

# NON TUTTO È SEMPRE FACILE NEL GPS: DISPONIBILITÀ E AFFIDABILITÀ DELLE MISURE NRTK IN PROVINCIA DI PAVIA

Vittorio CASELLA, Marica FRANZINI, Barbara PADOVA

## 1 Introduzione

Frequentiamo il GPS da più di 15 anni (alcuni degli autori, perlomeno...) e in questi anni abbiamo assistito alla continua evoluzione del sistema, riguardante i satelliti, i ricevitori e le metodologie di posizionamento. Il GPS è ancora capace di sorprenderci, per la bellezza, la potenza e la possibilità che esso offre di essere usato in una gamma pressoché infinita di applicazioni.

Una delle direzioni di evoluzione è la facilità d'uso e la definizione di modalità operative che siano accessibili anche ad operatori poco esperti. Ciò rappresenta, in generale, un fatto positivo, ma espone al pericolo dell'uso acritico, in quanto l'uso appropriato del GPS, per quanto facilitato, richiede comunque una certa cultura e preparazione.

La modalità di misura NRTK è uno dei risultati dello sviluppo rapidissimo e sorprendente del GPS; essa ha ormai raggiunto la maturità tecnica e si è molto diffusa fra gli utenti professionali per la sua facilità, rapidità ed economia. Quando funziona, il posizionamento NRTK è capace di determinare le coordinate di un punto con accuratezze di circa 2 cm, in pochi secondi, e per questo è spesso presentato come l'unica modalità che è utile conoscere. Purtroppo le nostre numerose esperienze evidenziano che un numero limitato ma significativo di punti non può essere misurato con NRTK, per mancanza del servizio di telefonia mobile, e che un numero esiguo di misure contiene errori grossolani. Anche nelle pubblicazioni scientifiche si dà talvolta troppa enfasi, ci pare, alle accuratezze brillantissime ottenute quando il sistema funziona, dimenticando i pur rari problemi. Nella nota verranno descritte due sperimentazioni sul NRTK svolte sul territorio della Provincia di Pavia da tesisti, in epoche diverse.

Verranno sintetizzati i risultati riguardanti l'accuratezza, per completezza, ma soprattutto verrà quantificata la *disponibilità del servizio*, intesa come possibilità di effettuare la misura NRTK, e la sua *affidabilità*, intesa come possibilità di avere una misura esente da errori grossolani. La Sezione 2 introduce le varie sperimentazioni e definisce i parametri con cui verranno valutati i risultati; le Sezioni 3 e 4 descrivono le sperimentazioni considerate e i risultati ottenuti. La Sezione 5 conclude la nota.

## 2 Le sperimentazioni considerate

Nel seguito verranno sintetizzati i risultati di due sperimentazioni sul NRTK avvenute in un arco di circa 7 anni sul territorio della Provincia di Pavia. Non si tratta di semplici ripetizioni, ma ciascuna di esse ha un elemento specifico di interesse.

La **sperimentazione 1** è stata effettuata dallo studente Claudio Gabetta nell'anno 2005, nelle modalità previste per il PRIN2004, coordinato dal prof. Sansò, denominato *I servizi di posizionamento satellitari per l'e-Government*. Sono stati usati, come punti di controllo, i vertici della rete regionale che raffittisce la IGM95, che si trovano generalmente in posizioni quasi ideali, caratterizzate dalla visibilità di porzioni ampie di cielo e da assenza di superfici riflettenti. La scelta dei punti di controllo potrebbe aver nascosto o attenuato i problemi che talvolta si presentano quando si ha forte multi-path oppure quando il numero dei satelliti *visti* cambia continuamente per la presenza di ostruzioni. E' comunque stato evidenziato che una frazione piccola ma significativa di punti non è misurabile con il metodo NRTK, per l'assenza del segnale telefonico.

