

Ricevitori GPS a doppia frequenza: affidabilità di precisione nelle misure

Fabio Casciati, Clemente Fuggini
Dipartimento di Meccanica Strutturale, Università di Pavia

SOMMARIO

Un'esigenza del monitoraggio di strutture di grande luce, richiede la localizzazione in tempo reale di movimenti di punti critici della struttura. Tali spostamenti possono essere determinati mediante l'impiego di dispositivi di posizionamento satellitare GPS, in grado di fornire in tempo reale la posizione nello spazio di un qualsiasi punto preliminarmente attrezzato.

Questa memoria si propone di indagare l'affidabilità e l'accuratezza di misurazioni in tempo reale di ricevitori GPS a doppia frequenza, attraverso prove di laboratorio tese a valutare la capacità di acquisizioni da parte di ricevitori GPS degli spostamenti di punti monitorati. Tramite attuatori elettromagnetici, quali motori lineari, si inducono spostamenti noti ad oggetti ad essi solidali secondo storie temporali prefissate. Il valore di tali cambiamenti di posizione viene confrontato con quelli acquisiti in tempo reale da un ricevitore GPS la cui antenna è collocata su un perno solidale all'oggetto mosso dal motore lineare.

Le prove si pongono l'obiettivo di indagare la risoluzione perseguibile con ricevitori GPS, al fine di valutare le capacità del sistema di posizionamento satellitare nel monitoraggio strutturale.

*(Via Ferrata 1, 27100 Pavia, Italia
fabio@dipmec.unipv.it (Fabio Casciati
clemente.fuggini@unipv.it (Clemente Fuggini))*

Introduzione

Negli ultimi anni i sistemi di posizionamento satellitare (GPS, GLONASS ed il futuro GALILEO) si sono sviluppati come strumenti utilizzabili per applicazioni di monitoraggio strutturale di precisione.[1] Oggi il sistema di posizionamento satellitare americano (GPS) permette di cogliere, con adeguate frequenze di campionamento, spostamenti di oggetti in movimento con elevata accuratezza (dell'ordine dei millimetri). Tali caratteristiche hanno reso il GPS uno strumento efficace ed alternativo all'uso di accelerometri nel misurare l'ampiezza delle oscillazioni di strutture flessibili. Le applicazioni nell'ambito del monitoraggio della risposta di vibrazione hanno indagato differenti strutture quali ponti sospesi, dighe, torri e costruzioni di notevole altezza in generale [2], [3], [4], [5], [6]. La maggior parte delle applicazioni si è avvalsa dell'installazione di ricevitori GPS in punti chiave delle strutture per acquisire spostamenti statici e dinamici in tempo reale, ed in ogni circostanza ambientale [7]. In altri casi il GPS è stato incorporato, assieme ad altri strumenti, all'interno di un sistema di monitoraggio per ponti sospesi di grande luce, come nel caso dello Tsing Ma Bridge di Hong Kong [8]. L'acquisizione di coordinate spaziali di punti mediante sistema satellitare può essere effettuata con la tecnica di posizionamento differenziale mediante la quale si corregge il segnale satellitare registrato da un ricevitore mobile tramite informazioni inviate, in tempo reale (Real Time Kinematic) o in post-processamento, da un ricevitore fisso situato vicino a quello mobile. Per ottenere un'elevata precisione nelle misure è necessario utilizzare ricevitori GPS a doppia frequenza, in grado di comunicare tra di loro in tempo reale, in modalità RTK. In tal modo le informazioni (coordinate 3D di un punto) acquisite dal reference sono usate per correggere errori vari ("ritardo iono-troposferico", sfasamenti sui tempi "scanditi" da satelliti e ricevitori), in modo da aumentare l'accuratezza di misura. La precisione ottenibile dipende dal numero e dalla distribuzione geometrica dei satelliti visibili durante le osservazioni, (almeno 5 satelliti visibili in cielo con un angolo di cut-off superiore a 10°) e, soprattutto in ambito urbano, da "multipath" del segnale satellite-ricevitore [9]. In modalità RTK si utilizza un'unità GPS "reference", la cui antenna è fissa, ed un'altra "rover", la cui antenna è posta su un oggetto in movimento. Lo studio si propone di valutare la precisione delle misure GPS per un sistema che accoppia al "reference" un "rover" solidale con un motore lineare. Lo scopo è di simulare movimenti armonici durante prove sperimentali in cui l'antenna mobile si sposta, lungo una guida, in virtù di uno spostamento longitudinale indotto dal motore. Confrontando le coordinate di punti GPS con i movimenti noti si stima l'affidabilità globale del sistema di acquisizione.

1. Dispositivi e loro connessioni

Le antenne GPS devono essere disposte in modo tale da avere una libera visuale del cielo sopra di se per "agganciare" i satelliti orbitanti; l'antenna fissa e quella mobile, collocate su una superficie rigida, devono trovarsi in prossimità l'una dell'altra. Per soddisfare tali requisiti, le due antenne sono state disposte su una superficie spessa di calcestruzzo, in una posizione che garantisce la ricezione del segnale GPS da un numero di satelliti variabile durante il giorno da 6 a 9. La loro distanza è pari a circa 300cm, misura ritenuta ottimale per consentire una corretta acquisizione da parte di entrambe le unità GPS. Infatti, sebbene

la precisione dei ricevitori diminuisca all'aumentare della distanza tra gli apparecchi, varie prove eseguite in un altro lavoro degli autori [10] hanno evidenziato come una distanza inferiore a quella scelta comportasse un significativo disturbo nella ricezione del segnale.

