

APPENDICE 4.A2

RILEVAMENTI IN TEMPO REALE IN PROSSIMITÀ DEI CONFINI DI RETI DI STAZIONI PERMANENTI GPS

Tiziano Cosso, Bianca Federici, Domenico Sguerso

DIMSET - Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti, Università di Genova, via Montallegro 1,
16145 Genova, e-mail: domenico.sguerso@unige.it

SOMMARIO

Il presente lavoro si propone di verificare le problematiche legate ai servizi di posizionamento GPS tramite correzioni differenziali in tempo reale offerti dalle reti di Stazioni Permanenti GPS nelle vicinanze dei propri confini, soprattutto in termini di affidabilità e di coerenza con soluzioni provenienti da reti confinanti. Sono state progettate due campagne di misura RTK in riferimento alle reti regionali per la Lombardia e il Piemonte; la prima nell'area circostante la stazione permanente di Varzi (Pv) facente parte della rete lombarda, la seconda nell'area circostante la stazione permanente di Alessandria appartenente alla rete piemontese.

L'analisi dei risultati è stata eseguita mettendo a confronto le diverse tipologie delle correzioni differenziali per il tempo reale, offerte dai gestori delle reti.

1 INTRODUZIONE

Il presente lavoro si propone di analizzare l'effetto della posizione del punto oggetto di rilevamento in riferimento alla disposizione spaziale della rete di Stazioni Permanenti GPS nel rilevamento RTK. In particolare, si vuole verificare la qualità delle soluzioni ottenute tramite correzioni differenziali per il posizionamento in tempo reale, su punti dislocati in prossimità dei limiti della rete di Stazioni Permanenti GPS (in seguito abbreviate SP) considerata o ad essa esterni. È in tali zone, infatti, che i servizi di posizionamento GPS in tempo reale, che rappresentano un prodotto di grande utilità per l'utente topografo, possono presentare problemi di affidabilità e di coerenza nei confronti di soluzioni provenienti da eventuali reti confinanti.

È evidente come, visto il numero esiguo di punti rilevati, le analisi di seguito effettuate non abbiano valenza statistica e tanto meno debbano essere intese come confronto tra livelli di qualità delle reti stesse, ma piuttosto mirano ad ottenere alcune prime indicazioni in termini di operatività in riferimento alla posizione relativa dell'utente rispetto alla rete di SP considerata.

2 CAMPAGNE DI MISURA

Al fine di poter valutare l'influenza della posizione del punto oggetto di rilievo sulla qualità del risultato, sono state progettate due campagne di misura GPS RTK in riferimento alle reti regionali della Lombardia e del Piemonte. La prima, parte integrante della campagna test denominata RTK1 inserita nel progetto PRIN2004 "I servizi di posizionamento satellitare per l'e-government", coordinato dal Prof. F. Sansò del Politecnico di Milano (*Biagi et al., 2006*), è stata impostata nell'area circostante la SP di Varzi (Pv), all'estremo meridionale della rete lombarda realizzata e gestita dall'Istituto di Ricerca per l'Economia e l'Ecologia applicate alle Aree Alpine (IREALP). Essendo questa un'area non lontana dalla rete piemontese, i rilievi RTK sono stati effettuati in appoggio ad entrambe le reti, ovviamente con differenti dislocazioni rispetto alle stesse, come verrà illustrato in seguito.

La seconda campagna è stata progettata nell'area circostante la SP di Alessandria, ai margini della rete piemontese (*Cina et al., 2004*) gestita dal Politecnico di Torino e non lontana da quella lombarda, risul-

tando perciò specularmente alla prima.

I punti considerati sui quali effettuare il rilievo RTK sono stati scelti per entrambe le campagne tra i vertici della rete IGM95 e delle reti di raffittimento, per poter effettuare un confronto tra le monografie e i risultati del rilievo in tempo reale.

Ciascuna campagna ha portato a rilevamenti in tempo reale di otto punti con distanze comprese tra i 7 ed i 19 km dalla SP più vicina, ottenuti secondo le diverse modalità offerte dai gestori dei servizi di posizionamento VRS ed FKP per la Lombardia, Max e iMax per il Piemonte, che così possono essere sintetizzate:

- VRS – Virtual Reference Station, noto come approccio secondo il quale le correzioni differenziali sono determinate ad hoc per l'utente sulla base della sua posizione;
- FKP – Flächen Korrektur Parameter, vengono forniti i parametri di un modello semplificato che il ricevitore dell'utente (rover) interpolerà sulla base della propria posizione;
- Max – Master auxiliary, secondo la quale il gestore della rete invia le correzioni differenziali di un certo numero di stazioni permanenti che il ricevitore rover è in grado di utilizzare in funzione della propria posizione;
- iMax – Individual Max, le cui correzioni differenziali sono ricevute similmente al VRS.

