

IL POSIZIONAMENTO GPS AD UNA VIA BASATO SUL SISTEMA STARFIRE TEST SPERIMENTALI IN MODALITA' STATICA E CINEMATICA

Andrea Chiorboli – Marco Gatti

Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara, via Saragat 1 – 44100 Ferrara.

E-mail: mgatti@ing.unife.it

Lavoro finanziato con in contributi Cofin 2002. Responsabile nazionale Prof. Giorgio Manzoni.

Riassunto. L'articolo descrive i test di laboratorio e le prove di campagna eseguiti con il sistema VBS "StarFire", commentandone i risultati sia in termini operativi che in termini di accuratezze nel posizionamento tridimensionale. I risultati confermano sia l'operatività del sistema, che le accuratezze di posizionamento fornite dalla letteratura anglosassone.

Abstract. This article describes some laboratory and field tests, carried out with the "Starfire" VBS system. The results are commented both over practical aspects and accuracy aspects in the three dimensional positioning. The final results confirm both functional aspects and positioning accuracies reported by Anglo-Saxon literature.

Parole chiave: VBS; VRS; StarFire, NavCom.

INTRODUZIONE

La possibilità di fornire un servizio di correzione differenziale GPS in tempo reale svincolandosi dalla presenza di un ricevitore Master, può essere raggiunta solo a partire da informazioni acquisite dalle stazioni permanenti ed elaborate da un comune centro di calcolo.

Tali informazioni hanno infatti la possibilità di produrre, in tempo reale, la modellazione degli effetti sistematici propri del posizionamento "stand alone", consentendo ad un utente che si trovi all'interno del perimetro da esse delimitato, posizionamenti autonomi, detti anche ad una via, con accuratezze centimetriche. E' il caso delle VBS o delle VRS, rispettivamente acronimo di Virtual Base Station e di Virtual Reference Station. Senza entrare troppo nel dettaglio e rimandando alla bibliografia (Wuebenna et al., 2001; Cina et al., 2003; Pugliano et al., 2004), possiamo dire che si tratta di reti di stazioni permanenti localizzate in ambito regionale, che inviano ad un centro di controllo le informazioni acquisite da una costellazione di satelliti. Il centro di controllo elabora queste informazioni, determinando gli errori (d'orbita e di atmosfera) di cui è affetto il posizionamento "stand alone" e li irradia agli utenti mobili, che in tal modo possono determinare la loro posizione precisa. Nella variante VRS il ricevitore mobile trasmette la sua posizione "stand alone" al centro di calcolo e ne riceve sia le correzioni differenziali che le informazioni di modello interpolate, ovvero virtualmente generate da una stazione di base posta nella posizione equivalente a quella fornita dallo "stand alone".

Un sistema VBS è il sistema StarFire (Hatch et al., 2002). Il sistema StarFire è un sistema Wide-Area gestito privatamente dalla NavCom Technology Inc. e dalla John Deere, che lo hanno concepito per le applicazioni navigazionali, in particolare per il posizionamento di flotte di macchine operatrici (Sharpe et al, 2000). In questo momento il sistema sta conoscendo anche in Italia un utilizzo, soprattutto in campo topografico e geodetico (Bortuzzo, 2003).

Nell'ambito di un'attività di ricerca volta a sperimentare ed a valutare la qualità del segmento di posizionamento di una flotta di macchine operatrici (Gatti e Malaguti, 2003), il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, ha condotto alcune prove di laboratorio e di campagna sul sistema di posizionamento StarFire. In questo articolo, dopo una breve descrizione del sistema, vengono commentati i risultati ottenuti dalle prove, sia in termini operativi che in termini di accuratezze nel posizionamento tridimensionale.

1. IL SISTEMA VBS STARFIRE

Il sistema Virtual Base Station “StarFire” è costituito da una rete di stazioni GPS terrestri, distribuite in 5 continenti. Ciascuna di esse invia i dati GPS e le informazioni di integrità dei satelliti in vista, a due centri di calcolo. I centri lavorano in maniera autonoma, combinando i dati giunti da tutte le stazioni, per generare delle correzioni differenziali. Le correzioni vengono inviate alle stazioni di trasmissione e da queste ad alcuni satelliti di telecomunicazione¹, che le ritrasmettono, attraverso la banda L, agli utilizzatori. Il sistema VBS della StarFire è composto dal segmento di controllo, dal segmento di trasmissione e dal segmento di utilizzo (Figura 1).

