sia per il posizionamento in tempo reale, mentre si prevede

la possibilità per l'utente finale di realizzare un cambio di datum. È stato correttamente osservato come tale approccio abbia il vantaggio di permettere la considerazione delle deformazioni della rete che materializza il datum sul territorio e favorisca la compatibilità e l'omogeneizzazione tra reti diverse [Benazzo et al., 2005].

### Test di posizionamento nel datum 'pseudo IGM95'

Inquadrata la rete nel datum nazionale e riscontrata l'effettiva soluzione delle ambiguità anche in questo contesto, una serie di misure è stata condotta su un vertice (CALV) situato in posizione centrale entro l'area di influenza della rete, ben materializzato e accuratamente georeferenziato sia nel sistema intrinseco ITRF00, sia nel "nuovo" sistema di riferimento. I risultati della campagna di misure eseguita su questo vertice durante la prima fase di attività della rete, descritta in dettaglio in [Gelmini et al., 2003], sono illustrati in Figura 1 e sintetizzati in Tabella 1a. Operando nel nuovo riferimento – se vogliamo, pseudo IGM95, perché la posizione del punto CALV è stata determinata rispetto ai nuovi vertici di rete, senza misurare direttamente capisaldi nazionali –, si è effettivamente riscontrato un deterioramento di accuratezza, sia in termini di esattezza sia come precisione (cfr. Tabella 1b). Lo scarto medio riflette evidentemente l'esattezza della rete nella nuova determinazione (circa 1 cm nelle coordinate planimetriche, 3.5 cm in altimetria), mentre la dispersione delle misure (2 cm in planimetria, 5 cm in quota) si ritiene sia attribuibile al decadimento di qualità della soluzione NRTK, anche a causa dell'inconsistenza con il riferimento proprio delle effemeridi. Questa incoerenza con la costellazione sarebbe responsabile della deriva manifestata da serie di misure acquisite nel corso di inizializzazioni successive, pur nell'ambito della medesima sessione (cfr. Figura 2).

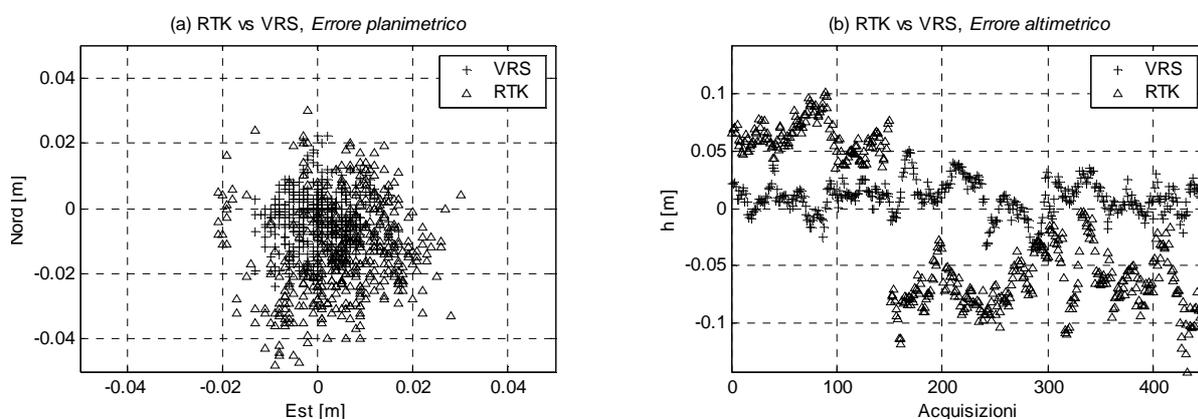


Figura 1 - Scostamento planimetrico (a) e altimetrico (b) nel punto CALV inquadrato nel sistema di riferimento ITRF00 nelle modalità RTK e NRTK (VRS). Numerosità del campione: 450 misure.