La **sperimentazione 2** è stata condotta da Giuseppe Fusaro nel 2011, nell'ambito di una tesi di laurea svolta in collaborazione con Leica Geosystems Italia, il cui scopo principale era la validazione del servizio MyGeoid; alcuni dei dati raccolti possono tuttavia essere utilmente analizzati per lo scopo del presente articolo. La sperimentazione ha usato un protocollo di misura simile a quello della precedente, ma è stata effettuata con ricevitori di ultima generazione, confermando che le misure NRTK manifestano a volte errori grossolani.

Per ciascuna sperimentazione viene descritto brevemente il protocollo di misura e si quantificano tre parametri:

- **disponibilità:** numero delle misure che è stato possibile effettuare in modalità *fixed* con le fasi; è misurata come frazione del numero totale delle misure tentate; la disponibilità è quantificata con due parametri: D1 indica la *disponibilità per sito* e quantifica in termini percentuali il numero dei punti sui quali è stato possibile effettuare tutte le misure pianificate (si tratta di un parametro che può essere quantificato solo se i punti vengono misurati ripetutamente); D2 indica la *disponibilità per misura* e quantifica in termini percentuali il numero di misure che è stato possibile effettuare con successo, rispetto al totale delle misure pianificate.
- **affidabilità:** numero delle misure esenti da errori grossolani; viene quantificato dai parametri A1 e A2; il primo indica la frazione delle misure affidabili rispetto a quelle realmente effettuate, cioè quelle che hanno concorso a determinare D2, in termini percentuali; A2 quantifica invece la frazione delle misure affidabili rispetto al totale delle misure tentate; in base all'esperienza degli autori e alla analisi delle misure analizzate, è stato deciso di considerare non affidabili, cioè affette da errori grossolani, misure aventi scarti superiori a 10 cm in planimetria o 15 cm in altimetria;
- **accuratezza:** distanza media delle coordinate affidabili rispetto alle coordinate vere; si tratta di un aspetto molto studiato nelle sperimentazioni sul NRTK che non costituisce l'argomento principale della nota e che viene illustrato in modo sintetico solo per completezza.

## 3 La sperimentazione 1

La sperimentazione si è svolta nei mesi di ottobre e novembre 2005, nell'ambito del PRIN2004, coordinato dal prof. Fernando Sansò del Politecnico di Milano, intitolato *I servizi di posizionamento satellitari per l'e-Government*. I risultati dettagliati del PRIN sono illustrati nel libro bianco avente lo stesso titolo del Progetto.

Sono stati usati come punti di controllo i vertici della rete GPS della Regione Lombardia, che raffittisce la IGM95. Per l'attività descritta nella presente nota sono stati utilizzati 20 vertici, mostrati in Figura 1.

### 3.1 Il protocollo di misura

Il posizionamento NRTK è stato effettuato utilizzando i servizi erogati dalla rete IREALP, nelle due modalità FKP e VRS. Il protocollo dell'esperimento, unico per tutte le attività condotte nell'ambito del PRIN, può essere così riassunto:

- ogni punto è stato visitato due volte, possibilmente in momenti della giornata con differenti costellazioni; durante ogni visita il punto è stato misurato in entrambe le modalità considerate;
- le misure dei punti sono state condotte montando il ricevitore su treppiede e registrando la posizione alla 5° epoca *fixed*;
- poichè talvolta i ricevitori non riescono a fissare le ambiguità e dunque ad inizializzare il lavoro, era previsto un tempo massimo di 5 minuti, passati i quali la misura veniva dichiarata fallita.

