Il progetto e la sperimentazione di una tecnologia di localizzazione e di controllo basata sul sistema di navigazione satellitare GPS e sulle reti cellulari

Marco GATTI
Dipartimento di Ingegneria
dell'Università di Ferrara
via Saragat 1
44100 Ferrara
t 0532-974837
f 0532-974870
e mgatti@ing.unife.it

Parole chiave > GPS; SPMBS (Semi Permanent Multi Base Station); RTK-RTCM; Wireless Comunication; GSM/GPRS.

Riassunto > L'Università di Ferrara sta progettando e sperimentando una tecnologia di localizzazione e di controllo, basata sul sistema di navigazione satellitare GPS e sulle reti cellulari, che potrebbe risultare una valida alternativa alle reti di stazioni permanenti ed a i sistemi VRS e VBS. Si tratta di una stazione di base "semi permanente" che viene installata in campagna, nell'area dove si svolgono le operazioni di lavoro e viene rimossa, alla fine di dette operazioni, per essere rimontata in un'area successiva. La stazione è in grado di irradiare le correzioni differenziali alle Rover che si trovano ad operare nel raggio di copertura del funzionamento RTK e può riceverne le posizioni. Nel lavoro vengono presentati il progetto e la prototipazione della tecnologia, i primi test di laboratorio e di campagna ed alcuni problematiche emerse in fase di esecuzione dei test stessi.

Abstract > The University of Ferrara is forming and testing a positioning and control technology, based on the GPS positioning system and on mobile networks. This system may be a valid alternative to the GPS permanent station networks, and to the VRS and VBS systems. It consists of a "semi-permanent" base station, that is installed in the field, in the working area. It will be removed at the end of surveying operations and reinstalled in a next area. This station is able to broadcast in real time differential corrections to Rovers that are in the RTK coverage zone whilst receiving their real time positions. This work describes the plan, the prototype, initial laboratory and field tests and some issues which have arisen during the test executions.

1. Introduzione

Recenti studi del mercato delle telecomunicazioni hanno dimostrato che il campo della localizzazione terrestre LBS (Location Based Services)

è una promettente linea di sviluppo per i futuri sistemi di localizzazione personale. Tra i numerosi vantaggi forniti dai servizi accurati di posizionamento vanno citati quelli legati alla sicurezza personale ed alle situazioni di emergenza, alla possibilità di utilizzo in sistemi di monitoraggio, al controllo del trasporto delle merci, alle molte applicazioni di infomobilità di veicoli terrestri, marittimi ed aerei.

In quest'ottica si inserisce la ricerca che l'Università degli Studi di Ferrara, Dipartimento di Ingegneria, sta portando avanti per la realizzazione di un sistema di gestione, pianificazione e organizzazione, in tempo reale, degli spostamenti e delle rotte di una flotta di macchine operatrici (Gatti e Malaguti, 2003).

Per il posizionamento in tempo reale della flotta risulta importante:

- conoscere, con precisione, la posizione dei veicoli della flotta;
- rappresentare, in remoto, la loro posizione su una cartografia numerica di base, ubicata presso un centro di controllo.

Nell'ipotesi che il posizionamento dei veicoli della flotta avvenga con la tecnica GPS in modalità RTK, è richiesta la presenza di un ricevitore (Master) in collegamento costante con i veicoli della flotta (Rover). In tal caso occorre risolvere alcune problematiche derivanti:

- dalla portata del dispositivo di trasmissione delle correzioni differenziali;
- dall'accesso, di più utenti, alle stesse correzioni differenziali;
- dall'impossibilità di inviare, nello stesso istante, sulla cartografia numerica di base, la posizione.

Il dispositivo di trasmissione RTK tradizionalmente più testato è costituito da un radio link in banda U o V: questo consente l'irradiamento delle correzioni differenziali da un solo Master verso uno o più ricevitori Rover, ma risulta di limitata portata (Crocetto et al., 2002). Una soluzione che ha consentito un notevole guadagno di portata si è avuta con l'inserimento di radio modem in banda GSM; tuttavia essi limitano il collegamento al Master di un solo Rover.