ITRF00	est [m]	nord [m]	h [m]	$\sigma_{est}$ [m]	$\sigma_{nord}$ [m]	$\sigma_h$ [m]
RTK	-0.014	0.005	-0.022	0.015	0.010	0.064
VRS	-0.004	0.001	0.009	0.008	0.006	0.015

IGM95	est [m]	nord [m]	h [m]	$\sigma_{est}$ [m]	$\sigma_{nord}$ [m]	$\sigma_h$ [m]
VRS	0.007	-0.012	0.036	0.023	0.019	0.051

Tabella 1 - Scostamento planimetrico e altimetrico nel punto CALV in varie modalità di posizionamento e differenti inquadramenti: (a) Inquadramento nel sistema di riferimento ITRF00 (numerosità del campione: 450 misure); (b) Inquadramento nel sistema di riferimento pseudo IGM95 (numerosità del campione: 300 misure).

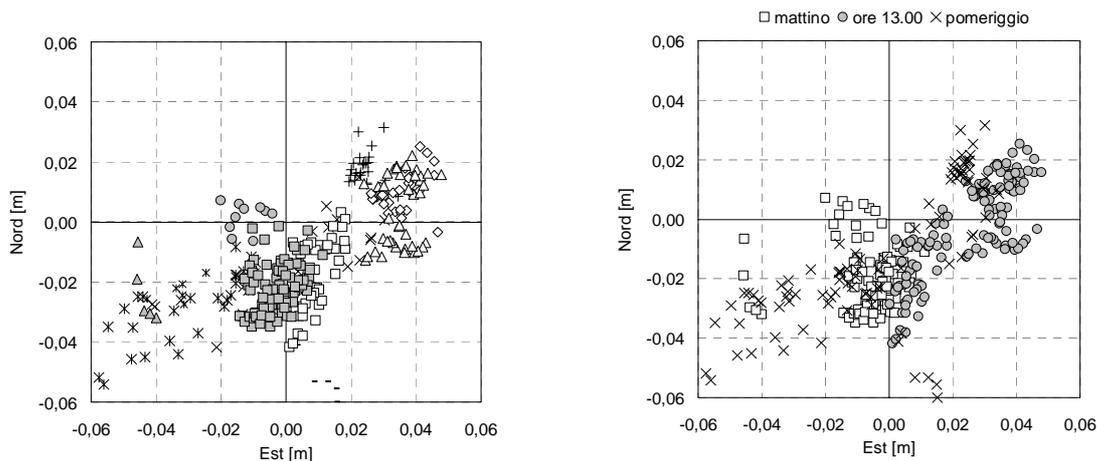


Figura 2 - Scostamento planimetrico nel punto CALV inquadrato nel sistema di riferimento pseudo IGM95 in modalità NRTK (VRS). Risultati raggruppati per successive inizializzazioni (a) e sessioni di misura (b).

### Test di operatività

In analogia a quanto effettuato per la prima realizzazione della rete VRS, si è ritenuto utile verificare l'operatività in campagna anche in seguito al cambiamento di datum. Come già avvenuto in precedenza, si è considerato come rappresentativo delle prestazioni e dell'affidabilità del servizio il tempo necessario per fissare le ambiguità di fase (TTFA). Sulla scorta dei risultati emersi dalle precedenti sperimentazioni, che in sintesi mostravano per il TTFA un comportamento piuttosto uniforme all'interno della rete, con debole decadimento verso i bordi della stessa (generalmente il 90% delle inizializzazioni avveniva con successo entro i primi 20 secondi), è stata individuata un'area test collocata nel comune di Ghedi (BS), nella zona centrale del network, per eseguire prove di inizializzazione in condizioni di visibilità diverse (al variare dello spazio urbano e della vegetazione) ed in sessioni distinte nel tempo, in orari differenti lungo la giornata.

