

Determinazione della precisione e della ripetibilità in rilievi NRTK

Gino Dardanelli, Vincenzo Franco

Dipartimento di Rappresentazione, Università di Palermo, Viale delle Scienze, 90128 Palermo
tel. 0917028731 - e-mail: gino.dardanelli@unipa.it

Riassunto

La sperimentazione descritta nel presente lavoro riguarda l'esecuzione di rilievi di una zona del territorio siciliano racchiusa all'interno della rete di nove stazioni permanenti GNSS ubicate nella Sicilia centro occidentale, ed in particolare nelle province di Palermo e di Trapani.

Lo studio ha riguardato la definizione di una procedura per ottenere la ripetibilità delle misure su punti di coordinate note. Come già affrontato in altre sperimentazioni, si è fatto riferimento a punti appartenenti a reti ufficiali, come quelli della rete *IGM95* e della Rete della Regione Siciliana.

I risultati in termini di ripetibilità confermano le esperienze condotte in letteratura e cioè differenze di pochi centimetri nelle determinazioni *NRTK* rispetto ai rilievi statici.

Abstract

In last years, researchers at the Dipartimento di Rappresentazione, DIRAP (University of Palermo) has realized a *Global Navigation Satellite System (GNSS)* network for real time positioning (*Network Real Time Kinematic –NRTK*), of nine permanent station. In this study concerned the definition of a fundamental procedure to determine the accuracy of same measures and repeatability on vertex GPS. The results in terms of accuracy and repeatability confirm broad experience in literature in relation to determinations *NRTK* contextual static survey.

Introduzione e stato dell'arte

Lo sviluppo delle reti in tempo reale *NRTK-GNSS* negli ultimi anni è dovuto probabilmente al fatto che queste infrastrutture rappresentano tecnologie molto efficienti per il posizionamento.

Le reti sono l'ultima frontiera nel posizionamento satellitare, poiché risolvono uno dei problemi critici nell'approccio *RTK* che è la distanza tra la stazione di riferimento e i ricevitori rover, considerato che la posizione dell'operatore deve essere inferiore a circa 20 km, al fine di essere in grado di risolvere le ambiguità intere in modo affidabile "*on-the-fly*" e ottenere il livello di posizione centimetrico (Zhang et al., 2006).

Negli ultimi anni, numerosi studi scientifici sono stati condotti per determinare la precisione, l'affidabilità e la ripetibilità delle prove svolte in *NRTK-GNSS* presso università, istituti di ricerca, istituzioni pubbliche e private.

Uno dei primi studi è stato sviluppato in Canada, dal *Departments of Geomatics*, Università di Calgary. L'approccio *MultiRef* è stato utilizzato per la comprensione degli effetti della geometria di rete sulla precisione ottenibile. Le prove mostrano che le prestazioni migliori si ottengono quando le stazioni di riferimento sono in posizione equidistanti su tutti i lati della rete e che le stazioni di riferimento esterne all'area coperta dalla stessa rete non contribuiscono al miglioramento delle prestazioni (Lachapelle et al., 2003).

Negli Stati Uniti, la ricerca scientifica coordinata da Grejner-Brzezinska (2005) presenta anche il risultato sugli effetti della geometria della rete e l'affidabilità della correzione differenziale, partendo da serie di dati di 24 ore; la precisione di posizionamento orizzontale e verticale raggiunti in questi test è al livello sub-decimetrico.

In Australia, dal 2005, molte ricerche sono state rivolte ad indagare reti di elevata interdistanza (tra 50 e 200 km) come quella *GPSnet*™, che è stata utilizzata per valutare il potenziale delle tecnologie attualmente disponibili. Le prove indicano che le soluzioni *NRTK* calcolate utilizzando soluzioni di reti come quelle prese in esame sono in grado di fornire risultati molto incoraggianti in termini di precisione, accuratezza e ripetibilità delle coordinate all'utente-rover (Gordini et. al., 2006).

Sempre in Oceania il *Land Information New Zealand (LINZ)* ha effettuato un interessante studio di precisione e ripetibilità in diversi punti della rete di livellazione, utilizzando sistemi *NRTK-GNSS*. Le prove hanno dimostrato che non vi è una differenza significativa tra l'accuratezza e la precisione delle stime. Come previsto, la componente verticale è meno accurata rispetto alla componente orizzontale. La precisione della componente orizzontale è di solito compresa tra ± 1 -2 centimetri e la componente verticale tra ± 2 -3 centimetri (Nelson e Denys, 2008).

In Europa, ed in particolare in Gran Bretagna test statici e cinematici sono stati effettuati al fine di valutare l'accuratezza, la precisione e la disponibilità di servizi commerciali *NRTK* come quello *SMARTnet*. Precisioni centimetriche sono state raggiunte in generale in entrambe le prove e sono state valutate l'influenza del numero di satelliti in vista, la diluizione di precisione (*DOP*) e il tempo di fissaggio delle ambiguità (*TTFA*) (Aponte et al., 2009).