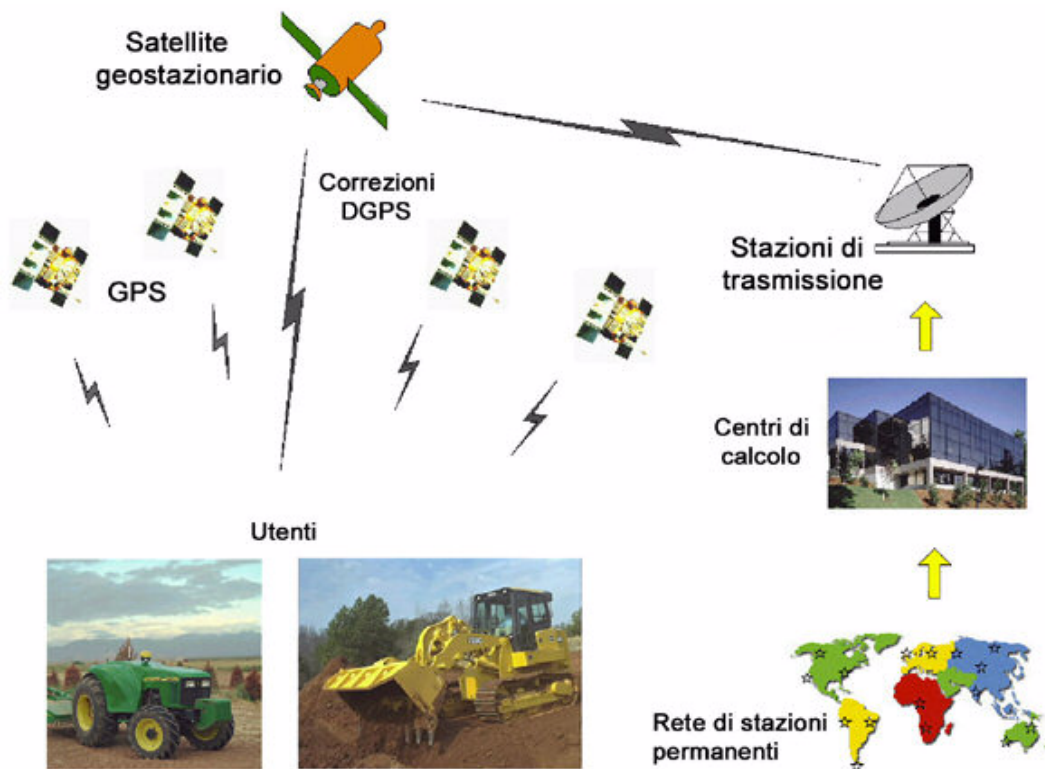


Figura 1. Schema del sistema StarFire (da Hatch et al., 2002).

Il segmento di controllo è costituito da una cinquantina di stazioni GPS, due centri di calcolo ed un centro di trasmissione dei dati ai satelliti. Ciascuna stazione è dotata di due ricevitori NavCom NCT2000D, a doppia frequenza, collegati ad entrambi i centri di calcolo, da dispositivi di comunicazione (modem ISDN, routers, ecc.) e da gruppi di continuità e di controllo remoto dell'alimentazione. Le stazioni operano in modo indipendente, ricevendo il segnale dai satelliti ed inviando i risultati del posizionamento ai centri di calcolo. Oltre alle correzioni differenziali in codice e fase, i risultati includono la qualità del segnale satellitare GPS e L-band, alcuni valori statistici di errore, l'età delle correzioni differenziali, il PDOP ed altri parametri. Questi dati sono controllati da un servizio automatico di allertamento il quale, nel caso di avarie nel sistema, invia messaggi via internet, telefonici e fax al personale del servizio di manutenzione.

Una delle caratteristiche innovative del sistema è rappresentato dall'algoritmo WCT (Wide Area Correction Transform). Utilizzando 1) i dati in doppia frequenza, sia sui codici che sulle portanti, osservati in tempo reale dai satelliti in vista su ciascuna stazione fissa, 2) le effemeridi trasmesse e ricevute dalle stazioni fisse in tempo reale, 3) le coordinate dei centri di fase delle antenne delle

¹ Tecnicamente la possibilità di trasmettere la correzione differenziale è assicurata da un nuovo segnale, disponibile ovunque ed in modo costante grazie ai satelliti geostazionari InMarsat.

stazioni fisse, l'algoritmo WCT calcola i valori di "pseudorange" corretti dagli effetti ionosferici e troposferici e virtualmente privi da errori di multipath. Questi valori vengono ulteriormente liscati dagli errori di "offset" degli orologi dei ricevitori generando, infine, la media pesata delle correzioni di "pseudorange" di ciascun satellite, dette "correzioni di pseudorange *wide area*". L'insieme delle correzioni viene convertito in messaggio binario compresso ed inviato ai satelliti geostazionari del sistema. Un ricevitore "rover" in doppia frequenza riceve nell'area continentale in cui si trova il messaggio di correzione differenziale e lo applica alla sua posizione "stand alone", ottenendo precisioni di posizionamento maggiori ed uniformi.

I vantaggi che conseguono dalla possibilità di utilizzare un messaggio DGPS WIDE AREA sono:

- minima necessità di larghezza di banda nella trasmissione da satellite geostazionario. Questo comporta una notevole riduzione dei costi nell'uso del satellite geostazionario, poiché i canoni di utilizzo sono proporzionali alla potenza necessaria nella trasmissione, la quale è legata alla larghezza di banda;
- gestione da parte di un unico centro di calcolo dell'algoritmo di generazione delle correzioni. Questo fornisce la possibilità di aggiornare e migliorare l'algoritmo nei soli centri di controllo, senza dover modificare il firmware degli utenti finali, come avviene nella tecnica RTK classica.

Negli ultimi anni, da una collaborazione scientifica con il JPL della Nasa (Hudson et al. 2001), è nato un sistema di calcolo basato sul codice GIPSY, in grado di produrre, in tempo reale, messaggi di correzioni GPS di alta qualità, in formato idoneo alla trasmissione agli utenti finali.

I punti chiave del sistema, denominato Real Time GIPSY (RTG), sono i seguenti:

- 1) stima degli errori di ciascun satellite GPS, ricalcolate ogni pochi secondi;
- 2) correzioni delle orbite dei satelliti GPS aggiornate ogni pochi minuti, grazie alla distribuzione delle stazioni di riferimento;
- 3) elaborazione dei dati provenienti via Internet dalla rete mondiale JPL, costituita da 23 stazioni di riferimento.

I vantaggi derivanti dalla sinergia dei due algoritmi WCT e RTG possono essere così riassunti:

- 1) le correzioni sugli errori degli orologi e delle orbite dei satelliti hanno valenza assoluta, questo significa che i set di dati calcolati per ciascun satellite sono applicabili agli utenti ovunque essi siano posti;
- 2) la *accuracy* ottenuta dai ricevitori GPS in doppia frequenza degli utenti finali (1σ) è dichiarata in circa 10 cm.

Il segmento di utilizzo (Figura 2) è costituito da un'antenna multi-funzione in grado di ricevere il segnale GPS ed i segnali Inmarsat. L'antenna è stata concepita per funzionare anche con angoli ridotti di elevazione del satellite geostazionario di trasmissione, ampliando in tal modo l'area di funzionamento; da un ricevitore in L-band che registra e converte il messaggio StarFire proveniente dai satelliti geostazionari e da un ricevitore GPS in doppia frequenza NavCom utilizzabile anche per rilevamenti GPS classici. I due ricevitori sono integrati in un unico elemento.