I test sono stati pianificati in modo tale da operare su 4 punti, ripetendo per ciascuno di essi 4 sessioni di rilievo, risultando ognuna di esse costituita semplicemente da una serie di 12 inizializzazioni, avviate in sequenza in seguito all'interruzione forzata del fissaggio precedente. Non è emersa una particolare dipendenza dalla finestra temporale del rilievo, mentre si è osservata la correlazione con il PDOP: ovviamente il TTFA è maggiore per valori alti di PDOP o in corrispondenza di sue variazioni, cioè all'ingresso/uscita di satelliti nella costellazione. In Figura 3 si riporta l'esito complessivo per tutte le rilevazioni eseguite: nel 59% delle misure il TTFA non ha superato i 15 secondi, nell'80% dei casi è rimasto sotto i 25 secondi, e comunque non oltre il minuto per il 90% delle 192 inizializzazioni. In pochi casi l'inizializzazione non ha avuto successo entro il limite massimo accettabile di 3 minuti.

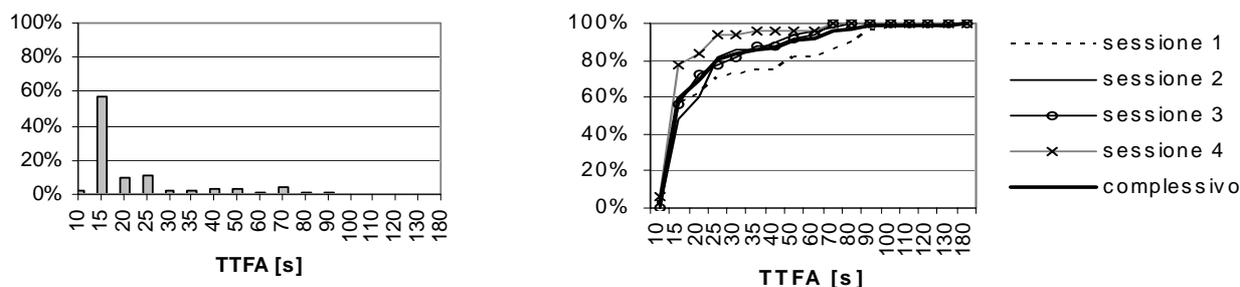


Figura 3 – Percentuale di inizializzazioni avvenute con successo entro un dato tempo di fissaggio delle ambiguità di fase. Campione di 192 rilevazioni, condotte su 4 punti distinti nel corso di 4 sessioni consecutive.

## Test comparativi nel datum IGM95

Più recentemente, parallelamente alla campagna di rilevamento eseguita nell'ambito del progetto di ricerca PRIN 2004 *I servizi di posizionamento satellitari per l'e-government* – orientata all'acquisizione sistematica di misure all'interno dei vari network attivati nel nord Italia su iniziativa di amministrazioni pubbliche o enti di ricerca –, ulteriori dati sono stati raccolti impiegando la rete VRS di Brescia per stazionamenti su punti appartenenti alla rete nazionale IGM95 o al raffittimento regionale lombardo, ricadenti entro l'area di influenza della rete o in una fascia limitrofa al suo perimetro. Grazie all'inserimento della quinta stazione, situata nella periferia nord-est di Milano, e al conseguente allargamento della zona di competenza del network, è stato possibile includere nel test una decina di vertici localizzati nelle province di Brescia e Bergamo. Le misure acquisite – in due sessioni indipendenti, con treppiede topografico, secondo le prescrizioni adottate nella sperimentazione citata – sono state esaminate raffrontando le posizioni restituite con quelle ETRF89-IGM95 monografate. Contestualmente al controllo sulle coordinate, si è posta attenzione ai parametri ambientali, al tempo di fissaggio TTFA e all'indice DOP. Questi ultimi, insieme all'adozione di entrambe le modalità di accesso alla correzione di rete (via IP o su NTRIP), hanno fornito una collezione di dati diversificata e rappresentativa delle prestazioni offerte dal servizio. In ognuno dei punti stazionati si sono anche effettuate misure con correzione trasmessa dalla rete NRTK attivata dalla Regione Lombardia, con copertura sull'intero territorio lombardo. Questo ha permesso di indagare la coerenza, nella zona di sovrapposizione dei servizi, tra le soluzioni fornite dai due network. Vale la pena ribadire che la soluzione disseminata dal servizio regionale, al tempo delle rilevazioni, è quella basata sul sistema di riferimento IGb00 (versione 2 dell'IGS2000, la realizzazione GPS dell'ITRF00 in uso ufficialmente dall'11 gennaio 2004), che è il *reference frame* che garantisce la massima auto-consistenza, essendo disponibile sia a lungo termine sia in soluzioni settimanali [Benazzo et al., 2005]. Per passare al datum nazionale IGM95 si devono applicare i parametri di trasformazione di datum da IGb00 a ETRS89, la cui diffusione non è attualmente praticabile in tempo reale (la trasmissione del datum è soltanto prevista per i prossimi aggiornamenti dell'RTCM 3.0). La conversione in campagna può avvenire soltanto previa conoscenza dei parametri da parte dell'utente dotato di ricevitore abilitato al cambiamento di datum; diversamente non resta che il post-trattamento dei dati. L'una e l'altra opzione, per quanto ineccepibili formalmente, non godono purtroppo di immediatezza di impiego per l'utenza ordinaria. D'altra parte l'impegno richiesto da tutta la procedura potrebbe non essere completamente giustificato per applicazioni comuni nella pratica del rilevamento di carattere ingegneristico, anche considerando le deformazioni ed il grado di incertezza che la realizzazione IGM95 introduce rispetto a ETRS89.