Da qualche anno stiamo assistendo al proliferare di Stazioni Permanenti a livello internazionale, nazionale, regionale e locale. Queste stazioni, gestite da enti pubblici (EUREF, ASI, Regioni, Province, Comuni, Enti professionali, Scuole, ecc.) o privati (D.G. Service s.r.l., Netison www.open1.it/Solutions/Netison/, TIM - Coratella, 2002; per l'Italia, SAPOS per la Germania, ecc.) irradiano le correzioni differenziali o con dispositivi tradizionali (radio modem o modem GSM) oppure attraverso la rete Internet (Gatti, 2003) e sono anche in grado di ricevere dalle stazioni mobili le loro posizioni. In quest'ultimo caso è sufficiente collegarsi, attraverso la rete, al "Server" che rilascia le correzioni differenziali e riindirizzarle, attraverso un "Client", direttamente al ricevitore Rover. Con un protocollo quasi simile il Rover può rispedire al Master o ad un centro di controllo, le sue posizioni (Netison, Vassena et al., 2002).

Il grosso vantaggio della rete fissa collegata ad Internet è quello di consentire l'accesso contemporaneo alle correzioni differenziali da parte di molti utenti ed il loro controllo in tempo reale. Tuttavia l'attuale copertura, non ancora capillare e ben distribuita sul territorio, ne riduce l'utilizzo pratico, poiché la modalità di posizionamento di alta precisione RTK richiede la presenza di una stazione Master fissa ad una distanza massima dal Rover mobile di circa 10 km (Roberts et al., 2000).

Una soluzione alternativa al posizionamento differenziale è rappresentata dai sistemi VRS (Virtual Reference Station), SBAS (Satellite Based Augmentation Systems) o WAAS (Wide Area Augmentation Systems). Su tali sistemi, in uso da molti anni nei paesi anglosassoni, si sta concentrando la sperimentazione in Italia (Vassena, 2003; Barbarella et al., 2004; Chiorboli e Gatti, 2004; Cefalo et al., 2002-a, 2002-b; Cina, 2004; Pugliano et al., 2004). Questi ultimi sistemi sono caratterizzati da precisione al più equivalenti a quelle di un classico RTK e non sembrano, ad eccezione del sistema VRS o del sistema SBAS, in grado di riindirizzare ad un centro di controllo le loro posizioni.

Sulla base della premessa, il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara ha iniziato un lavoro di progetto e di sperimentazione di una tecnologia di localizzazione e di controllo, basata sul sistema di navigazione satellitare GPS e sulle reti cellulari, che dovrebbe risultare una valida alternativa ai sistemi citati. La tecnologia è denominata SPMBS, acroni-

mo di Semi Permanent Multi Base Station. In pratica si tratta di una stazione di base "semi permanente" che viene installata in campagna, nell'area dove si svolgono le operazioni di lavoro di flotte agricole, flotte stradali, flotte commerciali, gruppi di rilevatori, ecc. e viene rimossa, alla fine di dette operazioni, per essere rimontata in un'area successiva. La stazione è in grado di irradiare le correzioni differenziali alle Rover che si trovano ad operare nel suo raggio di copertura; inoltre può riceverne le posizioni. Nel lavoro vengono presentati il progetto e la prototipazione della tecnologia, i primi test di laboratorio e di campagna ed alcuni problematiche emerse in fase di esecuzione dei test stessi.

2. Descrizione della tecnologia

SPMBS è acronimo di "Semi Permanent Multi Base Station". Si tratta di una stazione di base "semi permanente" installata in campagna, nell'area dove si svolgono le operazioni di lavoro e rimossa, alla fine di dette operazioni, per essere rimontata in un'area successiva. La stazione è costituita (Figura 1):

- da un computer da campo in ambiente Windows 9x e successivi o in ambiente Windows CE;
- da un ricevitore GPS equipaggiato del firmware RTK-RTCM;
- da un modem GSM/GPRS;
- da un software "Server";
- da un software GIS/CAD su cui sia possibile visualizzare una cartografia numerica di base, in formato raster o vettoriale.

Attraverso una chiamata GPRS, la SPMBS irradia, per tutto il tempo del rilevamento, le correzioni RTK-RTCM provenienti dal ricevitore GPS, alla rete Internet. La flotta di operatori che sta operando nel raggio di azione della SPMBS è munita di un ricevitore GPS e di un modem GPRS e può collegarsi all'indirizzo IP del server, ricevendo da esso le correzioni differenziali. Le macchine operatrici (Rover) possono, a loro volta, con un analogo protocollo di trasmissione, inviare alla SPMBS le loro posizioni (Figura 2): in tal modo sulla SPMBS di campagna è possibile visualizzare, in tempo reale, le operazioni di rilevamento, pianificando le modalità di acquisizione, le rotte, ecc..