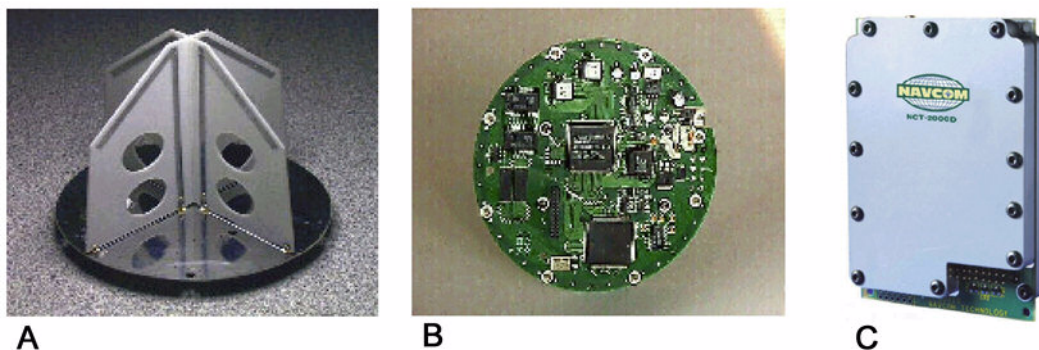


Figura 2. Segmento di utilizzo. A) Antenna Tri-band; B) Ricevitore L-band per la ricezione del messaggio StarFire. E' assemblato con l'antenna GPS. C) Ricevitore GPS NavCom.

E' il caso di sottolineare che, al fine di accelerare l'acquisizione del segnale StarFire, il ricevitore NavCom invia al ricevitore in L-band un messaggio di sincronizzazione per la calibrazione degli oscillatori.

2. LA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Durante i test sperimentali eseguiti presso l'Università di Ferrara, è stata utilizzata la seguente strumentazione (Figura 3):

- un ricevitore NavCom SF-2050M a 12 canali L1 & L2 e C/A, P1 & P2, di cui due dedicati al sistema WAAS/EGNOS. Nel funzionamento "Rover-RTK" è possibile la codifica dei messaggi RTCM 2.2. e CMR; l'intervallo minimo di campionamento nella versione che è stata utilizzata è di 1 secondo;
- una antenna per la ricezione dei segnali GPS e StarFire;
- un palmare iPAQ 3970 con software italiano PfGPS, specificatamente realizzato per l'utilizzo con il sistema StarFire.



Figura 3. Strumentazione utilizzata nelle prove: antenna, ricevitore NavCom SF-2050M, palmare con software PfGPS. Nel riquadro i "led" relativi alla qualità del collegamento StarFire e quelli associati al posizionamento GPS.

3. DESCRIZIONE DEI TEST

3.1 Test preliminari

Al fine di verificare la ripetibilità del posizionamento in tempo reale, si è effettuato un primo test in modalità statica, ponendo l'antenna del ricevitore StarFire su un vertice di coordinate note (Figura 4). Il vertice è materializzato sul tetto del Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, a fianco dell'antenna della stazione permanente GPS. Le sue coordinate sono note con precisione centimetrica.



Figura 4. Monumentazione della stazione GPS di Ferrara. In evidenza l'antenna del ricevitore StarFire.

La registrazione delle posizioni statiche è stata gestita mediante il software PFGPS residente su palmare Compaq iPAQ, collegato con una porta seriale del ricevitore. Il software PFGPS visualizza le coordinate GPS associando a ciascun epoca un indice di qualità globale. Tale indice prevede valori compresi fra 1 (posizionamento pessimo) e 10 (posizionamento ottimo). Il ricevitore (Figura 3) è dotato di due blocchi costituiti ciascuno da tre led luminosi. Il primo blocco indica la qualità del segnale della trasmissione delle correzioni differenziali, mentre il secondo è associato alla tipologia del posizionamento in atto (autonomo, con correzioni EGNOS, con correzioni StarFire). Quest'ultima informazione è presente pure nella schermata di PFGPS.

All'accensione del ricevitore si assiste al susseguirsi, con cadenza di circa un minuto fra un evento ed il successivo, del posizionamento autonomo GPS, della ricezione e del posizionamento attraverso il segnale EGNOS e del definitivo aggancio del segnale StarFire. L'intero processo richiede, in campo aperto, circa tre minuti. Pertanto, durante l'elaborazione dei dati del posizionamento statico si sono esclusi i primi dieci minuti di registrazione, al fine di ottenere posizioni derivanti esclusivamente dal sistema StarFire.

Per questo test, eseguito nel settembre 2003, sono state effettuate in tutto 6 prove, con durata variabile fra 1 e 48 ore ed intervalli di campionamento di 1, 5 e 30 secondi. Nella tabella 1 vengono presentati i risultati riportando, insieme alla durata della sessione di registrazione ed all'intervallo di campionamento, la differenza tra le coordinate del vertice note a priori e quelle medie registrate ed il fattore di qualità. Le differenze ed i loro eqm sono espresse nella terna topocentrica.

Prova	Durata	Intervallo di campionamento (secondi)	$\delta N \pm \sigma_{\delta N}$ (m)	$\delta E \pm \sigma_{\delta E}$ (m)	$\delta U \pm \sigma_{\delta U}$ (m)	Fattore di qualità medio
1	3607 s	1	$-0,04 \pm 0,12$	$0,11 \pm 0,04$	$0,24 \pm 0,08$	9,79
2	3241 s	1	$-0,06 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,04$	$0,15 \pm 0,07$	8,27
3	3464 s	1	$0,08 \pm 0,04$	$-0,19 \pm 0,18$	$0,45 \pm 0,30$	9,76
4	5192 s	1	$-0,01 \pm 0,01$	$-0,04 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,03$	9,82
5	15,4 h	5	$-0,05 \pm 0,06$	$0,07 \pm 0,09$	$0,32 \pm 0,13$	9,82
6	47,5 h	30	$-0,04 \pm 0,06$	$0,08 \pm 0,06$	$0,25 \pm 0,13$	9,41

Tabella 1. Risultati dei test statici preliminari.

