

Verifica di accuratezza e affidabilità delle misure NRTK: esperienze in provincia di Pavia

Vittorio Casella ⁽¹⁾, Marica Franzini ⁽¹⁾, Barbara Padova ⁽¹⁾, Federico Cattaneo ⁽²⁾

⁽¹⁾ DIET - Università degli Studi di Pavia, via Ferrata 1, 27100 Pavia
(vittorio.casella, marica.franzini, barbara.padova)@unipv.it

⁽²⁾ neolaureato - fede.catta@libero.it

Riassunto

La sperimentazione descritta nella presente nota ha come obiettivo quello di valutare la disponibilità, l'affidabilità e l'accuratezza delle misure NRTK effettuate in contesti simili a quelli incontrati dai professionisti nel lavoro quotidiano. I punti di controllo usati appartengono a poligoni test distribuiti sul territorio della Provincia di Pavia; ciascun poligono è composto da quattro o cinque vertici scelti in modo da rendere il loro rilievo il più simile possibile all'attività svolta quotidianamente dai topografi, in cui si misurano punti collocati in posizioni molto differenziate, dal punto di vista della qualità di ricezione.

Inoltre, poiché uno dei poligoni si trova a una quota significativamente maggiore delle stazioni della rete, si studia l'effetto di una tale configurazione.

Abstract

The experiment described in this paper aims to assess the availability, reliability and accuracy of NRTK measures performed in contexts which are similar to those encountered by professionals in their daily work. The used check points belong to test sites located within the Pavia's province territory; each site is composed of four or five points; some of these have favourable receiving characteristics while others don't. This is to match the variety that a surveyor daily meets.

Moreover, as a test site has a significantly greater altitude with respect to the network stations, the influence of such an altitude difference is also analyzed.

1 Introduzione

Il posizionamento con tecniche NRTK (Network Real Time Kinematic) è divenuto, negli ultimi anni, la metodologia di rilevamento GPS privilegiata da parte dei professionisti. La rapidità con cui è possibile rilevare i punti, la relativa semplicità di utilizzo della strumentazione e le accuratezze planimetriche e altimetriche con cui i vertici vengono determinati, ne hanno fatto sicuramente uno degli strumenti privilegiati per una vasta gamma di applicazioni (il rilievo catastale, il tracciamento di strade, etc.). Al tempo stesso, gli anni scorsi hanno visto la nascita di numerose reti di stazioni GPS permanenti, generalmente su scala regionale.

L'ambiente universitario è stato molto attivo su questo argomento e nel corso dell'ultimo decennio sono state numerose le pubblicazioni che hanno avuto come argomento l'analisi delle accuratezze ottenibili con il posizionamento RTK prima ed NRTK dopo. A titolo di esempio citiamo due esperienze che hanno costituito il punto di partenza della sperimentazione descritta in seguito.

La prima, condotta dagli stessi autori della presente nota, risale al 2001 e prende in considerazione la verifica delle precisioni fornite dal metodo RTK al variare della distanza e del dislivello tra stazione Master e ricevitore Rover. All'epoca furono creati alcuni poligoni in località a distanze cre-

scenti e dislivelli differenti dalla stazione GPS di Pavia, facente funzione di Master. Ciascun poligono fu dapprima rilevato in modalità statica, allo scopo di determinarne le coordinate “vere”, e successivamente venne ripetutamente misurato con metodologia RTK. Come era ipotizzabile, l’analisi dei risultati mostrò un progressivo peggioramento dell’accuratezza con l’aumentare della distanza Master-Rover; in particolare la componente altimetrica evidenziò significativi errori qualora fosse presente un forte dislivello tra i due ricevitori.

La nascita di reti di stazioni permanenti ha permesso l’evolversi della tecnica passando da un tipo di soluzione puntuale, basata sul calcolo delle correzioni differenziali da parte di un singolo Master, ad una soluzione continua, basata sul concetto di interpolazione delle correzioni determinate da una rete di stazioni GPS. Si passa da un posizionamento RTK ad un posizionamento NRTK (Network RTK).

