

ESPERIENZE DI GPS IN TEMPO REALE SUPPORTATE DALLA STAZIONE GPS PERMANENTE DI PAVIA

Vittorio Casella (*), Marica Franzini (**)

(*) DIET – Università di Pavia
email: casella@unipv.it

(**) Neolaureata

Riassunto

Si descrive una sperimentazione sul GPS in tempo reale. Sono state impiegate le correzioni differenziali generate dalla stazione GPS permanente di Pavia, trasmesse mediante telefonia cellulare. Lo scopo principale del lavoro è la verifica della precisione fornita dal metodo, al variare della distanza e del dislivello master-rover.

Per portare a termine tale verifica, sono stati creati e rilevati con metodologia GPS statica sei poligoni costituiti da cinque punti, a distanze crescenti dalla stazione master e con differenti dislivelli rispetto ad essa. Tali poligoni sono stati successivamente rilevati, ripetutamente, nella modalità in tempo reale e le coordinate determinate in questa maniera sono state confrontate con quelle ottenute dal rilievo statico. La nota è completata da cenni ai problemi operativi incontrati.

Abstract

In this paper we will describe a real-time GPS experimentation. The differential corrections of the permanent GPS station located in Pavia have been used and sent by cellular telephony. The aim of this work is to verify the precision provided by this method as the distance and the difference in level of the master-rover change.

To end up this verification, six polygons constituted by five vertexes, located at increasing distances by the master station and having different height-displacements, have been created and surveyed by static GPS methodology. These polygons have been then repeatedly surveyed by real time methodology and the coordinates measured in this way have been compared with the ones obtained by the adjustment of the static survey. The following note is completed with short accounts of operative problems met.

1 Introduzione

Fra i molti cambiamenti di portata quasi rivoluzionaria apportati dal GPS, vi è anche l'aumentata diffusione dei metodi di posizionamento; se tradizionalmente la Topografia era una tecnica per pochi adepti, il GPS, nella vasta gamma delle sue implementazioni, viene impiegato da un insieme eterogeneo e vasto di utenti.

Tutto questo ha indubbiamente moltissime evidenti conseguenze positive, e qualcuna negativa: un certo dilettantismo ad esempio, alimentato dalla convinzione, sbagliata ma diffusa, che con il GPS chiunque possa fare del rilevamento di qualità. E' probabilmente vero che chiunque possa fare facilmente del rilevamento individuale, caratterizzato da precisioni non topografiche, e la crescente diffusione di orologi-GPS, schede PCMCIA-GPS e altri dispositivi di tal genere lo conferma. Non è vero invece che il GPS consenta a chiunque di eseguire in modo efficace e consapevole rilevamenti GPS di qualità topografica nelle usuali modalità statiche post-processate: il bagaglio culturale necessario per essere un rilevatore competente, capace di padroneggiare le varie fasi, dal progetto del-

la rete, alla pianificazione, alla esecuzione delle misure, alla loro elaborazione e compensazione, all'analisi di qualità è, anche nell'era del GPS, vasto e impegnativo.

Rispetto al più tradizionale rilevamento statico e rapido-statico, con cui rivaleggia, in un certo senso, il GPS in tempo reale promette di rendere accessibili a una più vasta utenza tecniche di posizionamento di qualità topografica. Tale metodologia fornisce infatti le coordinate del punto stazionato subito dopo la fine dell'acquisizione, in quanto non necessita della complessa e laboriosa fase di elaborazione successiva alle misure, così come solleva l'utente anche dalla impegnativa fase di pianificazione e progetto del rilievo.

Non riteniamo corretto porre sullo stesso piano il rilievo statico post-processato e quello in tempo reale, perché solo il primo consente di raggiungere le precisioni limite del GPS e, soprattutto, consente di eseguire misure ridondanti e di compensarle. Tuttavia riteniamo che il metodo di posizionamento in tempo reale sia di grande interesse e avrà un grande sviluppo. Per questo è stato intrapreso uno studio metodico della precisione e dell'affidabilità che esso può fornire oggi. Fra gli aspetti che si volevano indagare vi sono l'effetto della distanza e del dislivello master-rover (non ci risulta siano stati fatti studi, almeno in Italia, sugli effetti del dislivello), l'influenza della costellazione, la dipendenza dal tempo di stazionamento e anche i problemi operativi. Sono state usate le correzioni differenziali inviate dalla stazione GPS permanente di Pavia.