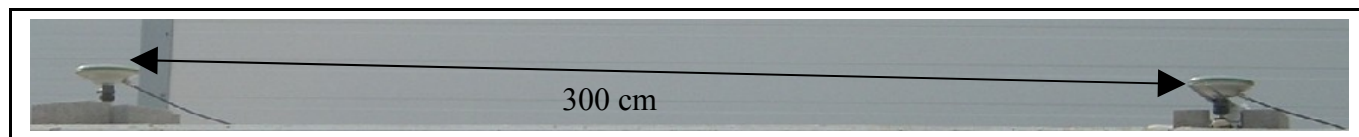


Figura 1 – Distanza tra le antenne fissa (a destra) e mobile (a sinistra)

Le due antenne sono collegate ai ricevitori tramite cavi di connessione ed altri cavi collegano i ricevitori ad un computer in cui un software gestisce le informazioni raccolte. I due ricevitori utilizzati nelle prove sperimentali sono a doppia frequenza L1/L2 GPS, la tecnica di posizionamento adottata è quella differenziale con trasmissione delle correzioni di posizione tra reference e rover in tempo reale. Per questo motivo la posizione corretta del reference viene trasmessa ad un software di acquisizione, che in tempo reale calcola gli errori di posizionamento, computa l'entità di tali distorsioni e trasmette le informazioni di posizione al rover. In questo modo si ha la possibilità di ottenere le coordinate dell'antenna mobile con precisione millimetrica. L'antenna mobile è collocata su di un perno mosso da un attuatore elettromagnetico. Si tratta di un motore lineare cui è possibile assegnare, tramite software, storie temporali di spostamento note. Le coordinate del punto, su cui è posizionata l'antenna mobile, vengono registrate e possono essere confrontate con i cambiamenti di posizione imposti al motore lineare.

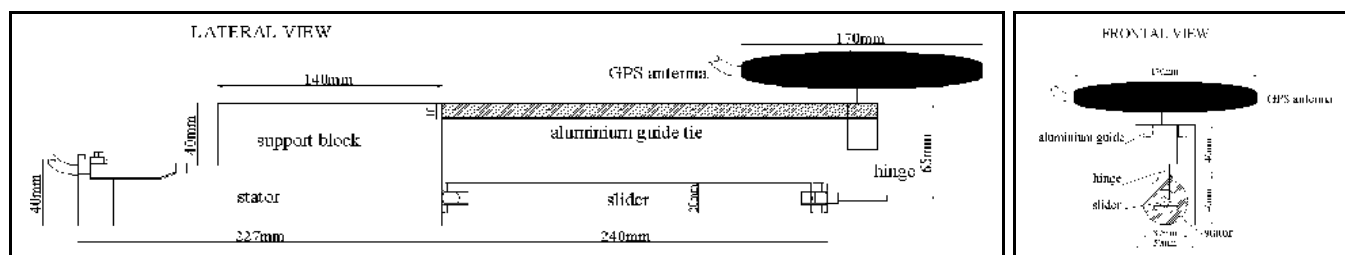


Figura 2 – Vista laterale e frontale dell'antenna GPS mobile collocata sul motore lineare

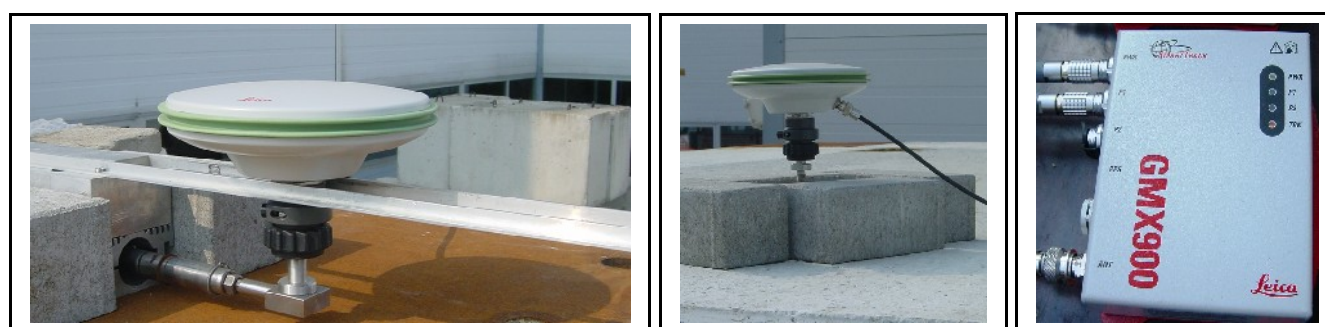


Figura 3 – Da destra a sinistra: antenna reference, antenna rover, ricevitore GMX902

1.1 Ricevitori GPS

I ricevitori a doppia frequenza utilizzati sono prodotti dalla LEICA tipo GMX902. Sono di ridotte dimensioni (16.7 x 12.3 x 4.0 cm) e peso (0,83 kg), permettono una frequenza di campionamento fino 20Hz e sono collegati con cavi ad antenne LEICA AX1202. Si tratta di antenne a doppia frequenza (L1/L2), di altezza pari a 6.2cm e diametro di 17.0cm.