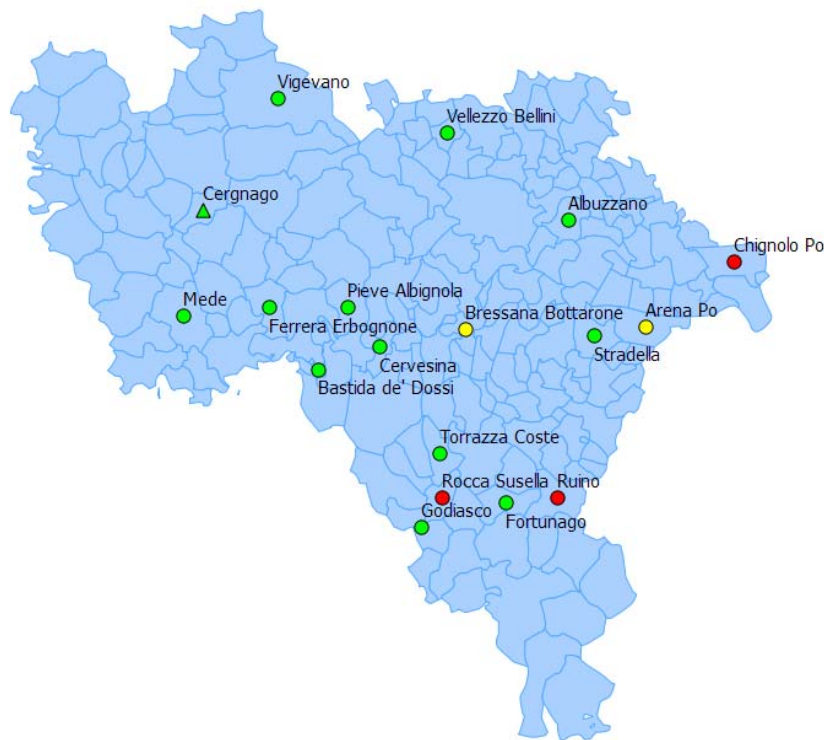


Figura 1 - Disposizione dei punti di controllo usati nella Sperimentazione 1

E' stato naturalmente effettuato un lavoro di omogeneizzazione fra il sistema di riferimento adottato dalla rete regionale (ETRF89-IGM95) e quello in cui Irealp distribuiva le correzioni all'epoca, IGB00; per fare questo, sono stati utilizzati parametri e tool forniti dall'unità coordinata dal prof. Sansò, operante presso il Politecnico di Milano - Polo di Como. Infine, l'unità pavese ha usato ricevitori Leica GPS1200 dotati di antenne Leica AX1202.

### 3.2 Disponibilità e affidabilità del servizio

La Tabella 1 sintetizza l'analisi della disponibilità per sito: nella prima colonna è indicata la percentuale delle misure effettuate con successo su un certo punto o sito, rispetto al totale delle misure tentate, uguale a 4; nella seconda colonna viene indicato il numero dei siti per cui si è avuta una certa percentuale di successo; nella terza colonna il numero dei siti è quantificato in percentuale, rispetto al totale, 20. Nella terza colonna in basso è evidenziato in grassetto il valore di D1, pari a 75%: in 3/4 dei siti visitati è stato possibile effettuare tutte le misure tentate.

Misure effettuate con successo [%]	Numero siti	Percentuale siti
0 %	2	10 %
25%	0	0 %
50%	1	5%
75%	2	10 %
100%	15	<b>75%</b>
Totale	20	100 %

Tabella 1 - Disponibilità per sito nella Sperimentazione 1

La disponibilità per località è del 75%, il che significa che nel 25% dei punti misurati sono stati incontrati problemi, dovuti quasi esclusivamente alla disponibilità della connessione telefonica. Sono da escludere infatti problemi legati alla conformazione del terreno e alla visibilità dei satelliti, in quanto i punti di controllo usati fanno parte di una rete statica e sono stati scelti in posizioni favorevoli. La disponibilità per misure è del 85%, in quanto su alcuni punti problematici è stato comunque possibile effettuare alcune misure. L'affidabilità è elevata in quanto si è verificato un unico errore grossolano, la cui entità è 1.68 m, quantificata come distanza nello spazio. La Tabella 2 sintetizza i risultati relativi a disponibilità e affidabilità.