Per realizzare lo studio descritto sono stati scelti e materializzati sei poligoni test; essi sono stati anzitutto rilevato con metodo statico e successivamente con il metodo in tempo reale, usando le fasi, in varie configurazioni. Le coordinate ottenute con il secondo metodo sono state confrontate con quelle ottenute con il primo, considerate *vere*.

La nota descrive anzitutto i poligoni realizzati e le loro principali caratteristiche (Sez. 2); successivamente illustra i principali risultati ottenuti rilevando gli stessi poligoni con la metodologia in tempo reale (Sez. 3); seguono alcune considerazioni e osservazioni finali (Sez. 4).

2 I poligoni di controllo

Sono state prescelte sul territorio alcune località a distanze e a dislivelli crescenti dalla stazione permanente GPS di Pavia (Figura 1). In ogni località sono stati materializzati cinque vertici, distanti fra loro alcune decine o poche centinaia di metri; in ogni poligono è stato selezionato un vertice principale.

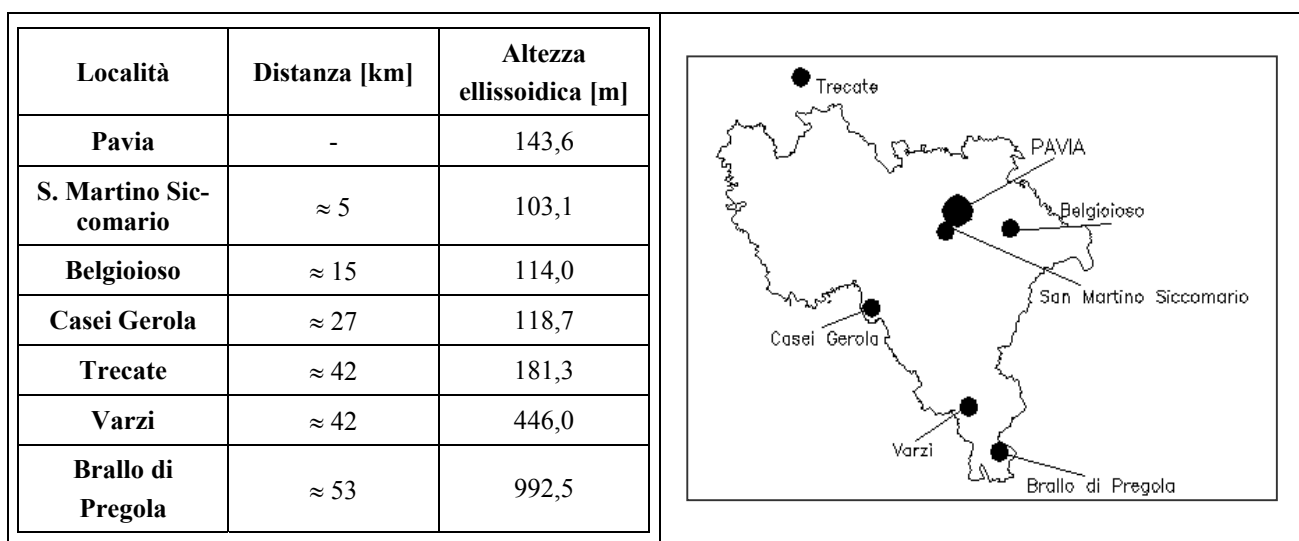


Figura 1 – Ubicazione dei poligoni test

Tutti i poligoni sono stati rilevati con metodo statico, per determinare le coordinate vere di ogni vertice. E' stata misurata anzitutto la rete globale, che collega i punti principali dei singoli poligoni con la stazione permanente di Pavia. I risultati della compensazione sono forniti dalla Tabella 1.