Le precisioni delle componenti planimetrica ed altimetrica risultano in linea con quelli riportati in letteratura (Sharpe et al.,2000; Hatch et al., 2002).

Infine, a testimoniare che il sistema è a regime dopo circa 10 minuti di acquisizioni, si riportano nelle figure 5, 6 e 7 le dispersioni delle coordinate Nord-Est e la variazione della quota. La registrazione ha una durata di circa 1 ora. In particolare nella figura 5 il grafico di dispersione si riferisce a tutte le misure registrate; nella figura 6 sono stati eliminati i primi dieci minuti di registrazione.

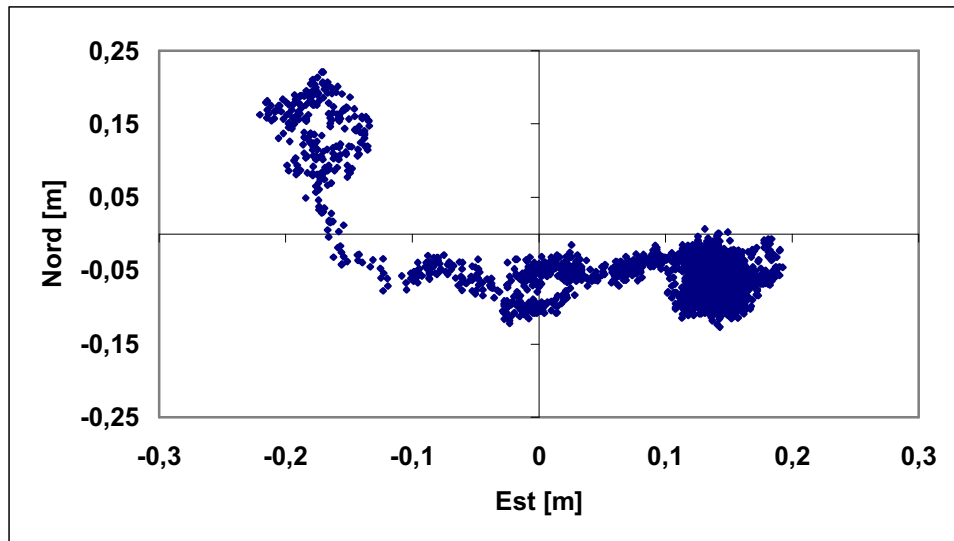


Figura 5. Visualizzazione dei risultati di uno dei test statici. Dispersioni delle coordinate registrate rispetto a quelle del vertice. Prova statica con durata di circa 1 ora.

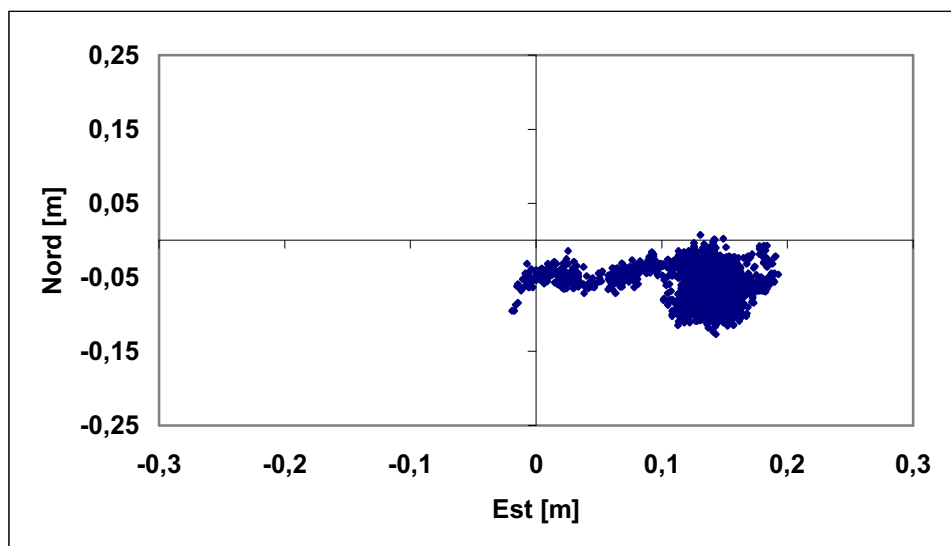


Figura 6. Visualizzazione dei risultati del test precedente, eliminando i primi 10 minuti di campionamento.

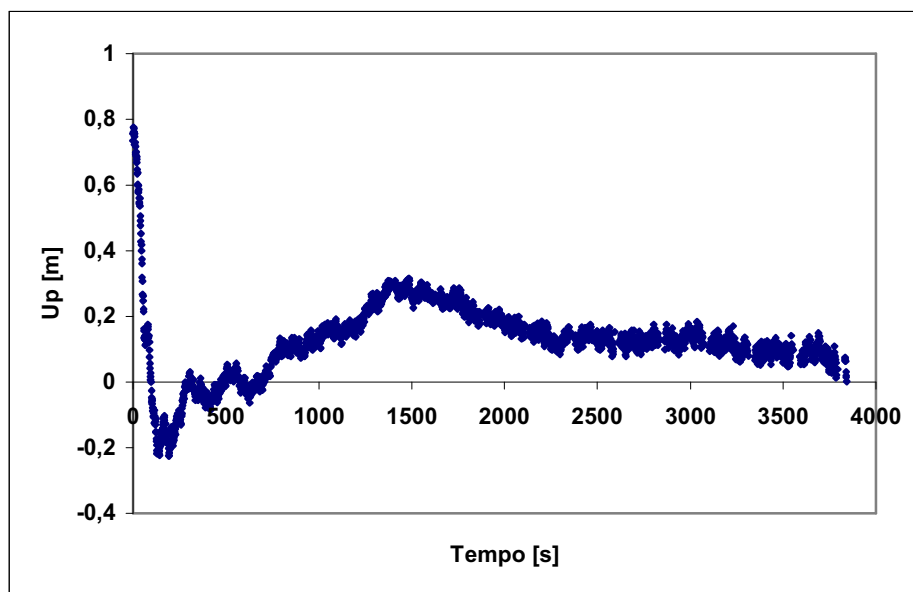


Figura 7. Andamento della quota misurata dal ricevitore StarFire rispetto alla quota nota a priori del vertice.