Hanno un peso di 0.4 kg e sono operative in un intervallo di temperature compreso tra -40 e +70°C. In tabella 1 si riportano le principali caratteristiche tecniche dei ricevitori GPS.

Tecnologia GPS	Frequenza L1/L2, codice C/A e P
Precisione orizzontale di misura	Statica 5mm + 0.5 ppm
Precisione verticale di misura	Statica 10mm + 0.5 ppm
Frequenza aggiornamento dati	20Hz
Potenza assorbita	2.4W, in stand-by 7.2mW
Intervallo di temperatura	da -40 a +65°C
Angolo di cut-off	> 10°
Tempo acquisizione satelliti dopo accensione	30s
Tempo di reinizializzazione dopo perdita	1s

Tabella 1 – Caratteristiche tecniche GPS Leica GMX902

1.2 Motore lineare

Si tratta di un motore sincrono dinamico bifase tipo LinMot P01-37x120. Si compone di due elementi: uno statore fisso ed un cursore mobile. Lo statore è un involucro a tubo cilindrico in acciaio collegato all'unità elettronica di controllo E2000-AT ed il cursore è un pistone cilindrico in acciaio inossidabile magnetizzato in maniera permanente. Il cursore è in grado di scorrere all'interno dello statore, in cui sono contenuti il sistema di rilevamento della posizione ed i cuscinetti che permettono lo scivolamento del cursore stesso. Il movimento lineare è generato direttamente da forze elettromeccaniche senza elementi meccanici supplementari. La massima forza del motore dipende dalla posizione del cursore all'interno dello statore. La peculiarità di questo motore lineare è quella di poter controllare lo spostamento imposto tramite software di configurazione. Il movimento del cursore è prodotto da forze elettro-meccaniche che permettono di compiere spostamenti ciclici a differenti frequenze. Alla parte finale esterna del cursore è stato disposto un perno sul quale si innesta l'antenna mobile GPS. In tal modo il movimento compiuto dal cursore è lo stesso che subisce il del punto su cui è collocata l'antenna. In tabella 2 si riportano le principali caratteristiche tecniche del motore lineare.

Corsa massima	100mm
Forza di picco	122N
Forza costante	54N
Massima accelerazione	247m/s ²
Massima velocità	4m/s
Linearità (±)	0.5%
Ripetibilità di posizione (±)	0.1mm

Tabella 2 – Caratteristiche tecniche motore lineare Linmot P01-37x120

1.3 Analisi preliminari in quiete

Preliminarmente all'effettuazione di prove dinamiche con spostamenti del ricevitore mobile, è stato necessario effettuare una taratura in assenza di movimento della tolleranza di misura che il sistema GPS adottato è in grado di offrire. Tale fase permette di quantificare l'eventuale errore di posizione percepibile e quindi consente di evitare il rischio di misure erranee durante i test. La verifica della precisione dei dati di posizionamento consente di quantificare la diluizione di precisione (DOP) del segnale causata da non idonea distribuzione geometrica orbitali dei satelliti, da percorsi multipli del segnale e da interferenze elettromagnetiche. Stabilita in 300cm la distanza minima tra le due antenne GPS per la ricezione di un segnale spurio da disturbi elettronici dei ricevitori, per circa 72 ore le antenne hanno acquisito le coordinate del punto stazionato in continuo e senza variazioni di posizione. Il valore di tolleranza nelle misure, dedotto in questo periodo, può ragionevolmente essere definito in un intervallo di $\pm 0.25\text{cm}$. Questo dato è da ritenersi di riferimento, pur sottolineando come tenda a ridursi all'aumentare della durata delle acquisizioni statiche ed in generale al periodo di tempo trascorso dalla prima acquisizione.

I test dinamici successivi si sono posti l'obiettivo di investigare due aspetti: il primo è la precisione nel posizionamento che il GPS è in grado di fornire per i movimenti armonici di diversa ampiezza; il secondo la capacità del GPS di acquisire lo spostamento che avviene a differenti frequenze. I test hanno consentito di valutare l'affidabilità del GPS nel cogliere con precisione misure di spostamenti, acquisiti a 20Hz, di variabile ampiezza ($\pm 0.5\text{-}10\text{cm}$) e frequenza (0.1-2Hz).

2. Test sperimentali

Preliminarmente ai test dinamici, la fase di calibratura statica ha consentito di individuare oscillazioni nelle misure rispetto ad una condizione di assenza di movimento del ricevitore mobile. Il risultato ha mostrato come la tolleranza nell'acquisizione delle coordinate di punti fosse quantificabile in $\pm 0.25\text{cm}$ rispetto allo zero. In figura 4 si riporta l'andamento delle oscillazioni in assenza di movimento acquisite dal GPS per la componente longitudinale dello spostamento.