	Est (cm)	Nord (cm)	Q (cm)
σ_{medio}	0.22	0.28	1.49
σ_{max}	0.25	0.31	2.10

Tabella 1 – Sintesi degli eqm ottenuti nella compensazione della rete generale

Successivamente sono state rilevate le reti locali, indicate in Figura 2, che legano fra di loro i punti dei singoli poligoni. I risultati della loro compensazione sono riportati nella Tabella 2. Complessivamente le misure statiche effettuate legano tutti i punti dei vari poligoni fra di loro e con la stazione master, e ciò costituisce garanzia di omogeneità delle coordinate di controllo.

	Est (cm)	Nord (cm)	Q (cm)
σ_{medio}	0.29	0.35	0.80
σ_{max}	0.66	0.66	1.73

Tabella 2 – Sintesi degli eqm ottenuti nella compensazione delle reti locali

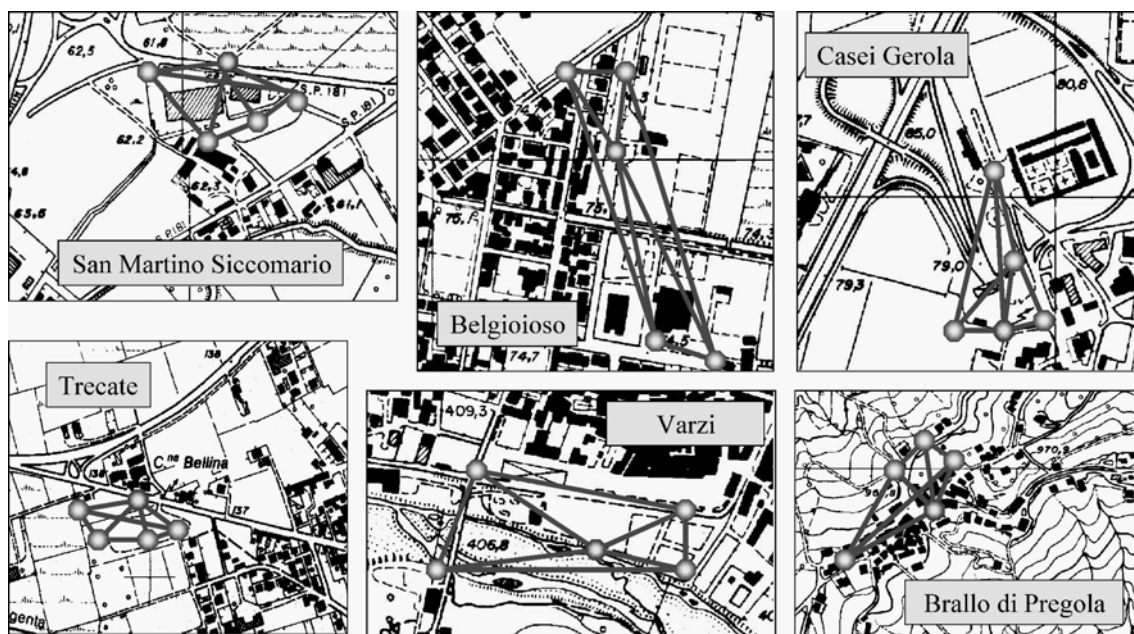


Figura 2 – Disposizione dei poligoni e schema della rete statica per il loro rilevamento

3 Risultati delle misure effettuate con GPS in tempo reale

I vari poligoni sono stati rilevati con il metodo in tempo reale ripetutamente, con diversi tempi di stazionamento: 1", 5", 10", 15", 30", 45", 1', 3', 5'. Tutte le misure sono state eseguite due volte, con una costellazione satellitare buona e con una meno favorevole. La metodologia di misura prevedeva una sola inizializzazione all'inizio di rilevamento in quanto gli spostamenti fra un punto e l'altro avvenivano a piedi, avendo cura di non perdere i segnali. Purtroppo è accaduto che si verificassero interruzioni nella ricezione, con la conseguente reinizializzazione.

In fase di analisi è stata formata, per ogni punto e per ogni sessione, la differenza fra le coordinate determinate in tempo reale e quelle di controllo, determinate con il rilevamento statico, considerate vere e prive di errore. Dovendo necessariamente sintetizzare, sono state calcolate media e deviazione standard degli scarti per ogni poligono, in funzione dei tempi di stazionamento.