3. Prototipazione del sistema e primi test sperimentali

Dopo aver prototipato la tecnologia, individuando ed assemblando sia i componenti hardware che quelli software, si è passati alla realizzazione dei primi test di laboratorio e di campagna, al fine di:

- verificare la copertura della rete GPRS;
- verificare le capacità di "download" e di "upload" dei dispositivi GPRS;
- verificare l'età ed i tempi di latenza delle correzioni differenziali;
- verificare le precisione nel posizionamento tridimensionale.

Figura 1. Alcune componenti della tecnologia.

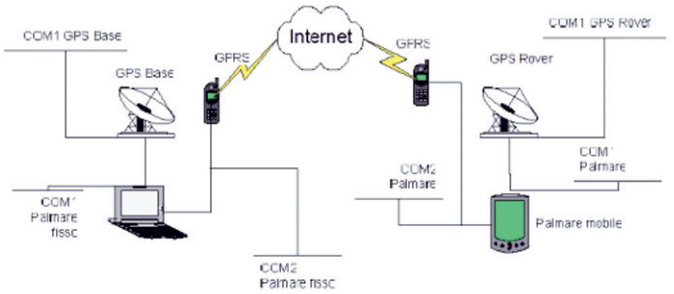


Figura 2. Schema di funzionamento della tecnologia.

3.1. Test di laboratorio

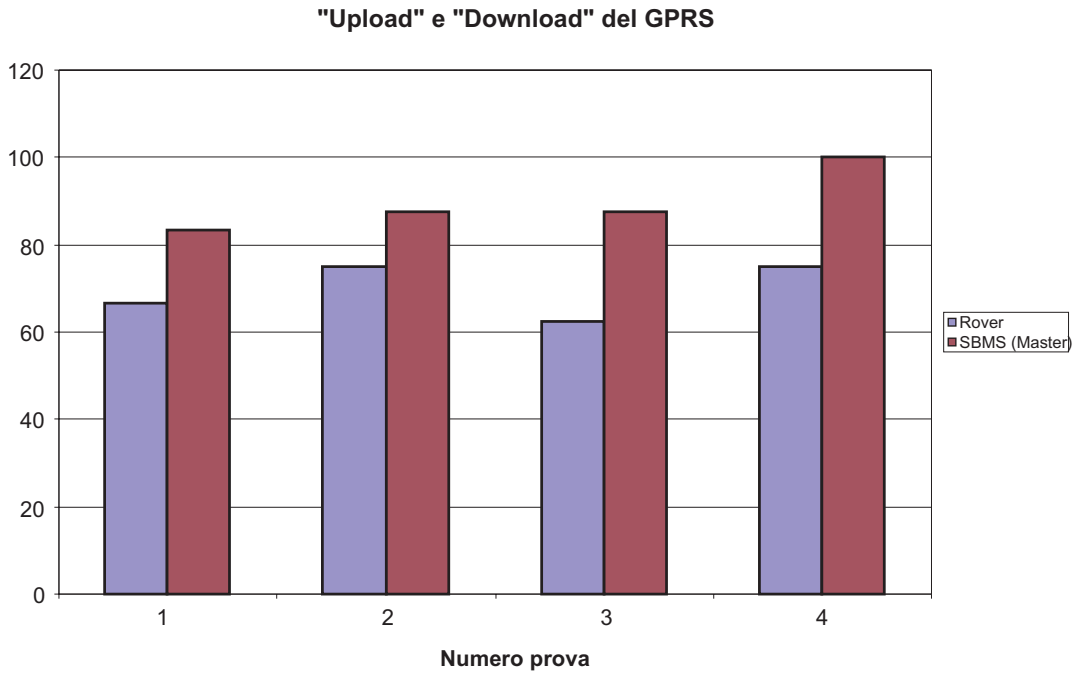
Il GPRS ha delle discontinuità in trasmissione e in ricezione dati piuttosto frequenti. I primi test si sono quindi concentrati sulla verifica delle capacità di "up-load" e di "down-load" del GPRS. Presso i laboratori del Dipartimento di Ingegneria dell'Università degli Studi di Ferrara è stata allestita una stazione SPBMBS che ha operato il 5, il 7 e l'8 di giugno. Durante le prove la stazione ha irradiato (upload) le correzioni differenziali nel formato RTCM messaggi 18 e 19, costellazione GPS. Si sono eseguite connessioni (download) da uno fino a tre utenti contemporaneamente. I risultati delle prove sono riportati nella tabella 1 e nel grafico di figura 3.