Il progetto di ricerca PRIN-2004, coordinato a livello nazionale dal prof. Sansò, che ha prodotto fra l’altro un interessante libro bianco intitolato “I servizi di posizionamento satellitare per l’e-government”, rappresenta lo stato dell’arte sul tema. Il progetto ha indagato in modo approfondito l’accuratezza dei servizi NRTK usando come punti di controllo dei vertici appartenenti a varie infrastrutture geodetiche presenti sul territorio nazionale (rete IGM95, reti di raffittimento a livello regionale e provinciale). Per loro natura tali punti sono usualmente collocati in zone aperte dove la presenza di ostruzioni e disturbi è ridotta al minimo; essi non costituiscono pertanto un campione rappresentativo della tipologia dei vertici usualmente rilevata dai professionisti.

La presente nota si colloca pertanto come un ulteriore sviluppo del PRIN-2004, ma utilizza le infrastrutture preparate dagli autori nel 2001, allo scopo di validare il posizionamento NRTK in un contesto più vario e realistico.

Nel seguito della nota vengono descritti i poligoni utilizzati ed il protocollo di misura (Sez. 2); i profili di valutazione delle misure effettuate (Sez. 3); i risultati ottenuti (Sez. 4); le considerazioni e le osservazioni finali (Sez. 5).

2 I poligoni di controllo e il protocollo di misura

Ad eccezione del poligono di Pavia, localizzato presso il cortile della Facoltà di Ingegneria dell’Università di Pavia ed utilizzato abitualmente per l’attività didattica, i restanti poligoni furono creati nell’ambito del PRIN-1999 espressamente a supporto della ricerca nel campo del posizionamento RTK. La scelta della loro collocazione ricadde su alcune località a distanze e a dislivelli differenti rispetto alla stazione permanente GPS di Pavia, facente allora funzione di Master: la Figura 1 illustra la totalità dei poligoni creati nel 2000 ed evidenzia in rosso i cinque usati per la sperimentazione descritta. In ogni località furono materializzati quattro o cinque vertici distanti tra loro alcune decine o poche centinaia di metri; la scelta della posizione dei singoli punti fu guidata dal desiderio di rendere il rilievo il più simile possibile alla normale attività dei professionisti e, per questo motivo, si materializzarono vertici in posizioni favorevoli (assenza di ostruzioni o fonti di disturbo) e anche sfavorevoli (presenza di edificato o vegetazione in prossimità del punto). In Figura 2 e 3 sono riportati due esempi dei poligoni creati, rispettivamente Varzi e Brallo di Pregola, sullo sfondo della CTR della Lombardia.

Ogni poligono fu rilevato con metodo statico, per determinarne le coordinate *vere*. Le misure statiche effettuate legano tutti i punti dei vari poligoni fra di loro e con la stazione permanente di Pavia, a garanzia della omogeneità nelle coordinate di controllo. I risultati della compensazione sono riportati in Tabella 1.



Figura 1 – Ubicazione dei poligoni test

	E (cm)	N (cm)	h (cm)
σ_{medio}	0.29	0.35	0.80
σ_{max}	0.66	0.66	1.73

Tabella 1 – Sintesi delle accuratèzze sui vertici dei poligoni di controllo

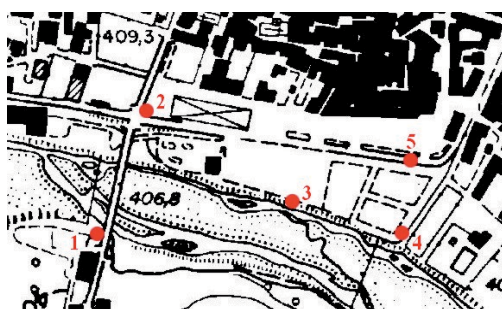


Figura 2 – Poligono di Varzi



Figura 3 – Poligono di Brallo di Pregola

Il posizionamento NRTK è stato condotto utilizzando i servizi erogati dalla rete IREALP, attiva su tutta la Lombardia; le modalità testate sono FKP e VRS. Il protocollo dell'esperimento può essere così riassunto:

ogni poligono viene visitato due volte, possibilmente in momenti della giornata con differenti costellazioni;

in ogni visita vengono eseguiti 12 giri, intesi come misura di tutti i punti del poligono;