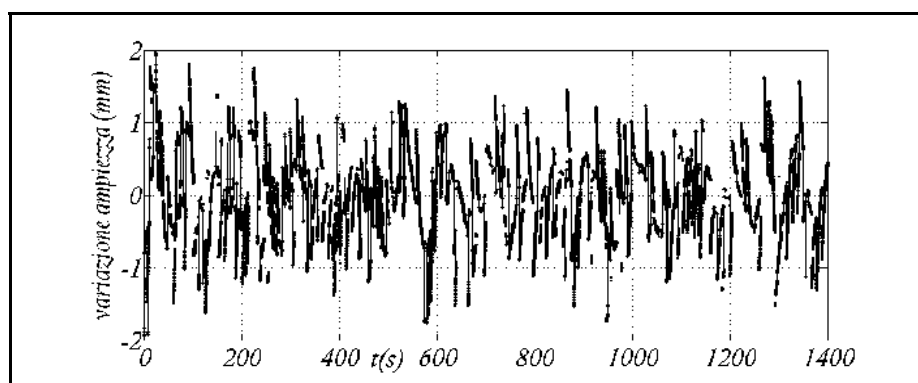


Figura 4 – Storia temporale oscillazioni posizione GPS in assenza di movimento

Le successive prove dinamiche si sono svolte secondo la logica di testare l'accuratezza del GPS per differenti combinazioni di frequenza e di ampiezza dei movimenti sinusoidali imposti secondo storie temporali prestabilite. Le coordinate tridimensionali del punto su cui si trova il ricevitore mobile sono state acquisite con frequenza di campionamento pari a

20Hz, successivamente analizzate, processate e comparate al loro valore reale noto dai movimenti imposti al motore lineare. L'acquisizione dei dati GPS in tempo reale è avvenuta tramite il software Spider prodotto da Leica Geosystems, che permette ad intervalli di tempo prestabiliti di creare pacchetti di dati GPS confrontabili con i dati del software che gestisce il motore. In tal modo si ottiene, in tempo reale, una corrispondenza tra il movimento che l'antenna GPS sta seguendo e quello che realmente le viene imposto. Le prove si sono svolte in un arco temporale compreso in una quindicina di giorni a partire dall'installazione del sistema satellite, i risultati ottenuti nei test dinamici hanno evidenziato comportamenti differenti del GPS a seconda dell'entità dello spostamento assegnato e della frequenza di tale movimento. In particolare la frequenza del movimento imposto dal motore lineare è stata variata in un intervallo compreso tra 0.1Hz e 4Hz.; l'ampiezza degli spostamenti, per ognuna delle frequenze di moto considerate, è stata fatta variare da $\pm 0.25\text{cm}$ a $\pm 6.5\text{cm}$. La tabella 3 mostra le combinazioni significative di ampiezze e frequenze per i test dinamici svolti.

Tramite una serie successiva di grafici si propone una sintesi delle prove effettuate. Per ciascun grafico si riportano le storie temporali degli spostamenti acquisiti dal ricevitore GPS mobile e quelle reali acquisite dal motore lineare ed imposte all'antenna. Dal confronto delle due curve ottenute risulta possibile trarre interessanti considerazioni sulla precisione riscontrabile con il sistema di posizionamento GPS.

Frequenza (Hz)	<i>0.1</i>	<i>0.2</i>	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>4</i>
Ampiezza (cm)	<i>0.5</i>	<i>1</i>	<i>1.5</i>	<i>2.5</i>	<i>3.5</i>	<i>6.5</i>

Tabella 3 – Intervalli di frequenze e ampiezze per i test dinamici effettuati

Le figure 5 e 6 mostrano l'andamento di storie temporali di spostamenti longitudinali del motore lineare registrate dal GPS. Nella figura 5 in particolare si nota la capacità del GPS di reagire a cambiamenti di movimento in ampiezza e frequenza.

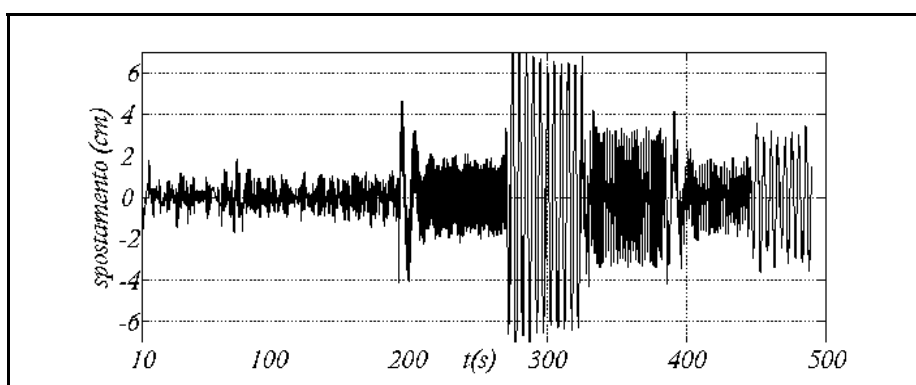


Figura 5 – Storia temporale spostamenti GPS: variazione frequenza (0.2-1Hz) e ampiezze (1-12.5cm)