Tabella 1. Riepilogo dei risultati ottenuti dalle prove di laboratorio.

Data	Start-Stop	Durata (ore)	N.ro di connessioni contemporanee	Durata media in "Upload" (ore)	Durata Media in "Download" (ore)
5-6-04	11:00-18:00	6	3	5	4
7-6-04	16:00-20:00	4	2	3,5	3
8-6-04	14:00-18:00	4	2	3,5	2,5
27-7-04	16:00-18:00	2	1	2	1,5

In particolare in colonna 1 è riportata la data di esecuzione del test (da notare come sia stata aggiunta anche la seconda delle due prove di campagna), in colonna 2 l'ora di inizio e di fine della prova, in colonna 3 la durata (in ore) della prova, in colonna 4 il numero di utenti "Rover" connessi contemporaneamente all'indirizzo "IP" della stazione SPMBS, in colonna 5 la durata media di connessione delle rover dall'inizio alla fine della prova, infine in colonna 6 la durata media di trasmissione della stazione SPBMS dall'inizio alla fine della prova. Come si evince dalla tabella le cadute più frequenti avvengono a livello di Rover: questo fatto provoca un disservizio solo parziale a livello di utente finale, il quale può, in campagna, fare ripartire direttamente la connessione. Può problematica è la disconnessione a livello di SPMBS: minore rispetto alla precedente ma lo stesso frequente. In questo caso bisogna fare ripartire la stazione e comunicare ai Rover il nuovo indirizzo "IP". Come si verrà descritto al capitolo 3, questa rappresenta una delle problematiche da risolvere.

Figura 3. Rappresentazione grafica dei risultati ottenuti dalle prime prove di laboratorio.



3.2. Test di campagna

Un primo test è stato eseguito il 24 luglio 2004. La stazione SPMBS è stata posizionata a Bologna, in località S.Lazzaro di Savena, direttamente sul terreno (Figura 4). Si è considerata la connessione di tre ricevitori Rover, di cui uno in posizione statica, a pochi metri dalla stazione di base, e gli altri in movimento su alcuni vertici di una rete precedentemente materializzata e rilevata nell'area delle misure. Durante la prova sono stati utilizzati ricevitori JPS modelli Legacy_E equipaggiati di antenne modello Legant_E e di controller modelli IPAQ e Psion. La durata del rilevamento è stata di circa 1 ora. Per il rilevamento RTK con il Rover fisso si sono impostati i seguenti filtri: 5 epoche di campionamento per ciascun punto RTK FIX, rms in planimetria pari a 5 cm, rms in altimetria pari a 5 cm, PDOP massimo pari a 5. Gli rms sono stati raddoppiati per la stazioni Rover mobili. I satelliti visibili erano circa 8-9.
Per quanto concerne la stabilità del dispositivo GPRS, l'applicazione "Server" sul computer portatile si è dimostrata piuttosto instabile, anche perché il segnale dell'operatore di telefonia usato aveva in zona una bassa copertura GPRS. L'applicazione Client su PocketPC si è dimostrata anch'essa piuttosto instabile, per cui si è reso necessario chiuderla e riavviarla; in alcuni casi si è dovuto effettuare anche un "reset" del palmare. Per quanto concerne il risultato in termini di precisione, abbiamo ritenuto importante riportare il solo risultato relativo alla prova fatta con il ricevitore Rover in posizione statica, in quanto questa situazione è molto simile a quella che si verifica in un posizionamento VRS.

Figura 4. Alcune immagini del primo test di campagna.

Nelle figure 5 e 6 riportiamo le dispersioni delle posizioni RTK planimetriche ed altimetriche, nel sistema locale, della stazione Rover fissa.