6 giri sono effettuati nella modalità VRS e 6 in FKP; ad un giro VRS ne segue uno FKP e così di seguito;

l'inizializzazione è effettuata all'inizio di ogni giro; il tempo massimo previsto è 5 min, passati i quali il rilievo è considerato fallito; alla fine di ogni giro il ricevitore viene spento;

le misure dei singoli punti sono condotte in modalità statica, con registrazione della stima della posizione alla 5^a epoca *fixed*; il ricevitore è montato su una palina con bipiede telescopico.

Sono stati usati strumenti Leica GPS1200. Per quanto riguarda il datum, le coordinate vere dei vertici dei poligoni sono state inquadrare in ETRF89. Le coordinate NRTK sono originariamente in IGB00 (nel senso che le correzioni si riferiscono a tale realizzazione), ma è stata effettuata la conversione da IGB00 a ETRF89 usando parametri forniti da Irealp.

3 I profili di valutazione e l'analisi dei dati

I rilievi effettuati sono stati analizzati utilizzando tre profili di valutazione:

- la disponibilità, cioè la capacità di effettuare il posizionamento sul vertice stazionato;
- l'affidabilità, cioè la possibilità di effettuare misure NTRK prive di errori grossolani;
- l'accuratezza, intesa come la dispersione attorno al valore vero delle misure effettuate in modo affidabile.

Una ulteriore verifica riguarda la dipendenza degli errori di posizionamento dalla differenza di quota fra le stazioni della rete e la zona in cui si opera. Le reti di stazioni GPS permanenti annullano in sostanza la variabilità della precisione in funzione dalla posizione (nel RTK, invece, la precisione dipende, come detto, dalla distanza master-rover); è ragionevole aspettarsi tuttavia che permanga un effetto, sistematico, dovuto al dislivello fra il rover e l'insieme delle stazioni della rete.

3.1 Disponibilità e affidabilità del servizio

Con il termine *disponibilità* viene indicata la generica capacità di determinare la posizione del vertice stazionato. Sono state prese in considerazione due sotto-categorie: la *disponibilità di base* è riferita alla possibilità di effettuare misure di codice; la *disponibilità avanzata* quantifica invece l'opportunità di eseguire misure di fase.

Una ulteriore categoria è quella dell'*affidabilità*, intesa come la possibilità di effettuare misure esenti da errori grossolani. In base all'esperienza degli autori e alla analisi delle misure analizzate, è stato deciso di considerare non affidabili misure aventi scarti superiori a 10 cm in planimetria e 15 cm in altimetria.

In Tabella 2 sono quantificate le tre categorie definite per i cinque poligoni considerati. Viene indicato il numero assoluto di misure rientranti nelle tre categorie e anche la percentuale corrispondente. Il numero indicato a denominatore è diverso nei poligoni perché questi sono costituiti da un numero variabile di punti. I casi in cui la disponibilità di base è inferiore al 100% indicano problemi di ricezione telefonica: difficoltà di questo tipo si sono incontrate solo a Belgioioso. Le percentuali della disponibilità avanzata, corrispondente al posizionamento con le fasi, sono significativamente più basse in alcuni poligoni *difficili*, come Pavia, Belgioioso e soprattutto Brallo di Pregola, in cui si sono registrati problemi di mancata inizializzazione o di frequente perdita della stessa; la disponibilità avanzata presenta invece percentuali elevate per i poligoni caratterizzati da buona visibilità del cielo e buona ricezione telefonica, Varzi e Broni.