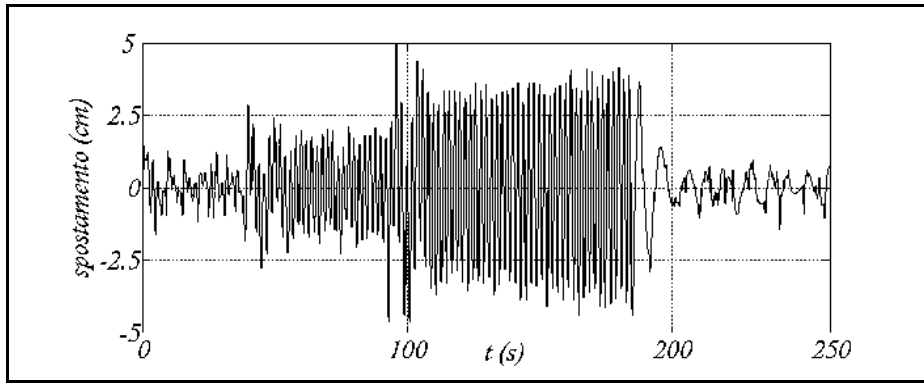


Figura 6 – Storia temporale spostamenti GPS: frequenza 0.5Hz, ampiezze 1-10cm

Le figure 7, 8, 9 e 10 riportano la comparazione degli spostamenti imposti al motore lineare (linea tratteggiata) con quelli che l'antenna GPS registra (linea continua). Si tratta, in questo caso di un movimento di ampiezza $s \pm 0.75\text{cm}$ e di frequenza f variabile secondo i valori rispettivamente di 0.1Hz, 0.5Hz, 1.0Hz, 2Hz. Il GPS mostra una maggiore capacità di cogliere correttamente il moto dell'antenna per frequenze inferiori a 1Hz.

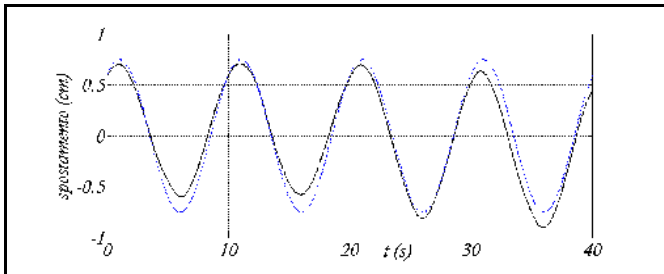


Figura 7 – $s=\pm 0.75\text{cm}$, $f=0.1\text{Hz}$ (GPS e motore)

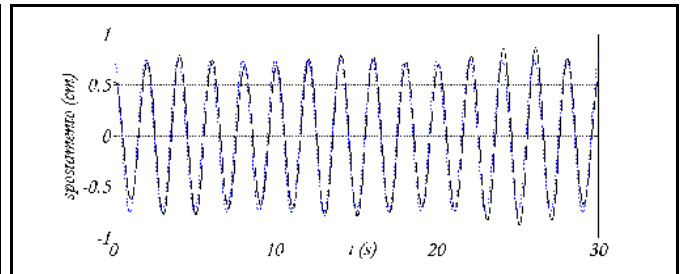


Figura 8 – $s=\pm 0.75\text{cm}$, $f=0.5\text{Hz}$ (GPS e motore)

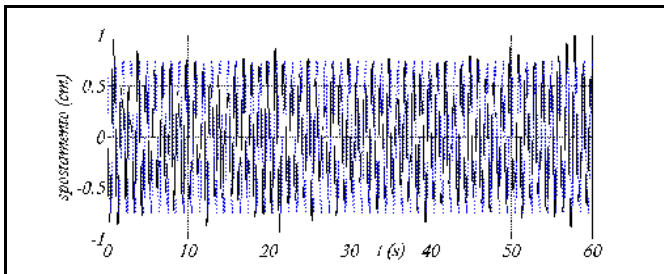


Figura 9 – $s=\pm 0.75\text{cm}$, $f=1.0\text{Hz}$ (GPS e motore)

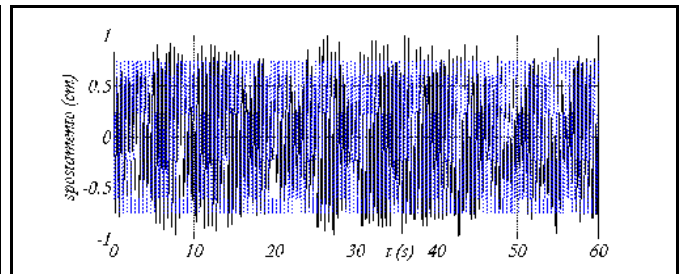


Figura 10 – $s=\pm 0.75\text{cm}$, $f=2.0\text{Hz}$ (GPS e motore)

Le figure 11, 12, 13 e 14 si riferiscono a spostamenti di ampiezza $s \pm 1.25\text{cm}$ imposti dal motore lineare (linea tratteggiata) e registrati dal GPS (linea continua). Le frequenze f dei movimenti sono 0.1Hz, 0.5Hz, 1.0Hz, 2Hz. Rispetto all'oscillazione di $\pm 0.75\text{cm}$ nel caso di spostamenti longitudinali di $\pm 1.25\text{cm}$ il GPS fornisce un'ottima lettura anche per frequenze di 1Hz.