Misure pianificate	Misure realizzate	Misure affidabili	D1	D2	A1	A2
80	68	67	75%	85%	98,53%	83,75%

Tabella 2 - Sintesi su disponibilità e affidabilità nella Sperimentazione 1

Una sintesi dei risultati è anche presentata in Figura 1, grazie alla codifica grafica e cromatica. Il colore indica la disponibilità:

- rosso - acquisite 50% o meno delle misure preventive;
- verde - acquisite almeno il 90% delle misure;
- giallo - le situazioni intermedie.

La forma è invece connessa all'affidabilità:

- cerchio - tutte le misure fatte sul punto sono affidabili;
- triangolo - alcune delle misure contengono errori grossolani.

### 3.3 Accuratezza del posizionamento

La Tabella 3 sintetizza l'accuratezza delle 67 misure esenti da errori grossolani; non vengono distinte le misure fatte nelle due modalità VRS e FKP perchè hanno comportamenti analoghi.

67 misure	Scarti		
	E [m]	N [m]	h [m]
media	0.026	0.013	0.003
sqm	0.010	0.014	0.026
eqm	0.028	0.019	0.026

Tabella 3 - Accuratezza delle misure

Gli eqm sono inferiori ai 3 cm su tutte le componenti e sono confrontabili con quanto si trova in letteratura.

## 4 La Sperimentazione 2

L'esperienza descritta in questa sezione è stata condotta tra gennaio e marzo 2011 e aveva lo scopo di validare il servizio MyGeoid, offerto da Leica Geosystems all'interno del programma Polar. Il servizio Leica MyGeoid consente al topografo di interrogare una banca dati remota e di conoscere in tempo quasi-reale la quota ortometrica di un punto rilevato con modalità NRTK. Lo scopo primo della sperimentazione era dunque validare la qualità delle quote determinate con MyGeoid.

Per svolgere la sperimentazione è stato deciso di misurare con NRTK e MyGeoid 34 vertici di controllo appartenenti all'infrastruttura geodetica della Provincia di Pavia: 22 sono vertici della rete GPS, dunque di essi si conoscono bene la quota e le coordinate (E,N,h); i rimanenti 12 sono capisaldi di livellazione, per i quali si conosce bene la quota, ma la posizione solo in modo approssimato. Di conseguenza tutti i 34 vertici di controllo possono essere usati per la stima della disponibilità ma solo 22 per affidabilità e accuratezza. Infine, i vertici si trovano in 21 località ben distribuite sul territorio provinciale, come evidenziato dalla Figura 2.

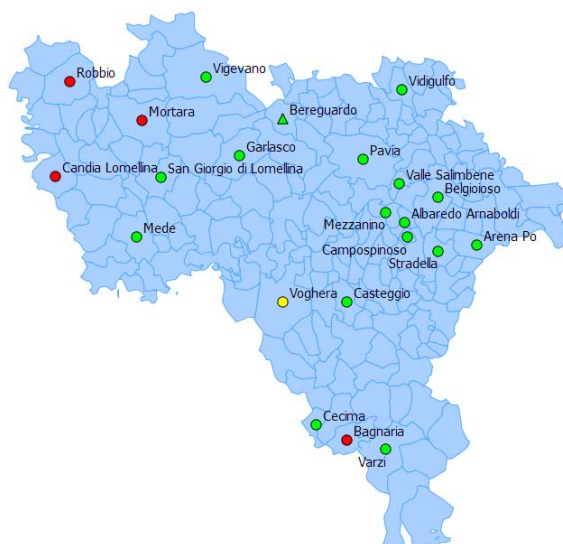


Figura 2 - Disposizione dei punti di controllo per la Sperimentazione 2

#### 4.1 Il protocollo di misura

Il posizionamento NRTK è stato condotto utilizzando i servizi della rete Italpos e in particolare la metodologia *Nearest*, per una scelta di Leica. Il protocollo di misura dell'esperimento può essere così riassunto:

- ogni vertice è stato visitato tre volte, possibilmente in momenti della giornata caratterizzati da costellazioni satellitari differenti;
- le misure dei punti sono state condotte usando il treppiede e registrando la posizione alla 10° epoca *fixed* per i primi due giri e alla 5° epoca nel terzo giro;
- il tempo massimo previsto per una misura era 5 minuti, passati i quali essa era considerata fallita.