Poligono	Disponibilità di base		Disponibilità avanzata		Affidabilità	
	N. misure	Percentuale	N. misure	Percentuale	N. misure	Percentuale
Pavia	50/50	100%	39/50	78%	38/50	76%
Varzi	60/60	100%	60/60	100%	60/60	100%
Belgioioso	36/40	90%	22/40	55%	18/40	45%
Broni	48/48	100%	48/48	100%	48/48	100%
Brallo di Pregola	48/48	100%	16/48	33.30%	15/48	31.25%

Tabella 2 – Sintesi dell'analisi sulla disponibilità, di base ed avanzata, e sull'affidabilità delle misure effettuate

L'affidabilità è stata calcolata considerando le sole misure di fase prive di errori grossolani, individuate come detto all'inizio della Sezione. La causa delle misure non affidabili è verosimilmente costituita da errate inizializzazioni. La Tabella 2 evidenzia come le false inizializzazioni siano tutt'altro che improbabili nei poligoni caratterizzati da cattiva ricezione.

3.2 Accuratezza del servizio

Per le sole misure affidabili, è stata condotta l'analisi statistica. E' stata formata, per ogni punto e per ogni sessione, la differenza tra le coordinate determinate in tempo reale e quelle di controllo, determinate con il rilievo statico, considerate vere e prive di errore. Dovendo necessariamente sintetizzare, in Tabella 3 sono riportati unicamente medie ed errori quadratici medi (eqm) degli scarti, per i cinque poligoni esaminati e per le due modalità di posizionamento. Si può notare che il numero di misure riportato non sempre coincide con il numero delle misure affidabili riportato nella Tabella 2: la spiegazione sta nel fatto che è stato deciso di trascurare, nella valutazione dell'accuratezza, i punti per cui esistono meno di tre misure affidabili.

	N. misure	FKP				N. misure	VRS			
			E [m]	N [m]	h [m]			E [m]	N [m]	h [m]
Pavia	18	media	0.029	0.004	-0.014	20	media	0.027	-0.001	-0.018
		eqm	0.030	0.018	0.022		eqm	0.029	0.010	0.020
Varzi	30	media	0.008	0.017	-0.004	30	media	0.008	0.019	-0.004
		eqm	0.032	0.019	0.024		eqm	0.030	0.021	0.029
Belgioioso	8	media	-0.019	-0.017	0.053	7	media	-0.023	0.004	0.040
		eqm	0.027	0.029	0.056		eqm	0.032	0.017	0.047
Broni	24	media	-0.001	0.002	-0.024	24	media	0.007	0.011	-0.015
		eqm	0.017	0.016	0.043		eqm	0.016	0.019	0.036
Brallo di Pregola	6	media	0.013	0.012	0.108	6	media	0.010	0.021	0.137
		eqm	0.017	0.027	0.115		eqm	0.013	0.032	0.137

Tabella 3 – Sintesi dell'analisi sull'accuratezza delle misure effettuate

Notiamo anzitutto che i due protocolli testati, FKP e VRS, hanno prestazioni molto simili. Ciò era emerso anche dalle sperimentazioni condotte nell'ambito del PRIN-2004.

Per la planimetria, il valore massimo di eqm è 3.2 cm; mediando su tutti i poligoni, lo eqm planimetrico è di 2.3 cm. Per l'altimetria vi è l'eccezione di Brallo di Pregola; escludendo questo poligono, il valore massimo di eqm è 5.6 cm e quello medio 3.5 cm. Il poligono di Brallo presenta valori elevati per la media degli scarti, mentre il livello di eqm, non riportato in tabella, è nella norma. I dati evidenziano dunque un errore sistematico nelle quote che si spiega a nostro giudizio con il fatto che il poligono si trova a un'altezza di circa 1000 m mentre la stazione della rete più vicina, Varzi (che è anche la più alta della zona) ha una quota di 500 m. Le correzioni misurate dalle varie stazioni della rete e successivamente interpolate non possono evidentemente stimare, con la consueta qualità, le correzioni appropriate per la località di Brallo.