Una prima importante osservazione riguarda la scarsa influenza di tali tempi, come i grafici contenuti nelle Figura 3 e Figura 4 dimostrano. Essi si riferiscono a due sole località, San Martino, a 5 Km di distanza dal master, e Trecate, a 42 Km, e rappresentano l'andamento delle medie degli scarti, per le tre componenti E (rombo), N (cerchio), h (asterisco), in funzione del tempo di stazionamento.

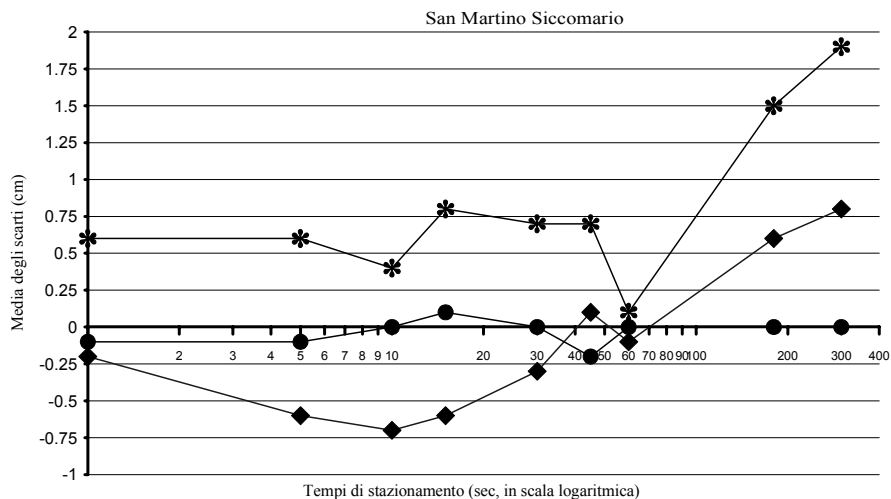


Figura 3 – Poligono di San Martino Siccomario ($d=5$ Km): scarti medi al variare del tempo di acquisizione. Rombo: E; cerchio: N; asterisco: h

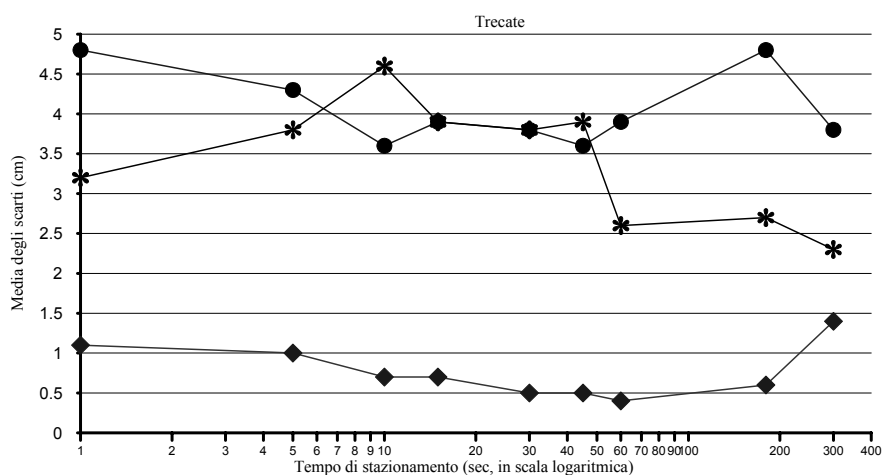


Figura 4 - Poligono di Trecate ($d=42$ Km): scarti medi al variare del tempo di acquisizione. Rombo: E; cerchio: N; asterisco: h

Come si vede, non c'è evidenza di miglioramento al crescere dei tempi di stazionamento, cioè le precisioni limite vengono raggiunte immediatamente. L'osservazione analitica dei dati disaggregati dimostra che la precisione è fortemente correlata alla costellazione dei satelliti, piuttosto che ai tempi di acquisizione. Infatti le acquisizioni sono state condotte in modo che le varie misure su un punto venissero effettuate di seguito, in un'unica finestra temporale, relativamente breve, e il risultato è che se gli scarti sono piccoli nella misura di 1'', di norma lo sono anche per la misura di 5', e

viceversa. D'altra parte si verifica con una certa frequenza che un punto risultato buono durante il primo insieme di misure diventi meno buono nella seconda giornata, caratterizzata da una diversa costellazione, e viceversa. Ci proponiamo di incrementare in futuro l'insieme delle misure, acquisendole in modo che siano incorrelate rispetto al tempo.