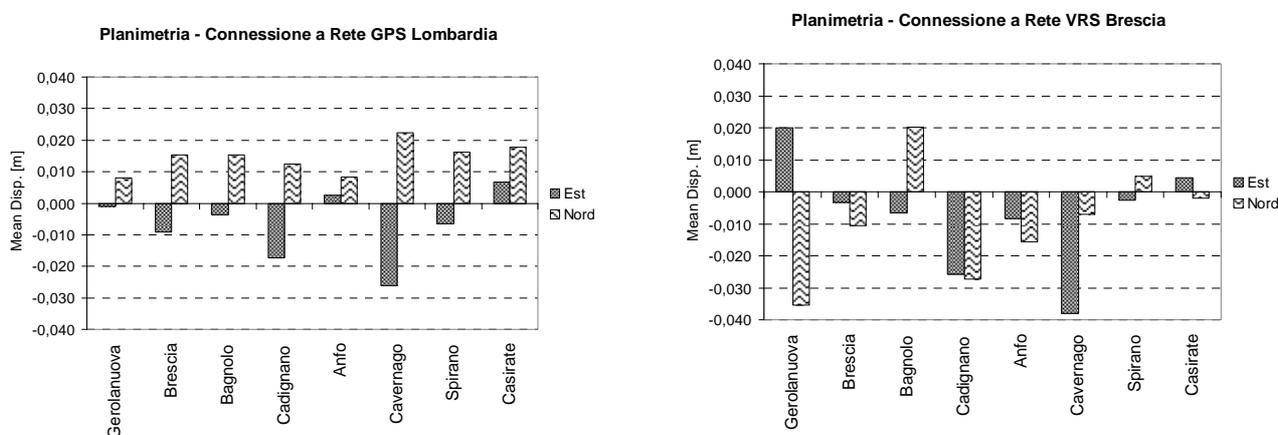


Figura 4 – Scostamenti planimetrici medi rispetto a monografia per otto vertici della rete IGM95 (o suo raffittimento regionale) rilevati con i servizi NRTK della Regione Lombardia (a sinistra) e della rete VRS di Brescia (a destra).