Entrambe le campagne sono state effettuate secondo le seguenti modalità:

- rilevamenti effettuati nei tipici orari di una giornata lavorativa, senza perciò considerare a priori la qualità della configurazione geometrica dei satelliti, per simulare un utilizzo professionale del servizio;
- stazionamento statico con treppiede geodetico e piombino ottico al solo fine di limitare gli errori di centramento del punto a terra;
- esecuzione per ciascun vertice di due sessioni di osservazione in differenti momenti della giornata, per ottenere configurazioni satellitari il più possibile indipendenti;
- per ogni sessione di misura, effettuare quattro prove indipendenti (spegnimento e re-accensione della strumentazione fra una prova e l'altra), una per ciascun servizio di rete offerto dai gestori, nello specifico FKP e VRS per la rete lombarda, Max e iMax per la rete piemontese.
- acquisizione delle osservazioni in ciascuna prova con:
 1. intervallo di campionamento dei dati pari a 1 secondo;
 2. angolo minimo di elevazione satellitare pari a 10°;
 3. registrazione del punto alla 5a epoca con soluzione di fase ad ambiguità fissate;
- attribuzione di esito negativo alle prove per le quali non si ottenga il fissaggio delle ambiguità entro il 5° minuto a partire dalla connessione al gestore della rete (ricezione delle correzioni differenziali).

Lo strumento utilizzato per tutti i rilievi è stato il Leica GX 1230 con antenna AX1202, messo gentilmente a disposizione dal Politecnico di Torino, che si ringrazia.

I collegamenti tra gestore della rete ed utente sono stati effettuati generalmente via modem GSM tramite connessione TCP-IP e formato dati standard RTCM 2.x e 3.0, mentre per quanto riguarda le sole connessioni alla rete lombarda nella seconda campagna, si è utilizzata la connessione GPRS tramite protocollo NTRIP.

La prima campagna è stata effettuata nelle giornate dell'1 e 2 settembre 2005, mentre la seconda il 27, 28 marzo e 4 aprile 2006 portando al rilevamento di 8 vertici per ciascuna campagna, rilevati appunto in due sessioni indipendenti in riferimento ad entrambi i gestori.

La dislocazione dei vertici considerati in entrambe le campagne, evidenziata in figura 1, risente ovviamente della necessità di individuare punti con sufficiente ed appropriato campo per la telefonia mobile; a tale riguardo erano previsti ulteriori due vertici nella prima campagna e nove nella seconda, che non si sono potuti rilevare per assenza di opportuna copertura telefonica. Ciò non ha permesso di ottenere due configurazioni perfettamente speculari.

3 ANALISI DEI RISULTATI

I posizionamenti in tempo reale così ottenuti sono stati analizzati mettendo a confronto le coordinate ottenute con i valori desunti dalle monografie dei vertici, sia in riferimento alle differenti tipologie di correzione differenziale che tra le diverse sessioni.