Tutti questi studi internazionali sono stati condotti in base alle diverse metodologie e modelli matematici per il calcolo della correzione di rete. Le dimensioni, il numero delle stazioni e le configurazioni geometriche sono state analizzate e discusse.

In Italia molte ricerche sono state effettuate per studiare l'accuratezza e l'affidabilità dei sistemi *NRTK-GNSS*. La maggior parte sono state condotte utilizzando reti locali gestite dalle regioni. La precisione di posizionamento dei risultati raggiunti in questi test è al livello di precisione centimetrica. Ulteriori analisi sono state effettuate per valutare il tempo di risoluzione delle ambiguità (*TTFA*), l'influenza del numero di satelliti, e la diluizione di precisione (*PDOP*, *GDoP*) (Biagi et al., 2006).

L'Università di Palermo, al fine di effettuare test scientifici riguardo l'uso di reti per il posizionamento in tempo reale, ha realizzato una rete di stazioni di riferimento *NRTK-GNSS* (Dardanelli et al., 2008). Seguendo l'obiettivo di aumentare l'efficienza della rete, anche alla luce di una possibile estensione del servizio a tutto il territorio regionale, in questo lavoro sono state condotte alcune campagne di misura per potere dare utili indicazioni riguardo la precisione intrinseca delle misure e la ripetibilità nelle operazioni topografiche, già oggetto di studio in altre applicazioni (Dardanelli et al., 2008).

In particolare sono state effettuate misure in modalità statica ed *NRTK*, per potere confrontarle con quelle realizzate in differenti periodi temporali.

Le sessioni di misura sono state progettate considerando un certo numero di punti, all'interno di due poligoni test, comprendendo all'interno di ogni zona almeno quattro stazioni permanenti, a distanza di 20-30 km dalle stesse e sono stati esaminati i risultati di alcune sessioni di misura, condotte sia in orari differenti della giornata che in giorni differenti.

Per quanto riguarda la realizzazione delle misure, si è tenuto in considerazione il protocollo sperimentale riconosciuto in ambito scientifico e messo a punto dal Politecnico di Milano nell'ambito del *PRIN2004* "I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government", coordinato dal Prof. F. Sansò, associando, come già affermato, alle osservazioni statiche sui punti altre in *NRTK*, condotte con correzioni di rete differenti.

Modalità' dei rilievi ed ottimizzazione delle procedure

Per le campagne di rilievo sono stati eseguiti contestualmente i rilievi statici nelle stesse giornate di quelli *NRTK*, per ottimizzare le occupazioni e gli spostamenti e sono stati presi in considerazione 22 punti, di cui 3 della rete *IGM95* e 19 della rete di raffittimento regionale (Figura1).



Figura 1 – Ubicazione delle stazioni permanenti e dei vertici scelti per la sperimentazione

Tutti i rilievi sono stati effettuati con ricevitori GNSS Topcon *HIPER-PRO*, equipaggiati con controller *FC-200* e cellulare *Nokia 6630* per l'accesso ad internet.

Il rilievo statico è stato effettuato con tempi di acquisizione pari ad un'ora per punto e intervalli di campionamento di 15 secondi. La post elaborazione dei dati è stata effettuata con i programmi commerciali *Topcon Tools* e *Pinnacle*; le coordinate dei punti sono state ricavate considerando le *baseline* da almeno due stazioni permanenti più prossime, aventi una lunghezza variabile dai 20 ai 30 km.

Ancora una volta le coordinate ottenute con il rilievo statico sono state assunte come “vere” e utilizzate come termine di paragone per le misure in tempo reale (Barbarella et al., 2007, Fastellini et al., 2007), mentre per l'esecuzione delle misure in modalità *NRTK*, si è tenuto in considerazione il protocollo sperimentale prima citato, ad eccezione del tempo di registrazione delle prove, che è stato ottenuto come media di almeno 30 secondi di acquisizione con soluzione di fase ad ambiguità fissate (a differenza del valore della 5ª epoca) e della reinizializzazione del sistema di misura, con relative connessioni internet al centro di calcolo mantenendo il ricevitore sempre accesso (Barbarella et al., 2007).

Le prove di misura in *NRTK* sono state effettuate considerando tutte le indicazioni provenienti da protocollo di misura “modificato”, ed in particolare i ricevitori sono stati configurati per la registrazione in continuo delle osservazioni grezze e delle coordinate ottenute sia ad ambiguità di fase fissata (*fixed*) che non fissata (*float*, o *standalone*), numerando progressivamente i punti acquisiti come se si dovesse registrare una traiettoria cinematica svolta con un mezzo mobile (Cina et al., 2007). Alla fine dell'acquisizione sono stati considerati soltanto i valori *fixed* e determinati i valori medi a 30 secondi delle coordinate e degli s.q.m. indicati dagli strumenti.