Consideriamo ora la precisione al variare della distanza dal master. Verranno mostrati solo i risultati per i tempi di stazionamento di 15". La Figura 5 si riferisce alla coordinata Est e mostra le medie degli scarti calcolate per i diversi poligoni (la Nord ha un comportamento simile). Le barre di errore indicano l'intervallo di confidenza al 95%; i cerchi indicano i poligoni la cui altezza ellissoidica è confrontabile con quella di Pavia, mentre i rombi si riferiscono ai poligoni di Varzi e Brallo, la cui quota è significativamente maggiore di quella di Pavia. Nella zona di Brallo si sono verificati grandi problemi di ricezione ed è stato possibile misurare solo due dei cinque punti materializzati, pertanto la significatività dei risultati è, per quel poligono, inferiore alla norma; di conseguenza l'intervallo di confidenza è molto maggiore degli altri e non è stato inserito perché, diversamente, le altre barre di errore verrebbero fortemente riscalate e la leggibilità del grafico peggiorerebbe. Come si vede, in tutti i casi le misure effettuate sono compatibili con l'ipotesi che la media degli scarti sia nulla, cioè che non vi siano errori sistematici nelle misure in tempo reale.

Consideriamo ora la precisione in quota, sintetizzata dalla Figura 6, nella quale cerchi e rombi rappresentano di nuovo poligoni bassi e alti, rispettivamente. Tutti i punti sono al di sopra dell'asse delle ascisse e questo fa pensare a un sistematismo, anche se, per i poligoni bassi, le misure sono pressoché compatibili con l'ipotesi di media nulla. Ci saremmo aspettati di individuare una tendenza della media a crescere al crescere della distanza, ma, per quanto riguarda i poligoni bassi, questa non è chiaramente leggibile dai dati finora prodotti.

Se si considerano i poligoni alti, è evidente la presenza di scostamenti sistematici dallo zero, dovuti prevalentemente al dislivello e probabilmente, anche se in misura minore, alla distanza. Sarebbe interessante stimare l'influenza di entrambi i fattori, ma riteniamo che, per fare ciò in modo affidabile, sia necessario acquisire nuovi dati, in modo da avere intervalli di confidenza più stretti e stime più affidabili.

Nel complesso riteniamo i risultati ottenuti di sicuro interesse. In planimetria i risultati sono ottimi per tutti i poligoni, con eqm mai peggiori di 2cm. In altimetria i risultati non sono altrettanto brillanti, ma tuttavia le precisioni conseguite sui poligoni bassi, con l'eccezione di Casei Gerola, sono interessanti; per le zone a quota diversa rispetto al master, si manifesta un sistematismo che non può essere trascurato.

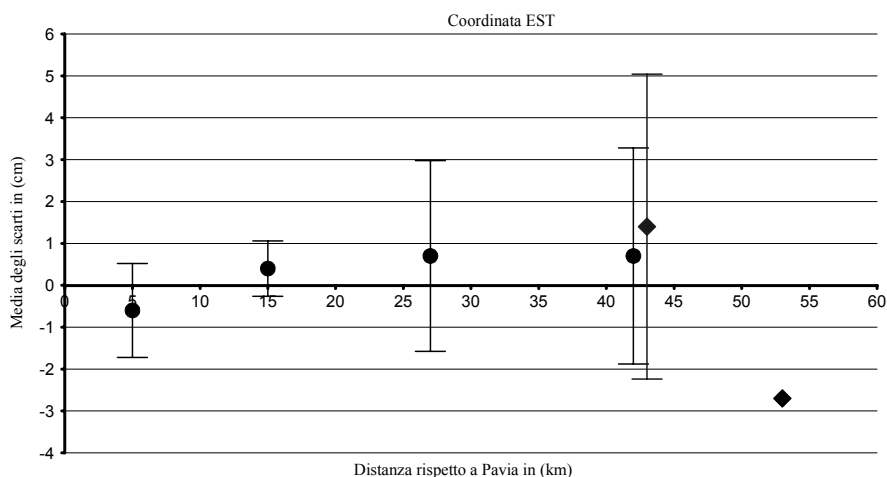


Figura 5 – Andamento della precisione della coordinate Est in funzione della distanza dal master. Da sinistra a destra: San Martino, Belgioioso, Casei Gerola, Treocate, Varzi, Brallo