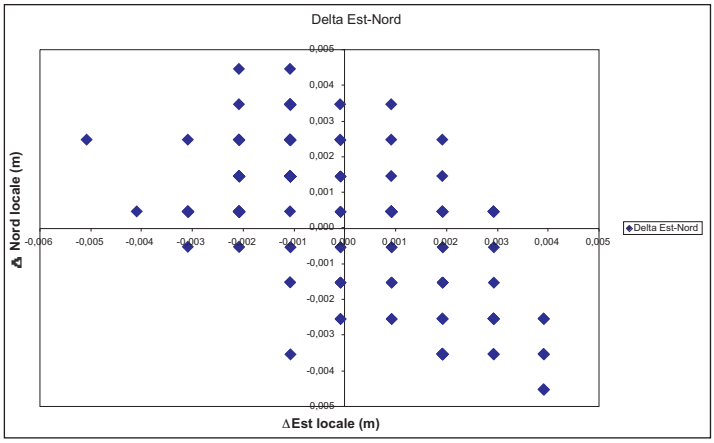


Figura 5. Dispersione delle posizioni planimetriche attorno al valor medio.

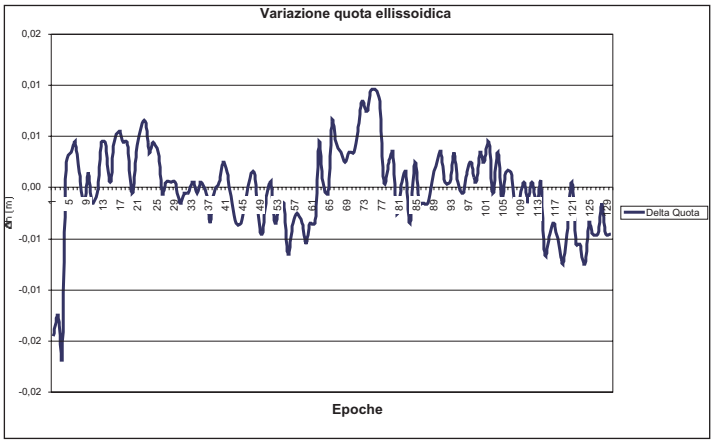


Figura 6. Dispersione delle quote ellissoidiche attorno al valor medio.

Come si evince dalle figure 5 e 6, le dispersioni planimetriche sono comprese in un range di ± 1 cm; quelle altimetriche tra ± 2 cm. Questo testimonia che quando il segnale RTCM viene irradiato la tecnica RTK conferma i risultati attesi.

Il secondo test è stato eseguito il 27 luglio 2004. L'antenna del ricevitore Master è stata posizionata sul tetto del Dipartimento Ingegneria, la stazione SPMBS in un laboratorio. Si è considerata la connessione di un solo ricevitore Rover, che ha rilevato alcuni punti (circa 60) ubicati nel parcheggio della Facoltà di Ingegneria.

Per valutare la precisione nel posizionamento tridimensionale, si avevano a disposizione più misure di confronto in quanto sugli stessi punti erano già stati eseguiti altri rilievi: Rilievo 1 e 2 con tecnica GPS in modalità RTK e correzioni differenziali irradiate attraverso una rete Lan; Rilievo 3 con tecnica VBS Starfire (Chiorboli e Gatti, 2004); infine Rilievo 4 con teodolite elettronico integrato.

Durante la prova sono stati utilizzati due ricevitori della ditta JPS modello Legacy_E equipaggiati dell'antenna Legant_E e del controller Psion. La durata del rilevamento è stata di circa 1 ora e 30 minuti. Si sono rilevati tutti i 60 punti; di questi soltanto 25 nella prima ora di misura, in quanto il ricevitore Rover ha alternato per molto tempo al funzionamento RTK FIX quello FLOAT ed, in alcuni casi, quello AUTONOMOUS. Per il rilevamento RTK si sono impostati i seguenti filtri: 10 epoche di campionamento per ciascun punto RTK FIX, rms in planimetria pari a 10 cm, rms in altimetria pari a 15 cm, PDOP massimo pari a 5. I satelliti visibili erano circa 8-9. Per quanto concerne la stabilità del dispositivo GPRS, l'applicazione "Server" sul computer portatile si è dimostrata stabile (Tabella 1): durante tutto il rilievo non si sono mai verificate interruzioni di "upload" nel collegamento GPRS. L'applicazione Client su PocketPC si è dimostrata piuttosto instabile soltanto nella prima ora. Nelle tabelle 2 e 3 riportiamo le medie e gli scostamenti massimi e minimi, in metri, dei campioni di differenze di coordinate tridimensionali, espresse nel sistema locale; accanto ai valori medi sono riportate anche le corrispondenti varianze. I campioni di differenze di coordinate tridimensionali sono ottenuti confrontando le coordinate dei punti misurati nel rilievo in oggetto (Rilievo 5) con le coordinate degli stessi punti misurate nei rilievi precedenti (Rilievi 1,2 e 3).