4 Conclusioni

La nota rappresenta uno studio delle prestazioni nel posizionamento NRTK, in termini di accuratezza, affidabilità e anche disponibilità. E' stata considerata, volutamente, una casistica ampia e differenziata di punti, rispetto alla ricezione, all'esistenza di multi-path e di altri disturbi, in modo da simulare la situazione incontrata dagli operatori nel lavoro quotidiano.

La disponibilità del servizio ha rappresentato il punto più critico della sperimentazione. Problemi di copertura telefonica e connessione hanno reso difficoltoso il rilievo su di un poligono (Belgioioso), mentre problemi di inizializzazione hanno reso problematico il rilevamento in tre località su cinque (Pavia, Belgioioso e Brallo di Pregola). Le percentuali di successo ottenute sono inferiori a quelle

trovate durante la sperimentazione del PRIN-2004; la causa di tale differenza è da ricercare quasi esclusivamente nella qualità dei vertici stazionati. Nel caso del suddetto progetto erano stati usati per il test vertici di reti geodetiche, caratterizzati da un'ottima visibilità del cielo e dall'assenza di fonti di disturbo; nella presente sperimentazione, invece, almeno un vertice per poligono ha sicuramente problemi legati alla presenza di superfici riflettenti o di ostruzioni.

Un numero limitato ma significativo di misure evidenzia la presenza di errori grossolani. Essi si manifestano nelle zone in cui l'esecuzione delle misure di fase è difficoltosa e si ritiene che siano dovuti a errori di inizializzazione.

Le accuratezze plano-altimetriche sono in generale molto buone e in linea con quelle evidenziate dal PRIN-2004. Vi è l'eccezione del poligono situato a Brallo di Pregola, in cui le quote misurate presentano un errore sistematico, dovuto probabilmente al dislivello fra i punti misurati e la quota delle stazioni delle rete circostanti.

Complessivamente, per quanto riguarda le accuratezze, i risultati trovati confermano il GPS-NRTK come un utile metodo di rilevamento per molte applicazioni in cui le esigenze di precisione sono alte, ma non esasperate. La sperimentazione svolta evidenzia tuttavia come vengano spesso sottovalutati, nella discussione sul metodo NRTK, i problemi legati alle false inizializzazioni e alla disponibilità del servizio.

5 Bibliografia

- [1] Casella, V., Franzini, M., 2001. Esperienze di GPS in tempo reale supportate dalla stazione GPS permanente di Pavia. In: *V Conferenza ASITA*, Rimini, Italy, Vol. I, pp. 433-439.
- [2] Franzini, M., 2001. Tesi di Laurea - Posizionamento GPS in tempo reale: precisione, affidabilità, problemi operativi. Esperienze con la stazione GPS permanente di Pavia. Università degli studi di Pavia, A.A. 2000/2001.
- [3] Belluomini, P., Biagi, L., Grimaldi, L., Laffi, R., Novembre, C., Sansò, F., Scuratti, M., 2006. GPSLOMBARDIA: rete GNSS per un servizio di posizionamento. In: *X Conferenza ASITA*, Bolzano, Italy, Vol. I, pp. 305-310.
- [4] AA. VV., 2007. Un libro bianco su *I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*, *Geomatics Workbooks, Volume 7*, Ludovico Biagi, Fernando Sansò Editori, pp. 39-48. ISSN 1591-092X.
- [5] Biagi, L., Crespi, M., Gandolfi, S., Manzino, A.M., Stoppini, A., 2007. Appendice 4.1 Esperimento RTK1: Verifica delle prestazioni del posizionamento NRTK. *Geomatics Workbooks, Volume 7, I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government*. Ludovico Biagi, Fernando Sansò Editori, pp. 39-48. ISSN 1591-092X.
- [6] Barrile, V., Cina, A., Gaetani, M.E., Pesenti, E., Piras, M., Prassana, N., Tornatore, V., 2008. Esperienza congiunta di Network RTK in Lombardia e Piemonte: test svolti e risultati. In: *Bollettino SIFET*, Volume 3 (2008), pp. 29-43, ISSN 1721-971X.