3.2 Test in modalità cinematica

Nella prima prova, l'antenna del ricevitore GPS StarFire è stata resa solidale alla parte mobile di un carrello elevatore (Figura 8). Il carrello è in grado di effettuare una traslazione utile, dal fine corsa inferiore al fine corsa superiore, di circa 3 m. Sono state effettuati 10 cicli di misurazione, ciascuno dei quali costituito da:

- 1) circa 20 epoche di registrazione statiche, ottenute con l'antenna ferma nel fine corsa superiore;
- 2) una traslazione verso il fine corsa inferiore alla velocità mediadi 20 cm/s;
- 3) un ritorno al fine corsa superiore, alla medesima velocità.

Per tutta la prova, l'intervallo di campionamento è stato impostato ad 1 secondo.

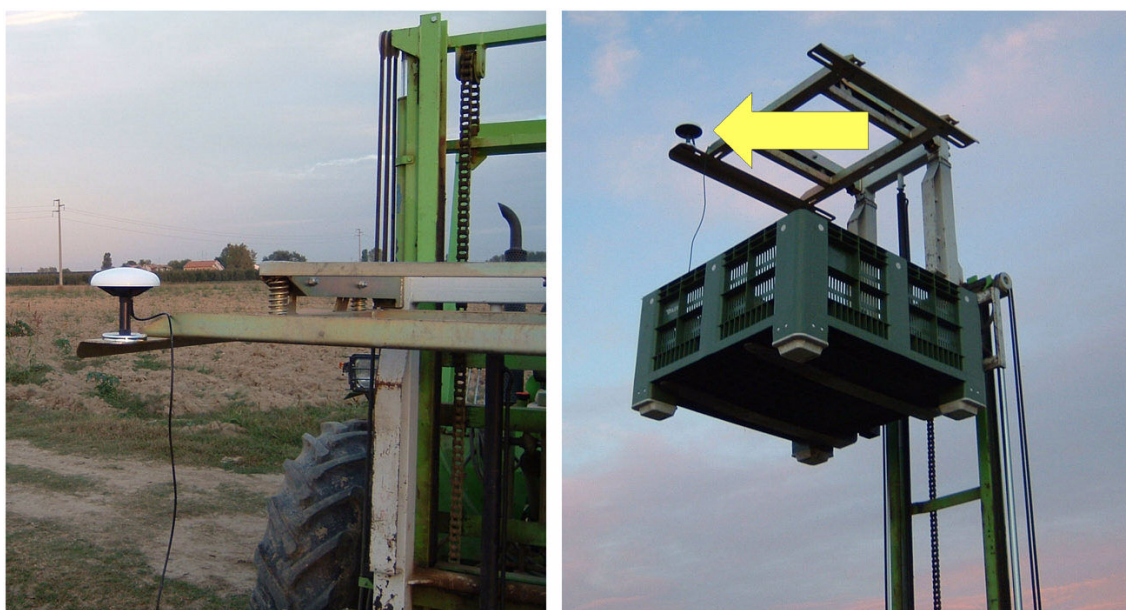


Figura 8. La prova su carrello elevatore.

Nella prova è stata analizzata la ripetibilità delle coordinate registrate dal ricevitore nella posizione del fine corsa superiore, occupato all'inizio di ciascun ciclo (Figura 9).

Le deviazioni standard rispetto alla media del campione di coordinate istantanee, espresse in coordinate topocentriche, sono riportate nella Tabella 2.

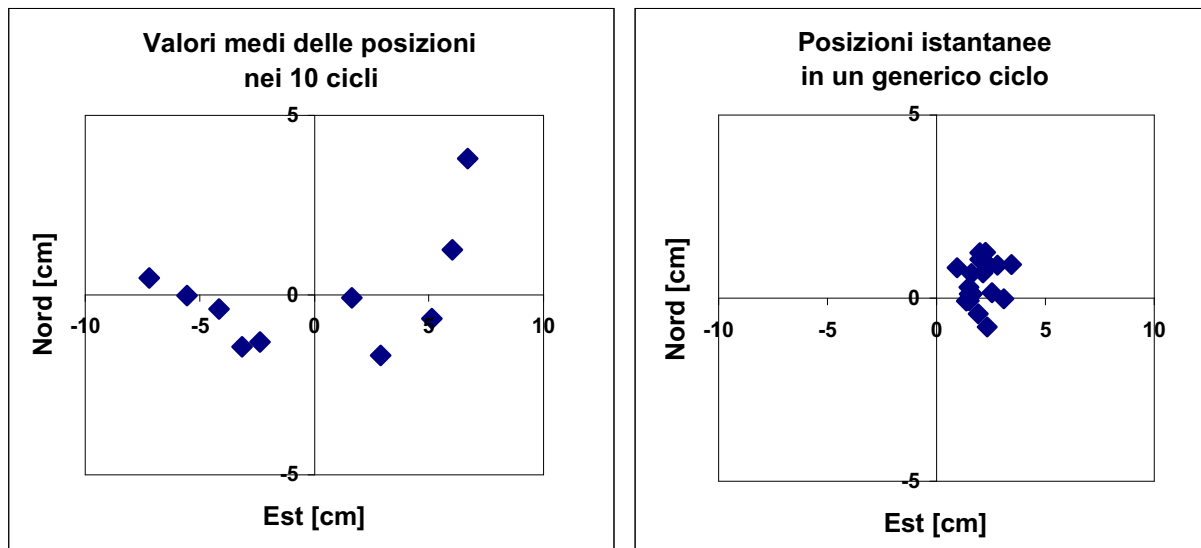


Figura 9. A sinistra: valori medi delle posizioni planimetriche rilevate in ciascuno dei 10 cicli. L'origine corrisponde alla posizione media complessiva calcolata su tutti i cicli. A destra: distribuzione delle posizioni istantanee campionate in un singolo ciclo.