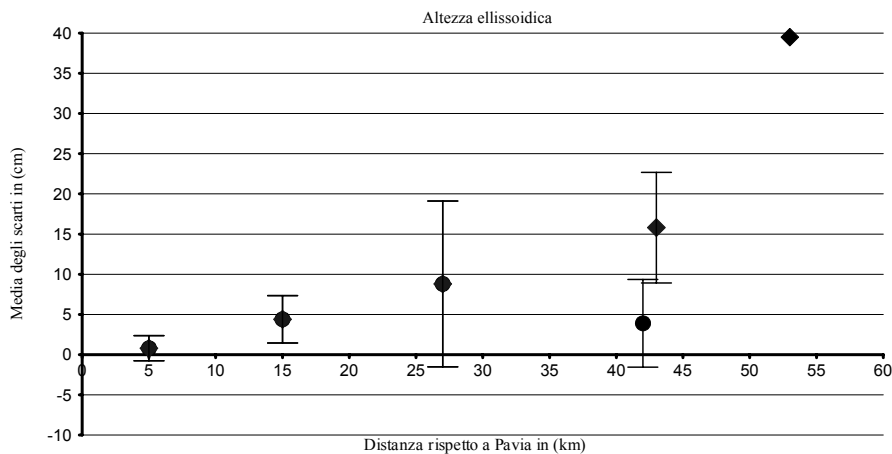


Figura 6 - Andamento della precisione della quota in funzione della distanza dal master

4 Conclusioni

Questa nota rappresenta uno stadio intermedio, piuttosto che la conclusione di una ricerca. Nel complesso i risultati trovati superano le nostre aspettative e confermano come il GPS in tempo reale costituisca un interessantissimo metodo di rilevamento per molte applicazioni in cui le esigenze di precisione sono alte ma non esasperate.

Emergono anche gli spunti per ulteriori attività: ci proponiamo di creare due o tre nuovi poligoni, di cui almeno uno a quota maggiore rispetto a Pavia, e di incrementare in modo significativo il numero delle misure ripetute. Lo scopo principale è la modellizzazione del sistematismo in quota come funzione di distanza e dislivello dal master.

5 Ringraziamenti

Desideriamo ringraziare anzitutto i tecnici del Laboratorio di Geomatica, geom. Paolo Marchese e geom. Giuseppe Girone, che hanno collaborato a tutte le fasi operative del lavoro; un grazie anche a coloro che hanno contribuito alle misure di controllo: Elio Casella, Giuseppe Bertolazzi, Marco Grampella, Alessio Varese.

La presente nota è stata realizzata nell'ambito del Progetto nazionale di ricerca *Stazioni permanenti integrate da reti GPS e cartografia numerica: dal posizionamento di precisione alla navigazione individuale*, cofinanziata dal MURST (Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica) per l'anno 1999, coordinata dal prof. Barbarella dell'Università di Bologna.

6 Bibliografia

- AA.VV. (1996) – *Understanding GPS Principles and applications* – Elliot D. Kaplan editor, Norwood.
- Bitelli G., Capra A. – *Applicazioni del metodo GPS differenziale* – Bollettino SIFET, n. 4, 1992, pagg.69-86.
- Bitelli G., Capra A., Unguendoli M., Vittuari L. – *Applicazioni nono navigazionali del posizionamento dinamico in tempo reale* – Bollettino SIFET, n.2, 1994, pagg. 21-29.
- Boccardo P., Cina A., Manzino A., Ghidella F. – *Tecniche differenziali DGPS per il rilievo in tempo reale* – Atti della III Conferenza ASITA, Napoli, Italia, 9-12 novembre 1999.
- Cina A., Manzino A. – *Misure GPS in tempo reale: applicabilità e precisioni* – Bollettino SIFET, n.4, 2000, pagg.7-20.