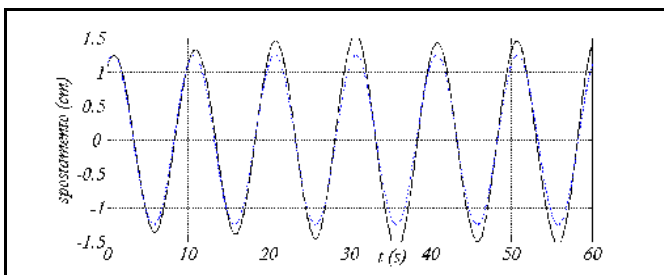


Figura 11 – $s=\pm 1.25\text{cm}$, $f=0.1\text{Hz}$ (GPS e motore)

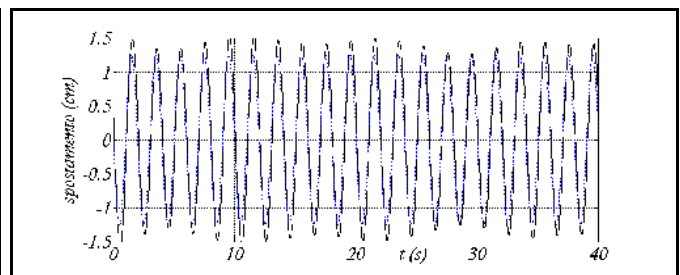


Figura 12 – $s=\pm 1.25\text{cm}$, $f=0.5\text{Hz}$ (GPS e motore)

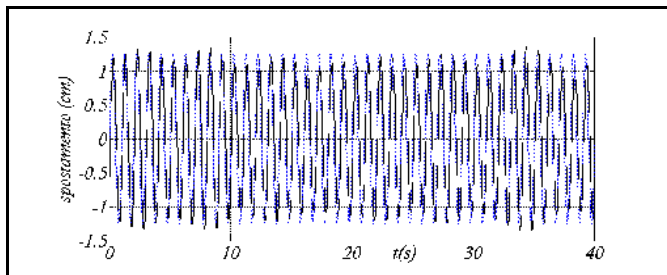


Figura 13 – $s=\pm 1.25\text{cm}$, $f=1.0\text{Hz}$ (GPS e motore)

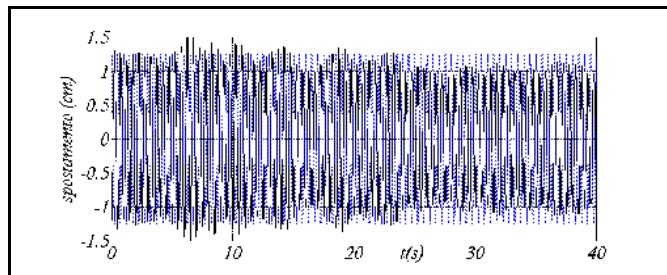


Figura 14 – $s=\pm 1.25\text{cm}$, $f=2.0\text{Hz}$ (GPS e motore)

Nelle figure 15, 16, 17 e 18 si riportano le storie temporali degli spostamenti registrati dal GPS mobile (linea continua) al variare dell'ampiezza dei movimenti imposti dal motore (linea tratteggiata), mantenendo costante la frequenza delle oscillazioni. In particolare la frequenza f è di 1Hz, mentre lo spostamento s assume i valori rispettivamente di $\pm 0.25\text{cm}$, $\pm 0.75\text{cm}$, $\pm 1.25\text{cm}$, $\pm 1.75\text{cm}$. Dai dati raccolti emerge come gli spostamenti che vengono colti con precisione siano quelli maggiori di $\pm 0.75\text{cm}$.

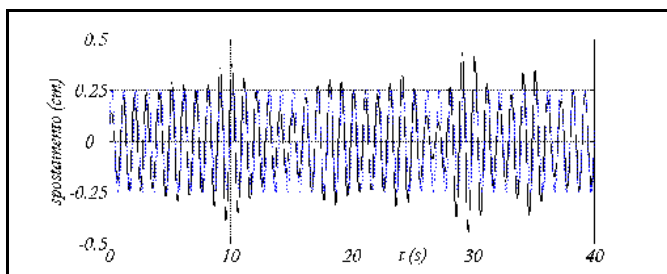


Figura 15 – $f=1\text{Hz}$, $s=\pm 0.25\text{cm}$ (GPS e motore)

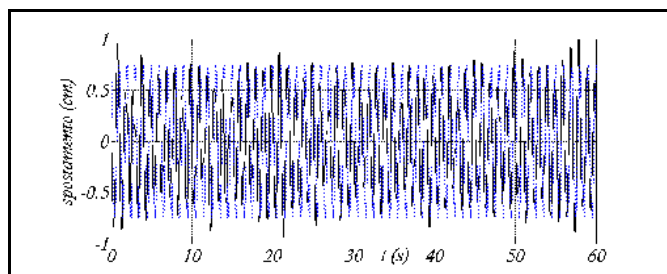


Figura 16 – $f=1\text{Hz}$, $s=\pm 0.75\text{cm}$ (GPS e motore)

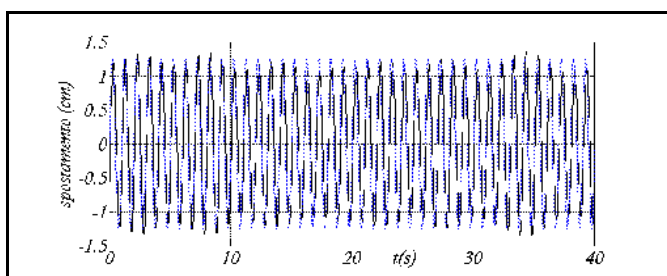


Figura 17 – $f=1\text{Hz}$, $s=\pm 1.25\text{cm}$ (GPS e motore)