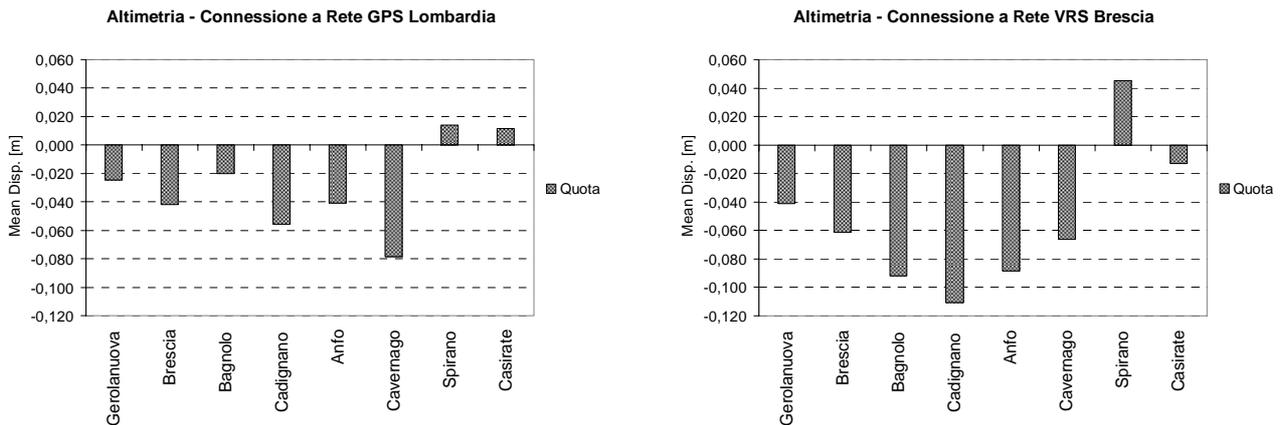


Figura 5 – Scostamenti altimetrici medi rispetto a monografia per otto vertici della rete IGM95 (o suo raffittimento regionale) rilevati con i servizi NRTK della Regione Lombardia (a sinistra) e della rete VRS di Brescia (a destra).

Nelle Figure 4 e 5 è illustrata una sintesi dei risultati medi ottenuti su otto vertici stazionati e rilevati con entrambe le correzioni di rete disponibili, quella del servizio regionale e quella proveniente dalla rete VRS di Brescia. In planimetria non si osservano sostanziali differenze tra le due soluzioni, anche se la soluzione di Brescia presenta valori pure superiori a 3 cm (Cavernago). Più considerevole lo scostamento registrato in quota, soprattutto per la rete bresciana che presenta valori anche prossimi a 10 cm. In questo caso, si ritiene sia stata determinante la posizione del punto all'esterno del perimetro della rete, come accade inevitabilmente per Anfo e Cavernago, o lungo la zona di bordo, come si è verificato accidentalmente per altri punti situati a sud-ovest di Brescia (Cadignano, Gerolanuova) in seguito a temporanee sconnessioni della stazione di Soresina (a causa di difficoltà del collegamento ADSL durante l'esecuzione dei test). Analizzando i dati acquisiti, emerge effettivamente una significativa variabilità della soluzione in quota che, pur mantenendosi per lo più uniforme all'interno di singole sessioni di misura, manifesta cospicue variazioni tra sessioni diverse, benché ravvicinate nel tempo.

L'operatività in campagna è stata in tutti i casi piuttosto elevata, con un tempo di inizializzazione medio di 40 secondi e massimo di 90 secondi.

## Conclusioni

L'inquadramento diretto della rete VRS di Brescia nel datum IGM95 ha dimostrato la possibilità di sfruttare i vantaggi del NRTK anche nel contesto nazionale, raggiungendo l'utente con una correzione compatibile con il sistema di riferimento della pratica operativa, senza richiedere ulteriore cambiamento di datum. Il sistema sopporta il deterioramento di accuratezza delle coordinate delle stazioni fisse e si adatta al nuovo datum permettendo prestazioni in campagna paragonabili, per affidabilità e operatività, a quelle osservate in una configurazione consistente con il sistema di riferimento delle effemeridi. Le accuratèzze di posizionamento, pur ridotte rispetto alle prestazioni teoriche, in planimetria risultano accettabili e compatibili con la rete nazionale IGM95; la soluzione in quota appare maggiormente influenzata dall'integrità del servizio.

## Riferimenti bibliografici

Benazzo, E., L. Biagi, A. Manzano, M. Pesenti, M. Roggero (2005), *Reti GPS permanenti su scala regionale in Piemonte, inquadramento geodetico e strategie d'analisi*, in Atti del Convegno Nazionale SIFET 2005, Palermo, 29 giugno - 1 luglio 2005.

Gelmini, M., C. Lanzi, G. Stefani, G. Vassena (2003), *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*, in Atti della VII Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 ottobre 2003.