σ_E	$\pm 0,05$ m
σ_N	$\pm 0,06$ m
σ_h	$\pm 0,05$ m

Tabella 2. Eqm valutati sulle posizioni statiche nel fine corsa superiore.

Anche nella seconda prova l'antenna era solidale alla parte mobile del carrello elevatore, ma in questo caso veniva effettuata una traslazione orizzontale del carrello stesso, con una corsa utile di 21.4 ± 0.1 cm; quest'ultimo valore è stato misurato su una media di 12 determinazioni effettuate con una stazione totale.

Sono stati effettuati 29 cicli di registrazioni (intervallo di campionamento di 1 secondo), ciascuno consistente in un posizionamento statico in un estremo, della durata media di 13 epoche, seguito dalla traslazione dell'antenna, alla velocità media di 6 cm/s verso l'estremo opposto e ricampionamento sempre di 13 epoche anche in quest'ultima posizione. Sono state ottenute 15 coppie di coordinate topocentriche piane per ciascuno dei due estremi. A partire da queste coordinate si sono calcolate 29 distanze fornite dalle combinazioni di coordinate misurate nei soli cicli temporalmente consecutivi. Inoltre si sono calcolate le distanze, in numero superiore a 200, ottenute dalle permutazioni di tutte le coppie di coordinate ottenute. Nella tabella 3 sono riportati i risultati della prova sotto forma di lunghezza di distanza tra i due estremi; quest'ultima è stata dedotta dalla radice quadrata della somma delle differenze di coordinate piane topocentriche, elevate al quadrato.

	Numero di osservazioni	Distanza media NavCom (cm)	Distanza Min NavCom (cm)	Distanza Max NavCom (cm)
Solo traslazioni consecutive	29	21,7 ± 1,0	20,5	23,9
Tutte le combinazioni	226	21,9 ± 2,0	18,4	27,1

Tabella 3. Prova di traslazione orizzontale con corsa effettiva di 21.4 ± 0.1 cm. Le distanze sono riferite al piano topocentrico.

Come emerge dai risultati della prova, le distanze calcolate attraverso le coordinate StarFire registrate nelle due posizioni estreme, risultano prossime alla lunghezza della base di calibrazione (21.4 cm). Questo conferma che l'eventuale errore "sistematico" di cui sono affette le coordinate registrate, non può che essere lo stesso in due posizioni vicine. Tale errore viene eliminato attraverso la differenza delle corrispondenti coordinate.

3.3. Test in modalità di tracciamento

In questa prova si è voluta testare la capacità del ricevitore StarFire a ripetere, più volte, una stessa traiettoria. Per realizzare il test è stato materializzato un allineamento dalla lunghezza di circa 110 m. L'allineamento era costituito da due picchetti metallici, fra i quali è stato posto un filo teso a terra (Figura 10).



Figura 10. Particolare dell'allineamento. Strumentazione usata per prove.

Il percorso rettilineo è stato percorso più volte, ponendo l'asta porta antenna del ricevitore StarFire al di sopra del filo teso. Durante due, delle cinque prove complessivamente eseguite, le posizioni registrate venivano inviate, in tempo reale, ad un terminale remoto, che le visualizzava su una cartografia di base. La trasmissione delle coordinate è stata effettuata attraverso una coppia di modem GSM. I risultati di una delle cinque prove sono riassunti nel grafico di figura 11. In particolare il grafico evidenzia le dispersioni delle posizioni registrate sul percorso. Poiché l'asse delle ascisse coincide con l'allineamento materializzato, si può notare che le posizioni registrate

sono interne ad una fascia di ampiezza 0,15 m circa, centrata sull'asse stesso. Analoghi risultati si sono ottenuti anche per le altre prove.

Il test ha in definitiva evidenziato la capacità del sistema StarFire di tracciare, in tempo reale, delle posizioni in movimento, con precisioni intorno al valore di ampiezza indicato.

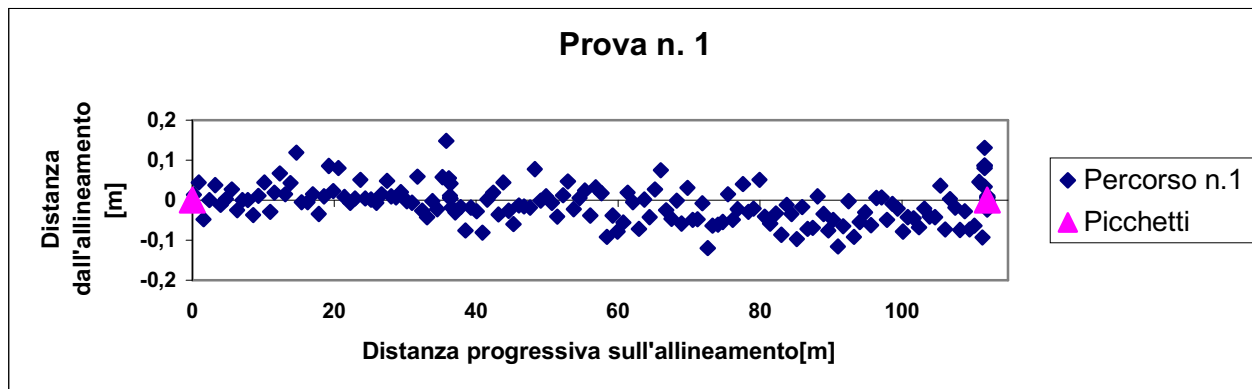


Figura 11. Risultati della prova n. 1 del test di tracciamento. L'asse x coincide con la direzione del filo teso a terra.