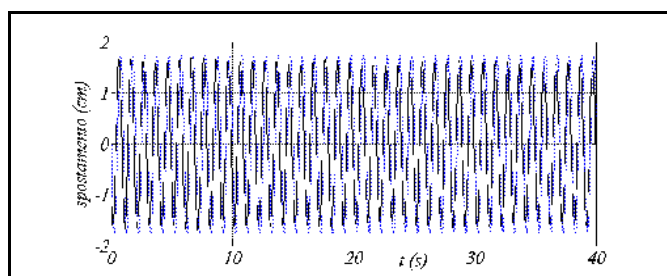


Figura 18 – $f=1\text{Hz}$, $s=\pm 1.75\text{cm}$ (GPS e motore)

Le figure successive 19, 20, 21, 22 si riferiscono a registrazioni di posizioni assunte nel tempo dall'antenna GPS mobile (linea continua), confrontate con quelle reali del motore lineare (linea tratteggiata), per movimenti a frequenza f costante di 0.5Hz e per ampiezze s di $\pm 0.50\text{cm}$, $\pm 0.75\text{cm}$, $\pm 1.25\text{cm}$ e $\pm 1.75\text{cm}$. Le immagini mostrano in maniera evidente l'affidabilità del GPS testato nell'acquisire con precisione spostamenti a partire da $\pm 0.50\text{cm}$ con frequenza di 0.5Hz.

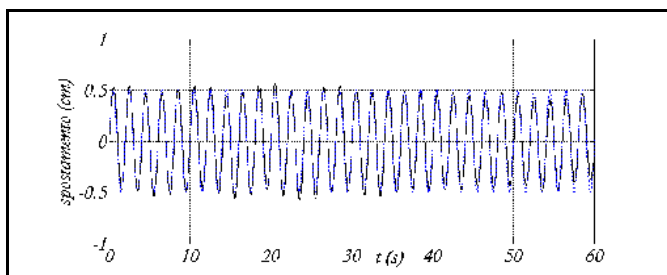


Figura 19 – $f=0.5\text{Hz}$, $s=\pm 0.50\text{cm}$ (GPS e motore)

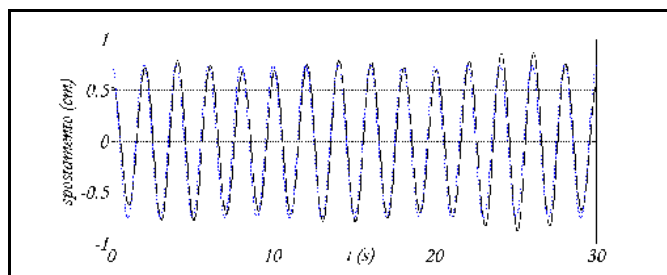


Figura 20 – $f=0.5\text{Hz}$, $s=\pm 0.75\text{cm}$ (GPS e motore)

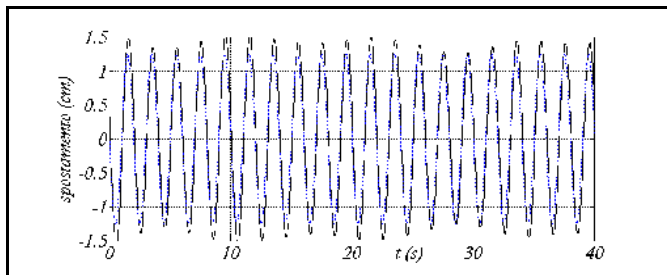


Figura 21– $f=0.5\text{Hz}$, $s=\pm 1.25\text{cm}$ (GPS e motore)

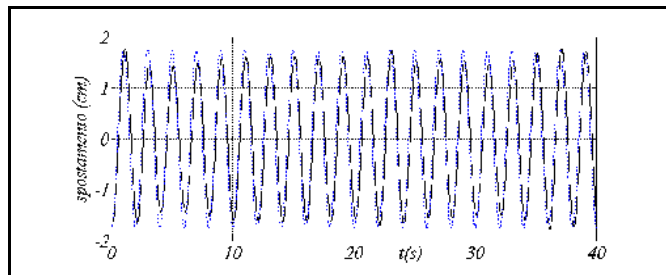


Figura 22– $f=0.5\text{Hz}$, $s=\pm 1.75\text{cm}$ (GPS e motore)

I risultati sperimentali riportati nelle figure precedenti vengono sintetizzati in tabella 4, evidenziando le massime differenze percentuali tra gli spostamenti reali imposti dal motore lineare all'antenna mobile e quelli acquisiti dal ricevitore GPS. Le figure successive mostrano graficamente tali massime differenze in termini di spostamento nel caso di ampiezza del movimento indotto s di 15mm e frequenze di 0.1-0.5-1-2Hz (figura 23) e nel caso di s pari a 25mm a diverse frequenze di 0.1-0.5-1-2Hz (figura 24). In entrambe le figure i pallini quadri si riferiscono ai dati del motore, quelli tondi ai dati GPS.