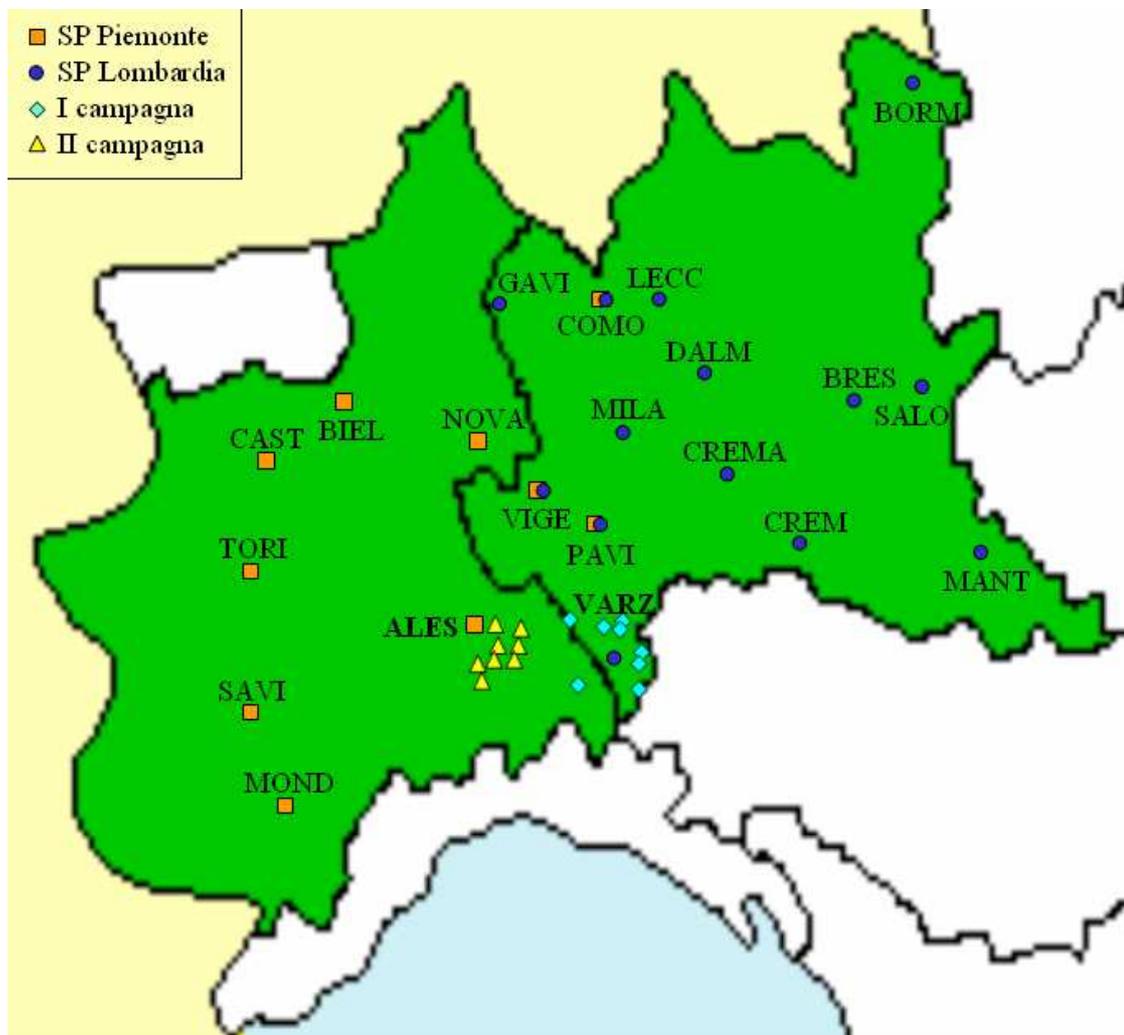


Figura 1 - Dislocazione dei vertici oggetto di rilevamento RTK in riferimento alle reti di SP GPS. Distanze vertici da SP 1a campagna = 9-18 km; distanze vertici da SP 2a campagna = 7-19 km.

Entrambi i gestori delle reti di SP lavorano nel sistema di riferimento IGB00 mentre le coordinate da monografia dei vertici IGM95 e dei punti delle reti di raffittimento regionali, sono espresse nel sistema di riferimento denominato ETRF89-IGM95; per effettuare il confronto si sono dunque trasformati i risultati ottenuti dal rilievo in tempo reale utilizzando i parametri di trasformazione stimati a livello regionale e forniti dai gestori stessi.

La prima importante informazione che si ricava dalle tabelle 1 e 2 consiste nella verifica dell'ottimo comportamento delle reti all'interno della loro rispettiva area di pertinenza, per cui tutti i risultati ottenuti ricadono all'interno degli intervalli di tolleranza assunti, rispettivamente di 10 cm per la planimetria e di 15 cm per l'altimetria. Si tenga però presente che i dati riportati nelle tabelle si riferiscono alle misurazioni che hanno dato esito positivo, senza pertanto tenere conto delle soluzioni per le quali non sia stato possibile ottenere il fissaggio delle ambiguità.

Le misurazioni con esito negativo sono quindi state 12 su un totale di 64 ovvero circa il 19%. Da tutte le altre misurazioni (52) per cui si è ottenuta una soluzione di tipo "Fixed", si sono ricavati i risultati le cui caratteristiche sono riportate nelle tabelle 1, 2 e 3.