3.4 Confronti tra il sistema StarFire ed un sistema RTK classico

Nell'ultima serie di test si sono confrontate le prestazioni dello StarFire con un sistema RTK tradizionale. Insieme al ricevitore StarFire, sono stati usati due ricevitori Topcon modello Odyssey e Legacy E. Il ricevitore Odyssey fungeva da Master ed irradiava le correzioni differenziali, in formato RTCM, sulla rete Internet. Il ricevitore Legacy E fungeva da Rover. Il "link" tra i due ricevitori è stato reso possibile da un palmare Compaq iPAQ 3870 con modulo GPRS. Un secondo palmare Psion 5mx, con software FieldFace, è stato utilizzato per la gestione e l'archiviazione del rilevamento RTK (Figura 12).

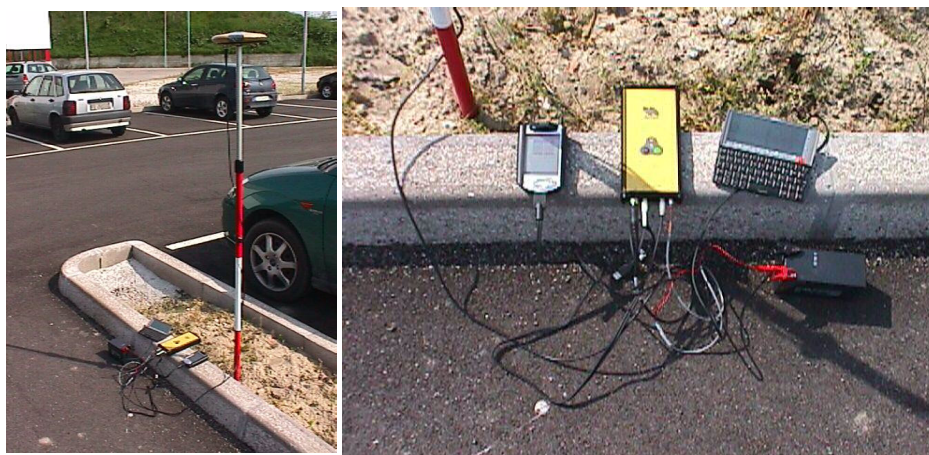


Figura 12. Particolare della dotazione strumentale della stazione "Rover": computer palmare iPAQ con modulo GPRS, ricevitore Topcon Legacy-E, computer palmare Psion 5mx ed antenna cinematica Legant E.

I rilevamenti sono stati eseguiti in due aree urbane distinte. Il primo si è svolto presso un parco urbano, a circa 3 km dalla stazione Master. In questo test, la presenza di filari di alberi ad alto fusto ha impedito l'esecuzione del rilevamento RTK completo. Il rilevamento eseguito con b StarFire ha invece tracciato correttamente i pochi satelliti in vista, denunciando parametri di acquisizione di

buona qualità. In post-elaborazione il risultato dello StarFire si è però rivelato mediocre, nonostante fossero state selezionate le posizioni con fattore di qualità globale superiore a 9.

Il secondo rilevamento si è svolto presso il parcheggio interno della Facoltà di Ingegneria, a poche centinaia di metri dalla stazione Master. Durante le operazioni di misura si sono rilevate più volte le posizioni di 45 vertici materializzati sulla pavimentazione del parcheggio. Sono stati effettuati 2 rilevamenti RTK classici, un rilevamento con il sistema StarFire ed un rilevamento con una stazione totale. I risultati (Tabella 4 e Figura 13) denunciano scostamenti medi di circa 20 cm, più marcati lungo la componente Nord.

Confronto	ΔE_m (cm)	ΔN_m (cm)
RTK1 – RTK2	$-0,3 \pm 1,8$	$-0,9 \pm 1,9$
StarFire – RTK1	$17,9 \pm 0,9$	$20,5 \pm 29,4$
StarFire – RTK 2	$17,6 \pm 8,8$	$19,6 \pm 28,6$

Tabella 4. Confronto dei rilievi eseguiti con tecniche RTK e StarFire su 45 punti battuti. I Δ si riferiscono alla media delle differenze delle coordinate registrate sui 45 vertici.