Sono stati usati strumenti Leica GS10 dotati di antenna Leica AS10. E' stato naturalmente effettuato un lavoro di omogeneizzazione fra il sistema di riferimento adottato dalla rete provinciale (ETRF89-IGM95) e quello in cui Italpos distribuisce le correzioni, RDN; per fare ciò sono stati usati i dati forniti da IGM per i vertici IGM95 (quantità da aggiungere a Est e Nord IGM95 per promuoverle a RDN), opportunamente ricampionati.

#### 4.2 Disponibilità e affidabilità del servizio

La Tabella 4 sintetizza la disponibilità per sito ed è analoga alla Tabella 1, già spiegata.

Misure effettuate con successo [%]	Numero siti	Percentuale siti
0.00 %	0	0 %
33.33%	4	11.8 %
66.66 %	3	8.8 %
100.00 %	27	<b>79.4 %</b>
Totale	34	100 %

Tabella 4 - Disponibilità per sito nella Sperimentazione 2

La disponibilità per località è del 79.4 %, valore prossimo al 75 % ottenuto nella Sperimentazione 1.

Misure pianificate	Misure realizzate	D1	D2
102	91	79.4%	89.22%

Tabella 5 - Sintesi su disponibilità nella Sperimentazione 2, calcolata per tutti i 34 vertici di controllo

La Tabella 5 sintetizza la disponibilità per i 34 vertici di controllo scelti; non viene quantificata l'affidabilità perchè ciò può essere fatto solo per i 22 vertici delle rete GPS. Per questi ultimi, i risultati sono mostrati nella Tabella 6, in cui non è peraltro indicata la disponibilità per sito, quantificata per tutti i 34 vertici e indicata nella precedente tabella.

Misure pianificate	Misure realizzate	Misure affidabili	D1	D2	A1	A2
66	61	59		92.4%	96.7%	89.4%

Tabella 6 - Sintesi su disponibilità e affidabilità nella Sperimentazione 2, calcolata per i soli 22 vertici della rete GPS

Una sintesi dei risultati è anche presentata in Figura 2, grazie alla codifica grafica e cromatica già illustrata.

### 4.3 Accuratezza del posizionamento

La Tabella 7 sintetizza l'accuratezza delle 59 misure fatte sui vertici di rete (planoaltimetric) che sono esenti da errori grossolani.

59 misure	Scarti		
	E [m]	N [m]	h [m]
<b>media</b>	0.021	0.021	0.017
<b>sqm</b>	0.015	0.015	0.049
<b>eqm</b>	0.026	0.026	0.052

Tabella 7 - Accuratezza delle misure nella Sperimentazione 2

Gli eqm sono inferiori ai 3 cm in planimetria e attorno ai 5 cm in altimetria; quest'ultima componente evidenzia, a una analisi dettagliata, una piccola componente sistematica per alcuni punti che si trovano in montagna, fenomeno che è già stato descritto in un precedente articolo e che eleva leggermente il valore del eqm.

## 5 Conclusioni

Sono state sintetizzati i risultati relativi a disponibilità, affidabilità e accuratezza della misure NRTK, per due sperimentazioni ampie, svoltesi sul territorio della Provincia di Pavia in tempi diversi e con strumenti differenti.

Nel primo caso la percentuale delle misure eseguite con successo (disponibilità per misura) è del 85%; la frazione delle misure affidabili è 84%. Nella seconda sperimentazione i corrispondenti valori sono 92% e 89%. I risultati evidenziano dunque che almeno il 10% delle misure NRTK falliscono. Considerando la disponibilità per sito, circa il 20% del territorio presenta problemi significativi.

In sintesi, un buon rilevatore GPS deve disporre, nella propria cassetta degli attrezzi, di altri strumenti oltre al puro NRTK.