Frequenze spostamenti (Hz)	Ampiezza spostamenti reali (mm)	Massime ampiezze spostamenti letti GPS (mm)	Massima variazione percentuale GPS - motore (%)
0.1	15	12	- 20
	25	30	+ 20
0.5	10	8.6	- 14
	15	17.4	+ 16
	25	29.6	+ 18.4
1	35	30	- 14.3
	5	3.2	- 36
	15	12	- 20
	25	21.4	- 14.4
2	35	31	- 11.4
	15	17.4	+ 16
	25	19.4	- 22.4

Tabella 4 – Variazioni percentuali ampiezze spostamenti GPS-motore lineare nei test dinamici effettuati

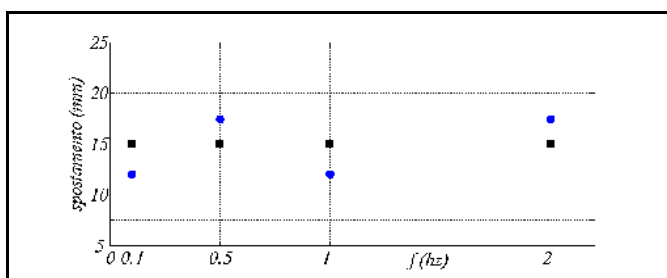


Figura 23– $f=0.1, 0.5, 1, 2\text{Hz}$, $s=15\text{mm}$ (GPS e motore)

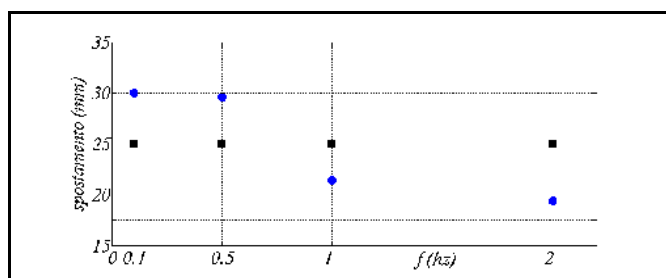


Figura 24– $f=0.1-0.5-1-2\text{Hz}$, $s=25\text{mm}$ (GPS e motore)

Conclusione

Il lavoro si occupa di analizzare il livello di accuratezza nelle misure di movimenti dinamici realizzabile con ricevitori GPS a doppia frequenza. Si sono eseguiti diversi test, per storie temporali di spostamento note, allo scopo di valutare la precisione del sistema

GPS secondo la modalità di posizionamento cinematica in tempo reale (RTK). Il risultato principale emerso è che, con una tolleranza quantificabile in $\pm 0.25\text{cm}$, il GPS riesce a monitorare oscillazioni armoniche di ampiezza superiore a 1.0cm . Al tempo stesso però la precisione ottenibile tende a diminuire per movimenti di frequenza maggiore a 2Hz . Le prove svolte confermano come il GPS risulti uno strumento promettente nel campo del monitoraggio strutturale e che l'accuratezza a tutt'oggi offerta sia in linea con i requisiti necessari per il monitoraggio di strutture flessibili.

Ringraziamenti

La ricerca è stata finanziata dal fondo FAR (Fondo Ateneo Ricerca) dell'Università di Pavia di cui è responsabile la professoressa Lucia Faravelli. Gli autori ringraziano la Leica Geosystems Italia per l'installazione del sistema GPS e per l'assistenza tecnica.

Bibliografia

1. C. Ogaja et al. – “Advances in structural monitoring with Global Position System technology: 1997-2006”, Journal of applied geodesy, submitted 2006
2. J. Barnes, J. Van Cranenbroeck - “The potential of a ground based transceivers network for water dam deformation monitoring”, International conference Hydropower, Kunming, 23-25 October, 2006, pp. 765-795.
3. N.E. Cazzaniga et al. - “Structural monitoring with GPS and accelerometers: the chimney of the power plant in Piacenza, Italy”, 3rd IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering and 12th FIG Symposium on Deformation Measurements, Baden, 22-24 May, 2006.
4. T.L. Kijewsji-Correa, A. Kareem - “The Chicago monitoring project: a fusion of information technologies and advanced sensing for civil infrastructures”, Proceedings of 1th International Conference on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, 13-15 November, 2003, Editions Wu & Abe, pp. 1003-1010.
5. A. Nickitopoulou et al. - “Experimental assessment of the accuracy of RTK-GPS for monitoring movements/oscillations of flexible engineering structures”, Proceedings 11th FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, 25-28 May, 2003.
6. A. Nickitopoulou, K. Protopsalti K., S. Stiros - “Monitoring dynamic and quasi-static deformations of large flexible engineering structures with GPS: accuracy, limitations and promises”, Engineering Structures, 2006, vol. 28, pp. 1471-1482.
7. Y. Tamura et al. – “Measurement of wind induced response of building using RTK-GPS”, Journal of wind engineering and industrial aerodynamics”, 2002, vol. 90, pp. 1783-1793.
8. K.Y. Wong - “Instrumentation and health monitoring of cable-supported bridges”, Structural Control and Health Monitoring, 2004, vol. 11, pp. 91-124.
9. T.L. Kijewsji-Correa, M. C. Kochly - “Practical considerations for global position system in urban zones”, 4th World Conference on Structural Control and Monitoring, University of California, San Diego, 11-13 Luglio, 2006, n° 029.
10. Casciati F., Fuggini C., Bonanno C. - “Dual frequency GPS receivers: reliability of precision of the measures”, submitted to 4^{ème} colloque en Interdisciplinaire en Instrumentation, 17-19 ottobre, Nancy, Francia