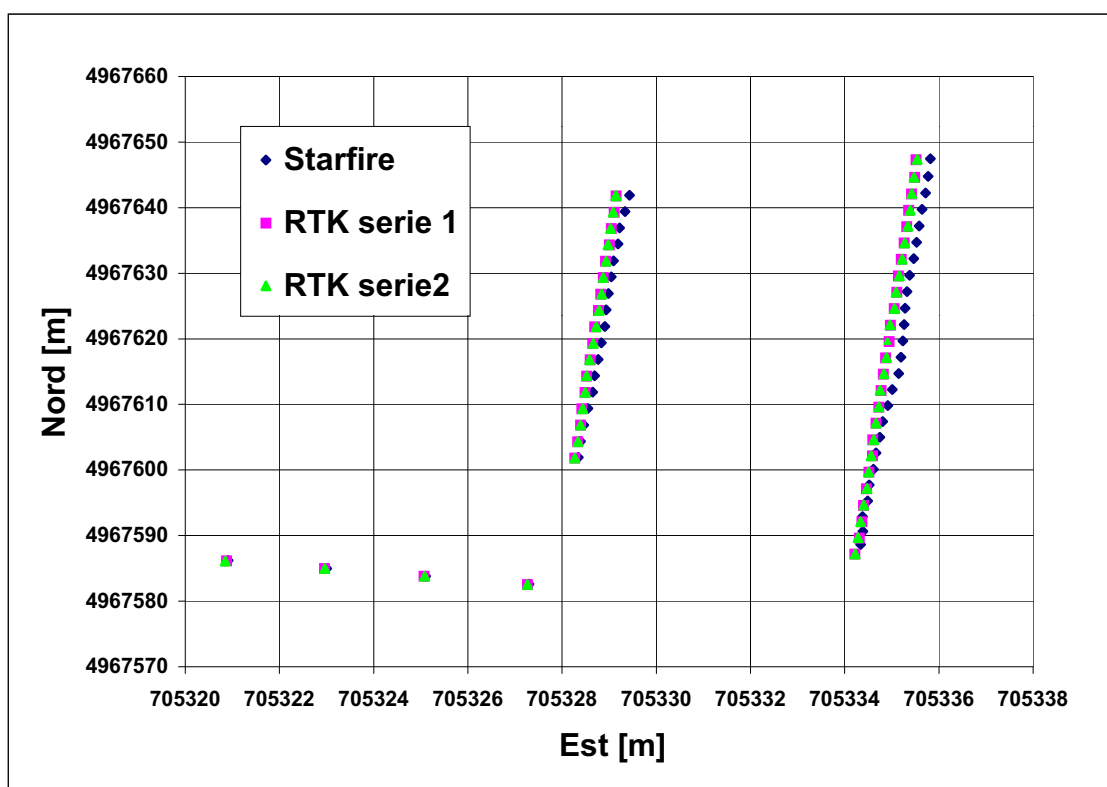


Figura 13. Risultato dei rilievi eseguiti con tecniche RTK e StarFire su 45 punti rilevati.

In seguito, gli stessi punti sono stati ribattuti con una stazione totale. In questo modo è stato possibile confrontare anche le differenze di quota dei 45 vertici ottenute con le differenti tecniche di misura e strumentazione (Tabella 5).

Confronto	ΔH (cm)
RTK1 – RTK2	$-0,7 \pm 0,9$
StarFire – RTK1	$5,0 \pm 5,8$
StarFire – RTK 2	$4,4 \pm 5,8$
StarFire- Staz.tot.	$-5,1 \pm 5,8$
RTK1-Staz.tot.	$0,1 \pm 0,7$
RTK2-Staz.tot.	$-0,6 \pm 0,7$

Tabella 5. Confronti sulle differenze di quota e loro eqm.

Il confronto dei risultati ottenuti con il sistema StarFire e con le altre tecniche di misura, confermano le precisioni dichiarate.

Anche per i tempi di rilevamento (Tabella 6), le durate sono sostanzialmente confrontabili, tenuto conto che, al contrario del sistema RTK, lo StarFire richiede un tempo di inizializzazione (circa 10 minuti) più lungo.

	Num. Punti	Durata rilievo	Epoche campionate per ciascun punto
RTK 1	45	25 min	20
RTK 2	45	26 min	20
StarFire	45	37 min	20

Tabella 6. Durata del rilevamento.

CONCLUSIONI

Nell'ambito delle prove effettuate nella presente attività di ricerca, il sistema StarFire si è dimostrato tanto più affidabile, quanto più sono accurate le operazioni di inizializzazione.

Le precisioni derivate dai test sono congruenti con quelle indicate in letteratura: tra i 5-10 cm di accuratezza nella componente planimetrica; tra i 10-15 cm per quella altimetrica.

Le precisioni nel posizionamento in tempo reale ed in quello dinamico non sono quindi ancora paragonabili con quelle ottenibili con un rilevamento RTK classico; va però sottolineato che nelle stesse condizioni operative il sistema StarFire ha il vantaggio di poter gestire il rilevamento con un solo ricevitore e con tempi aventi durate comparabili.

Il sistema concepito nel suo complesso per il tracciamento di veicoli, è senz'altro idoneo anche per l'effettuazione di rilevamenti topografici classici.

Infine l'utilizzo del servizio StarFire è subordinato alla sottoscrizione di un abbonamento, il cui costo (circa 1000 €/anno), è tuttavia largamente compensato dalle semplificazioni prodotte nell'attività del rilievo.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori porgono un sentito ringraziamento al Sig. Marco Marchesini, della Ditta Guido Veronesi s.r.l. di Bologna, per aver reso possibile l'esecuzione di questa sperimentazione mettendo a disposizione la strumentazione GPS NavCom StarFire.

BIBLIOGRAFIA

Bortuzzo A., (2004); "Procedure e risultati di verifica relativi ai nuovi ricevitori GPS Navcon con correzioni differenziali STARFIRE DGPS"; Geomedia n.5, pp. 2-4.

Cina A., Manzano A., Piras M., Roggero M., (2003); “Stima di Correzioni differenziali nel posizionamento GPS Multi Reference Station”; VII Conferenza Nazionale ASITA, Verona, 28-31 ottobre 2003.

Gatti M., Malaguti F., (2003); “Remote Control and Automatic Monitoring of the Ground Moving Machines in the Road Constructions”, Proceedings of the 20th International Symposium on Automation & Robotics in Construction (ISARC 2003); 21-24 September 2003, Eindhoven (Netherlands).

Pugliano G., Alves P., Cannon M.E., Lachapelle G., (2004); “Valutazione delle prestazioni di un approccio multi-reference station avanzato per la navigazione differenziale”; Atti dell’Istituto Italiano di Navigazione n. 174, pp. 49-66.

Hatch R., Sharpe T., Galyean P., (2002); “StarFire: A Global High Accuracy Differential GPS System”; 4th International Symposium on GPS/GNSS at Wuhan University, 6-8 November 2002, Cina.

Hudson R.J., Sharp T., (2001); “Globally Corrected GPS (GcGPS): C-Nav GPS System”; Dynamic Positioning Conference, 18-19 September 2001.

Sharpe T., Hatch R., Nelson F., (2000); “John Deere’s StarFire System: WADGPS for Precision Agriculture”; 13th International Meeting of the Satellite Division of the ION Institute of Navigation, 19-22 September 2000, Salt Lake City, USA.

Wuebenna G., Euler H. J., Keenan C. R., Zebhauser B. E., (2001); “Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays”; Leica Geosystems paper.