Lombardia (IREALP)

		Differenze rispetto alle monografie				N° Sat. osservati		GDOP		
		Massimo	Minimo	Media	s.q.m.	Media	Min	Media	Max	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]					
I campagna (interno rete)	VRS	E	6.0	0.3	3.0	2.0	6.6	5	3.0	4.4
		N	5.9	-0.5	2.7	1.6				
		h	5.1	-7.7	-1.2	4.1				
	FKP	E	5.7	-0.3	3.0	2.0	6.6	5	2.8	4.2
		N	5.6	-1.1	2.7	1.7				
		h	9.3	-6.7	-0.2	4.5				
II campagna (esterno rete)	VRS	E	5.7	-10.0	2.3	3.9	7.4	6	2.7	4.0
		N	4.8	-11.4	0.7	4.0				
		h	8.8	-6.2	1.5	4.0				
	FKP	E	4.4	-4.5	1.9	2.1	7.6	6	2.7	4.5
		N	6.3	-6.2	1.6	3.8				
		h	7.2	-6.3	-0.7	3.8				

Tabella 1 – Confronti tra le soluzioni RTK in riferimento alla rete lombarda e monografie.

Piemonte (Politecnico di Torino)

		Differenze rispetto alle monografie				N° Sat. osservati		GDOP		
		Massimo	Minimo	Media	s.q.m.	Media	Min	Media	Max	
		[cm]	[cm]	[cm]	[cm]					
II campagna (interno rete)	iMax	E	9.2	-0.5	2.8	2.6	6.3	5	3.9	6.3
		N	4.5	1.2	2.3	1.0				
		h	8.7	-7.3	3.3	5.8				
	Max	E	4.8	-1.2	2.0	1.5	7.3	5	2.9	6.8
		N	5.3	0.5	2.1	1.4				
		h	10.0	-8.6	1.6	5.7				
I campagna (esterno rete)	iMax	E	7.6 (7.6)	-2.2	2.6 (2.4)	2.6 (2.5)	5.6	5	3.8	6.1
		N	4.7 (4.7)	-10.5	1.3 (1.5)	3.6 (3.7)				
		h	23.9 (14.6)	-7.0	2.9 (1.4)	8.2 (6.0)				
	Max	E	23.6 (5.8)	-2.4	3.6 (2.2)	6.0 (2.3)	6.5	5	3.2	4.6
		N	43.0 (21.2)	-0.8	5.7 (3.0)	11.6 (5.5)				
		h	214.3(14.0)	-3.7	16.6 (2.4)	54.9 (4.9)				

Tabella 2 - Confronti tra le soluzioni RTK in riferimento alla rete piemontese e monografie.

Considerando solo i siti dove è stato possibile stabilire la connessione telefonica (8 punti nei pressi di Varzi ed ulteriori 8 attorno ad Alessandria, tutti stazionati in 2 sessioni indipendenti) le misurazioni per le quali non è stato possibile ottenere una soluzione Fixed sono state:

- all'interno della rete lombarda:
 - 2 misurazioni in appoggio alla rete piemontese (1 Max, 1 iMax su 2 punti distinti).
- all'interno della rete piemontese:
 - 7 misurazioni in appoggio alla rete piemontese stessa (1 Max e 6 iMax su 6 punti distinti);
 - 3 misurazioni in appoggio alla rete lombarda (1 FKP e 2 VRS su 3 differenti punti).

Il superamento della tolleranza si è verificato solamente per punti esterni alle reti ed in particolare:

- 1a campagna - interna alla rete lombarda: 4 soluzioni ottenute in riferimento alla rete piemontese (2 Max, 2 iMax in 4 punti distinti);
- 2a campagna - interna alla rete piemontese: 1 soluzione VRS in riferimento alla rete lombarda.

Complessivamente confrontando in tabella 1 e 2 le differenti soluzioni (VRS, FKP, iMax, Max), non si evidenziano particolari differenze.

In particolare nella tabella 1, la campagna con punti esterni alla rete Lombarda presenta casualmente una migliore situazione satellitare rispetto ai rilievi effettuati con lo stesso gestore su punti interni alla rete, alterandone pertanto il confronto. Non si può dire altrettanto per la tabella 2, per la quale i valori elevati del GDOP-massimo presenti in tabella 2 si riferiscono a singoli posizionamenti, peraltro tutti con soluzioni risultate nei limiti di tolleranza; escludendo tali singoli valori le configurazioni satellitari risultano complessivamente confrontabili.