Tabella 2. Confronti fra il rilevo 5 ed i rilevi 1,2 e 3. Media e s.q.m. delle differenze.

Rilievo di confronto	δE_{media} (m)	δN_{media} (m)	δH_{media} (m)
1	-0,003+0,03	0,003+0,02	-0.02+0,03
2	-0,006+0,03	-0,006+0,03	-0.03+0,03
3	-0,18+0,09	-0,20+0,29	-0,31+0,30

Tabella 3. Confronti fra il rilevo 5 ed i rilevi 1,2 e 3. Differenze massime e minime in valore e segno.

Rilievo di confronto	δE (m)		δN (m)		δH (m)	
	Max	Min	Max	Min	Max	Min
1	0,05	-0,07	0,05	-0,05	0.14	-0.07
2 0.05	-0.06	0.05	-0.07	0.15	-0.06	
3	0.03	-0.33	0.03	-1.45	0.14	-1.75

Nel caso del rilievo eseguito con il teodolite le differenze sono state fatte sulle differenze delle distanza piane e sulle differenze di quota (Tabelle 4 e 5).

Tabella 4. Confronti fra il rilevo 5 ed il rilevo 4. Media e s.q.m. delle differenze.

δd_{media} (m)	$\delta \Delta h_{media}$ (m)
-0,006±0.03	0,02±0.03

Tabella 5. Confronti fra il rilevo 5 ed il rilevo 4. Differenze massime e minime in valore e segno

δd_{media} (m)		$\delta \Delta h_{media}$ (m)	
max	min	max	max
0.06	-0.06	0.14	-0.08

I risultati, in termini di precisione, rispecchiano quelli visti nella prima prova di campagna.

4. Problematiche aperte e sviluppi futuri

Durante i test sono emersi i seguenti problemi di ordine tecnico:

1. l'"identificazione" in internet del computer da campo posto sulla stazione di base. La connessione software fra computer fisso e computer mobile si realizza in ambiente internet e dunque si appoggia ad alcuni protocolli dello "stack" TCP/IP. In particolare la connessione ad Internet è garantita da un "provider" che fornisce per la connessione GPRS un canale di protocollo PPP (Point to Point Protocol). Questo significa che ad ogni connessione viene assegnato al nodo (i.e. il computer o il palmare che si connette) un numero IP dinamico, che rimarrà lo stesso, in generale, solo per il tempo della connessione. Dal momento che la conoscenza di tale numero è essenziale perché un "rover" avvii la connessione diretta con la base e che questo numero è noto solo a connessione avvenuta, occorre pensare ad un dispositivo che consenta lo scambio di questo numero tra stazione di base e stazione mobile; attualmente questa operazione viene fatta da una persona posta sulla stazione che lo comunica alla persona posta sul Rover;
2. la "ripartenza". La connessione su un link GPRS è soggetta a cadute non prevedibili: risulta quindi necessario prevedere a delle ripartenze automatiche in caso di sconnessioni;
3. le "performance di comunicazione". Nel posizionamento RTK sussistono dei requisiti di latenza sul tempo di trasmissione dei messaggi di correzione da parte della base. Tale tempo deve essere molto piccolo. L'EUREF lo ha fissato inferiore ad un secondo. Questo rende critico il fattore "performance" e giustifica l'introduzione di un sistema di scambio dei messaggi basato su protocolli più snelli. Non solo, il formato TCP/IP gestisce solo il protocollo RTCM che è notoriamente il più pesante in termini di byte trasmessi. Altri protocolli di trasmissione differenziale, come per esempi il CMR + o il CMR – o lo stesso formato proprietario non sono gestibili in formato TCP/IP. E' quindi il caso di orientarsi su un protocollo diverso, per esempio il protocollo

UDP (User Datagram Protocol), che non richiede l'avvio di una connessione logica (connection less) e non incorre per questo nell'"overhead" tipica di altri protocolli.

Saranno questi i punti su cui verterà la sperimentazione nei prossimi mesi.