Complessivamente sono state eseguite 198 sessioni di misura *NRTK*, cioè 9 sessioni indipendenti per punto (a meno delle sessioni non ripetute a causa di impossibilità come assenza del segnale *GSM* o mancato collegamento al server), in modo tale da garantire 3 prove in modalità *FKP*, 3 in modalità *VRS* e 3 da singola stazione totalmente indipendenti.

Analisi dei risultati

Prima di trattare l'analisi dei dati è opportuno definire cosa deve intendersi per *precisione* e *ripetibilità*. Nelle scienze sperimentali e nelle tecniche ingegneristiche, la precisione di un'esperienza rappresenta in senso generale, il grado più o meno spinto, con cui nell'eseguire l'esperienza ci si avvicina alla condizioni stabilite a priori.

In particolare, poi, dalla teoria degli errori, sappiamo che la *precisione* rappresenta il grado di convergenza di dati individualmente rilevati su un valore medio della serie cui appartengono ed esprimibile in termini di deviazione standard. Inoltre, la precisione è anche definita come *ripetibilità* se la dispersione dei valori viene ottenuta con lo stesso metodo di misurazione usato

dallo stesso operatore, con gli stessi strumenti, nello stesso luogo, con le medesime condizioni di utilizzo degli strumenti ed in un tempo ragionevolmente breve. Le misure di precisione nel caso oggetto di studio sono quelle considerate con le correzioni di rete (*FKP*, *VRS*, stazione più prossima), rispetto a quelle condotte in modalità statica.

La *ripetibilità* quindi rappresenta il grado di concordanza tra una serie di misure di una stessa grandezza, quando le singole misurazioni sono effettuate lasciando immutate le condizioni di misura e rappresenta pertanto la qualità di ciò che è ripetibile. In particolare è sembrato utile considerare la ripetibilità nelle misure, con riferimento a quali correzioni si sono ottenute nelle sessioni di misura, al tempo di fissaggio e agli scarti delle tre modalità rispetto ai valori determinati in modalità statica.

Per valutare quantitativamente l'errore di ripetibilità è stato quindi necessario effettuare una serie significativa di misure nelle quali sono state mantenute le stesse condizioni al contorno. In questa fase di studio si sono di conseguenza analizzati i parametri statistici derivati dalle acquisizioni ripetute nelle tre sessioni su ogni singolo vertice. Come è desumibile dalla figura 2, rispetto ai 63 vertici rilevati (in tre ripetizioni 22 + 19 + 22, dato che in alcuni non si è ottenuta la correzione), i risultati sono stati:

- ! in 33 vertici (52% del totale) la correzione di rete è stata ricevuta con tutte e tre le modalità di trasmissione, (*VRS*, *FKP* e Singola stazione);
- ! in 20 vertici (32% del totale) la correzione di rete è stata ricevuta con due modalità di trasmissione, (*VRS* + *FKP*) o (*VRS* + Singola stazione) o (*FKP* + Singola stazione);
- ! in 10 vertici (16% del totale) la correzione di rete è stata ricevuta con una sola modalità di trasmissione, (*VRS* o *FKP* o Singola stazione).

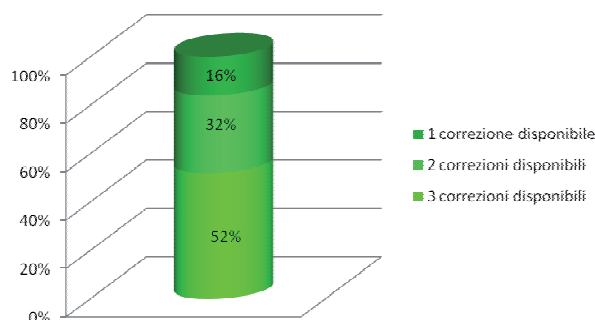


Figura 2 - Percentuali delle tipologie di soluzioni ricevute (*VRS*, *FKP* e Singola Stazione)

Questo dato mostra che, oltre ad una sufficiente affidabilità della rete in ogni vertice è possibile ottenere sempre almeno una correzione *RTK*. In relazione ad i tempi di fissaggio delle ambiguità di fase, si è notato che su ogni vertice tale dato risulta indipendente dalla modalità utilizzata, ma mediamente ben al di sotto dei 5 minuti limite (figura 3).