I valori riportati in tabella 2 in corrispondenza delle soluzioni di tipo Max e iMax per punti esterni alla rete, sono ottenuti considerando tutti i punti per i quali si sia ottenuta una soluzione di tipo Fixed. Tali valori risentono della presenza di due singole soluzioni (1 per iMax ed 1 per Max) caratterizzate da differenze elevate rispetto alle monografie; i valori dei parametri statistici depurati da tali soluzioni, sono riportati tra parentesi. Per quanto riguarda tali singole soluzioni, si noti che durante la campagna di misure non si sono riscontrati valori dei parametri a disposizione dell'operatore che potessero far pensare ad un cattivo posizionamento (N° Satelliti = 5, GDOP = 3.5 per la soluzione iMax; N° Satelliti = 5, GDOP = 4.3 per Max); uniche particolarità riscontrate proprio in tali punti sono state le difficoltà nella ricezione delle correzioni, a connessione telefonica avvenuta, e/o il mancato fissaggio delle ambiguità con l'altra soluzione offerta dal gestore della rete.

Si noti come le soluzioni esterne alla rete della tabella 2 risultino in ogni caso con differenze massime più elevate per punti esterni alla rete, rispetto alle soluzioni per punti interni, come poteva essere facilmente immaginabile.

In tabella 3 si riportano i tempi medi impiegati al fissaggio delle ambiguità (a partire dall'avvio della connessione con il server-gestore) suddivisi per tipo di soluzione e per posizione del punto rispetto alla rete di appartenenza. Da questa si evidenzia una netta riduzione del tempo necessario ad ottenere una soluzione Fixed nel passare da punti situati all'esterno a punti situati all'interno della rete considerata.

Tempi medi per soluzioni Fixed				
	VRS	FKP	iMax	Max
	[s]			
Interno rete	19	15	30	24
Esterno rete	39	34	47	42

Tabella 3 – Tempi impiegati per il fissaggio delle ambiguità per differenti soluzioni.

CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato sperimentato il comportamento delle soluzioni GPS ottenute in tempo reale in appoggio a due reti di stazioni permanenti limitrofe, quella lombarda e quella piemontese, in funzione

della posizione dell'utente rispetto ai confini delle reti stesse.

Entrambe le reti sono state oggetto di indagine all'interno della propria area di pertinenza e in zone immediatamente esterne.

I risultati delle misurazioni effettuate internamente alle aree di pertinenza di entrambi i gestori, considerando tutte le sessioni in cui siano state fissate le ambiguità di fase, hanno fornito valori delle differenze rispetto alle monografie in linea con le precisioni attese. Nella tabella 1 le soluzioni sono confrontabili tra punti interni ed esterni alla rete considerata, in quanto la configurazione satellitare dei vertici esterni è migliore; nella tabella 2 invece, essendo la configurazione satellitare simile tra le differenti campagne, gli s.q.m dei confronti per le differenti soluzioni peggiorano nel passare dall'interno all'esterno, rispecchiando quanto atteso. L'analisi effettuata porta pertanto a confermare l'importanza dell'appartenenza del punto all'area interna alla rete di Stazioni Permanenti.

Infine le campagne svolte hanno messo in luce che nel 40% dei punti stazionati era presente la copertura di un solo gestore di telefonia mobile, mentre i punti non rilevabili per assenza totale di copertura sono risultati essere circa il 20%. Come ovvio i rilievi in tempo reale necessitano di connessioni telefoniche stabili, sempre meglio garantite da una continua evoluzione delle infrastrutture per la telefonia mobile.

Ringraziamenti. Si ringrazia l'ing. Sebastiano Esposito per l'importante contributo apportato nell'ambito della preparazione del proprio lavoro di tesi di laurea e successive collaborazioni.

Si ringrazia inoltre il gruppo di lavoro di GPSLOMBARDIA, la Regione Piemonte, gli ingg. Piras, Roggero, Pesenti e il Prof. Manzino per la preziosa e sempre disponibile collaborazione in riferimento alle campagne di misura.

BIBLIOGRAFIA

- Biagi L., Sansò F. et al., *Il Servizio di Posizionamento in Regione Lombardia e la prima sperimentazione sui servizi di rete in tempo reale*, Bollettino SIFET n° 1, 2006.
- Biagi L., Crespi M., Manzino A., Sansò F., *I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS*, relazione invitata alla 9° Conferenza ASITA, 2005, Catania, in pubblicazione sul Bollettino SIFET n° 1, 2006.
- Cina A., Manzino A., Piras M., Roggero M., *Rete test in Piemonte, impianto e risultati*, in Bollettino SIFET, No 2, 2004, pp. 77-94.
- Progetto PRIN 2004: <http://geomatica.como.polimi.it/prin/progetto.php>
- IREALP GPSLombardia: <http://www.gpslombardia.it>
- Rete test di SP GPS, Politecnico di Torino: <http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0102.htm>.