5. Conclusioni

Nel lavoro si è voluta presentare una tecnologia che, pur risultando ancora in fase prototipale e, quindi bisognosa di ulteriori affinamenti e miglioramenti, possiede i seguenti requisiti:

- Possibilità di irradiare le correzioni differenziali a più utenti contemporaneamente;
- Area di impiego per le "Rover" sempre in copertura differenziale e quindi posizionamento, RTK, di precisione assicurato per tutta la durata delle operazioni di rilevamento;
- Controllo in remoto delle stazioni "Rover";
- Autonomia e svincolo da altre fonti di irradiamento delle correzioni differenziali (a pagamento o gratuite);
- Costi contenuti, soprattutto a livello di tariffe di connessione. Le attuali reti GPRS hanno dei costi di accesso limitati, dopo l'introduzione delle tariffe "Flat" (download ed upload illimitato, con pagamento di un canone mensile fisso).

Per questo motivo, una volta risolti i problemi emersi durante le prime sperimentazioni, si ritiene che possa risultare una valida alternativa alle reti di Stazioni Permanenti ed a i sistemi VRS e VBS.

Ringraziamenti

L'autore vuole porgere un sentito ringraziamento a tutti coloro che lo hanno aiutato e supportato nella realizzazione dei test di laboratorio e di campagna. Tra di essi una particolare menzione va fatta all'Ing. Andrea Chiorboli di Ferrara, ai Geomm. Floriano e Fabio Negroni di Bologna, all'Università di Cagliari ed al Prof. Giorgio Manzoni di Trieste.

Bibliografia

Barbarella M., Bedin A., Gandolfi F., Vittuari L. (2004). Analisi di dati di posizionamento GPS derivanti da sperimentazioni Virtual Reference Station; Presentato al Convegno Nazionale della SIFET, Cagliari 22-24 settembre 2004.

Cefalo R., Gatti M., Sluga T. (2002-a). Static and Kinematic Experiments on EGNOS. REPORTS ON GEODESY No. 3 (63), 2002, Proceedings of the Seminar/Workshop "real Time GNSS", Trieste (Italy), 9-10 September 2002; Institute of Geodesy and Geodetic Astronomy of the Warsaw University of Technology, pp. 87-103.

Cefalo R., Gatti M., Sluga T. (2002-b). EGNOS ESTB field tests in static and kinematic modes. Bollettino di Geodesia e S.A. n. 4, ott.-nov-dic., pp. 228-245.

Chiorboli A., Gatti M. (2004). Il posizionamento ad una via basato sul sistema Starfire. Test sperimentali in modalità statica e cinematica. In stampa sul Bollettino della Sifet.

Cina A. (2004). Rete sperimentale Multi Reference Station. Impianto e risultati. Atti del Convegno "Reti di Stazioni Permanenti GPS Multi Reference Real Time", Torino, 7 maggio 2004.

Coratella D. (2002). GPS e Wireless. GIM n. 5, pp. 48-50. GITC by The Netherland.

Crocetto N., Gatti M., Negroni F., Negroni F. (2002). Uso di ripetitori radio nel rilevamento GPS in tempo reale. Atti della 4° Conferenza Nazionale ASITA. Genova, 3-6 ottobre 2000, Volume I, pp. 665-674.

Gatti M. (2003). Correzioni differenziali attraverso Internet: piattaforme "client" TCP ed UDP a confronto nel posizionamento statico e dinamico. Bollettino della SIFET n. 1, pp. 53-66.

Gatti M., Malaguti F. (2003). Remote Control and Automatic Monitoring of the Ground Moving Machines in the Road Construction. Submitted to 20th International Symposium on Automation & Robotics in Construction (ISARC 2003); 21-24 September 2003, Eindoven (Nederlands).

D.G. Service s.r.l., Rieti; www.dgps.it.

Progetto Netison, Ferrara; www.open1.it/Solutions/Netison/.

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, marzo 2004, pp. 49-66.

Roberts G.W., Dodson A.H., Ashkenazi V. (2000). Experimental plant guidance and control by kinematic GPS. Proc. Institution of Civil Engineers; Civil Engineering; pp15-25, Feb 2000, ISSN 0965 089X.

SAPOS. Satellite Positioning Service of the German National Survey. www.adv-online.de/english/products/sapos.htm.

Vassena G., Stefini G., et al. (2002). Uso di Internet per l'aggiornamento di un WEB-GIS e la contemporanea trasmissione del segnale di correzione differenziale GPS. Atti della 6° Conferenza Nazionale ASITA. Perugia, 5-8 novembre 2002, Volume II, pp. 1997-2002.

Vassena G. (2003). Servizi GPS avanzati Network-Based una rete demo-test per le soluzioni virtual reference station. Geomedia n. 3/2003, pp. 8-15.