Si osserva che fondamentalmente le misure condotte in *FKP* hanno dato risultati migliori rispetto alle altre due. Dal punto di vista della ripetibilità, infatti, con la modalità *FKP* sono stati ottenuti s.q.m. delle differenze tra le coordinate planimetriche pari a #1 cm nel 90% delle determinazioni, mentre l'errore di ripetibilità in quota è sempre risultato inferiore ad #8 cm (100% dei casi). Per la modalità *VRS* si sono riscontrati errori di ripetibilità in planimetria inferiori ad #1 cm nel 32% delle determinazioni, compresi tra 1 e 2 cm nel 50% delle determinazioni, compresi tra 2 e 3 cm nel 9% delle determinazioni ed inferiori a #4 cm nel restante 9% delle determinazioni; l'errore di ripetibilità in quota è risultato inferiore a #10 cm nel 92% delle determinazioni ed inferiore a #22 cm nel restante 8%.

Tali valori possono quindi essere considerati, a meno di quelle determinazioni probabilmente affette dai suddetti errori casuali, pienamente soddisfacenti se confrontati con gli s.q.m. determinati in fase di studio della precisione e con gli s.q.m. caratteristici del rilievo *RTK*.

Conclusioni

Sebbene si ritenga che la sperimentazione debba ancora proseguire con successive campagne di misura, i risultati dei test eseguiti permettono di fornire utili considerazioni.

I tre tipi di correzione differenziale utilizzati (*VRS*, *FKP*, singola stazione) si sono dimostrati stabili e accurati in termini di precisione e di ripetibilità, confermando ampiamente le esperienze condotte in letteratura nelle determinazioni *NRTK* rispetto ai contestuali rilievi statici. In particolare le metodologie di rete *RTK* hanno fornito risultati centimetrici per le componenti planimetriche, mentre sono ancora decimetrici quelle relative alla componente altimetrica; in ogni caso sono sempre compatibili con le applicazioni *RTK* topografiche “tradizionali”.

La rioccupazione dei punti oggetto di test a distanza di qualche mese ha manifestato altresì la buona ripetibilità dei risultati su tutte e tre le componenti spaziali, considerato che le differenze tra le coordinate rimangono nell’ambito di pochi centimetri.

Sulla base delle sessioni di misura effettuate, si è anche confermata la stabilità e soprattutto l’affidabilità del sistema rappresentato dalla rete di stazioni permanenti gestito dal Dipartimento di Rappresentazione dell’Università di Palermo, fornendo risultati sempre concordi con le precisioni attese.

Bibliografia

- Aponte J., Meng X., Hill C., Moore T., Burbidge M., Dodson A., (2009). Quality assessment of a network-based RTK GPS service in the UK, *Journal of Applied Geodesy*, n.3-2009, pp. 25–34.
- Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M., (2008). La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell’Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati, *Bollettino SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia)* n. 3-2008, pp. 107-124.
- Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M., (2008). Sperimentazione di servizi di posizionamento in tempo reale nella rete GNSS dell’Università di Palermo, In: *Atti del Convegno SIFET 2008*, Sorrento, Italia, pag. 71-77
- Nelson L., Denys P., (2008). The Linz Gravimetric Geoid. NZgeoid05 - Explaining the Dunedin Anomaly, *NZIS Annual Conference 2008*, Napier, New Zealand.
- Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E., (2007). Precisione e accuratezza raggiunta in rilievi *NRTK* ripetuti. *Bollettino SIFET (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia)*, n.1/2007, pp. 27-44.
- Cina A., Manzano M., Roggero M., (2007). Verifiche in continuo del posizionamento RTK in una rete GNSS, In: *Atti del Convegno SIFET 2007*, pag. 183-190
- Fastellini G., Radicioni F., Stoppini A., (2007). Test di accuratezza e ripetibilità di lunga durata su posizionamenti *Nrtk* e *Networkdgps*, In: *Atti 11ª Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, Italia.
- Biagi L., Sansò F., (2006). Un libro bianco su i servizi di posizionamento satellitare per l’e-government, *Geomatics Workbooks*, Volume 7, Ludovico Biagi, Fernando Sansò Editori, Italy, pp. 109-121.
- Gordini C., Kealy A. N., Grgich P. M., Hale M. J., (2006). Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet™, *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2006*, Australia 17 – 21 July 2006.
- Zhang K., Wu F., Wu S., Rizos C., Roberts C., Ge L., Yan T., Gordini C., Kealy A., Hale M., Ramm P., Asmussen H., Kinlyside D., Harcombe P., (2006). Sparse or dense: challenges of Australian network RTK, *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium 2006*, Australia July 17 – 21, 2006
- Grejner-Brzezinska D., Kashani I., Wielgosz P., (2005). On accuracy and reliability of instantaneous network RTK as a function of network geometry, station separation, and data processing strategy, *GPS Solution*, n.9-2005, pp. 212–225.
- Lachapelle G., Alves P., Ahn Y.W., (2003). The Effects of Network Geometry on Network RTK Using Simulated GPS Data, *Proceedings of ION GPS/GNSS 2003*, Portland, USA, September 9-12, 2003, pp. 1417–1427.