

Correzioni differenziali a partire da Stazioni Permanenti GPS “in linea”: test di posizionamento RTK

Tiziano Cosso(*), Damiano Natali(*), Manuele Pesenti(**), Domenico Sguerso(*)

(*) Università degli Studi di Genova
Dipartimento di Macchine, Sistemi Energetici e Trasporti – DIMSET
tiziano.cosso@unige.it

(**) Politecnico di Torino
Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie – DITAG
manuele.pesenti@polito.it

Riassunto

Recentemente la Regione Liguria ha avviato, con il supporto scientifico dell'Università degli Studi di Genova, la realizzazione di una rete di Stazioni Permanenti GNSS per un Servizio di Posizionamento in ambito regionale. Proprio la particolare conformazione del territorio ligure non può che portare ad una dislocazione delle Stazioni Permanenti su di un allineamento debolmente curvo. Conseguentemente la stima delle correzioni differenziali risentirà della particolare configurazione “in linea” con probabili mal-condizionamenti delle stime stesse.

In questa ottica, si sono progettati alcuni test RTK in appoggio a Stazioni Permanenti della rete GPS gestita dal Politecnico di Torino, individuate in modo tale che la loro dislocazione bene rappresenti l'andamento del territorio ligure. A tal fine anche il software di rete è stato configurato in modo tale da gestire una “cella” di stazioni paragonabile alla dislocazione delle stazioni liguri.

I test di posizionamento sono stati eseguiti su punti distribuiti nelle province di Asti ed Alessandria, sia lungo l'allineamento tra le Stazioni Permanenti che molto discosti da questo, per valutare l'effettiva qualità plano-altimetrica della soluzione RTK.

Le campagne di misura hanno fornito indicazioni riguardanti sia lo stato della rete piemontese sia la disposizione delle future Stazioni Permanenti liguri; in particolare evidenziano sin d'ora l'utilità di integrare Stazioni Permanenti appartenenti a reti GNSS limitrofe nel calcolo delle correzioni differenziali del servizio ligure.

Abstract

Recently Liguria Region has started, with the scientific support of University of Genova, the realization of a GPS Permanent Station Network as a Positioning Service at regional level. Due to the particular conformation of the Ligurian territory, the Permanent Stations will be dislocated along a weakly curved alignment. Consequently the estimation of differential corrections will feel the effects of the particular “linear” configuration, probably causing bad-conditioned estimations.

For this reason, RTK tests were performed in reference to some Permanent Stations of the network managed by Politecnico of Torino, chosen so that their dislocations reproduce the shape of the Ligurian territory. Moreover, the network software was configured so to manage a “cell” of stations comparable to the ligurian dislocation.

Tests were performed on point distributed in Asti's and Alessandria's districts, either along the alignment between the Permanent Stations and very far from it, so to evaluate the effective plano-altimetric quality of RTK solution.

The survey campaigns have provided indications about either the state of Piemonte Network and the disposition of the future Ligurian Permanent Stations; in particular they point out from now on

the utility of integrating Permanent Stations of neighbouring GNSS networks in the estimation of differential corrections for the Ligurian service.

Introduzione

Nell'ambito del progetto avviato dalla Regione Liguria per l'installazione di una rete di Stazioni Permanenti GNSS sul territorio regionale, di cui l'Università degli Studi di Genova è partner scientifico, si sono affrontate in fase di progettazione alcune problematiche legate alla particolarità del territorio ligure. Rispetto ad altre situazioni regionali, infatti, la nascente rete ligure presenta una caratteristica particolare data dalla peculiare conformazione fortemente monodirezionale dei confini entro cui verrà realizzata. La geometria del territorio regionale, la cui larghezza risulta compresa tra i 7 ed i 35 km, ha pesantemente influenzato la dislocazione delle future Stazioni Permanenti (SP) che sono risultate vertici di triangoli molto schiacciati nella direzione perpendicolare all'arco rivierasco. In conseguenza di ciò si è voluto approfondire come la stima delle correzioni differenziali possa risentire della particolare configurazione "in linea" con possibili mal-condizionamenti delle stime stesse.

In questa condizione di progettazione della futura rete ligure, si possono riscontrare essenzialmente due problematiche: una, per così dire, "a livello di rete" ed una "a livello di calcolo delle correzioni differenziali". La configurazione in linea infatti influisce, in prima battuta, sul calcolo delle ambiguità di fase, data la minore ridondanza di basi per ogni singola stazione. Dato per buono questo aspetto, attraverso la campagna di misure in oggetto si è voluto studiare l'applicabilità delle correzioni di rete generate per porzioni di territorio al di fuori della linea lungo cui le SP sono dislocate. Se, infatti, lungo tale congiungente il calcolo delle correzioni differenziali di rete può risentire poco della particolare configurazione geometrica della rete, risulta invece un degrado al crescere della distanza tra essa ed il punto di misura RTK, per quanto complesso possa essere il processo di interpolazione proprio dell'approccio adottato dal software di gestione della rete.

Rete di SP "in linea": campagna di misura

Simulazione della situazione ligure con alcune stazioni della rete piemontese

Per poter riprodurre la situazione geometrica propria della futura rete ligure al fine di simulare rilievi in tempo reale verificando sperimentalmente l'affidabilità delle correzioni differenziali si sono effettuati alcuni test GPS RTK su punti di coordinate note in appoggio alla rete regionale piemontese, ed in particolare ricevendo le correzioni da una "cella" rappresentativa di una situazione simile a quella ligure. Tale cella, nominata "Linea", è composta dalle SP di Savigliano, Asti, Alessandria e Pavia la cui congiungente è assimilabile ad una retta debolmente curva con orientamento Est-Ovest.

Simulazione del contributo di SP esterne alla soluzione di rete della futura rete ligure

Si consideri inoltre come la Regione Liguria, seppure di estensione limitata, confini a Nord e ad Est con altre Regioni nelle quali è già attiva una infrastruttura di rete GNSS per il tempo reale. In quest'ottica si è voluto perciò indagare l'opportunità di integrare nel calcolo della rete ligure altre SP appartenenti a Regioni limitrofe quantificandone l'apporto in termini di precisione nel posizionamento.

Sempre in appoggio alla rete piemontese si è perciò creato una cella (denominata "Linea2") contenente le quattro SP in linea già citate con l'aggiunta della SP di Vercelli, posta al di fuori dell'allineamento e pressappoco sul suo asse in direzione Nord, proprio a riprodurre la presenza di un contributo esterno alle SP liguri.

Infine si è ritenuto di effettuare i test anche utilizzando correzioni provenienti dall'intera rete MRS (Multi Reference Station) piemontese (test chiamato "Rete") in entrambe le modalità messe a disposizione dal gestore (Max e i-Max) per valutare le differenti precisioni di soluzioni "di rete" e soluzioni "di linea".

Software di rete utilizzato (Spidernet)

Per la simulazione della rete ligure è stato usato il software GPS Spider, sviluppato dalla Leica Geosystems, nella versione 2.3, in uso presso il DITAG del Politecnico di Torino per il mantenimento della rete piemontese. Il modulo SpiderNet server permette, infatti, la creazione di prodotti di correzione differenziale generati da celle preimpostate. Sono state create con i criteri illustrati due celle, denominate “Linea” e “Linea2”, per le quali è stato impostato un prodotto di correzioni differenziali di tipo MAX (Master AuXiliary) basato su protocollo RTCM per lo *streaming* dei dati nella versione 3.1, date le migliori caratteristiche di leggerezza dei dati trasmessi e, di conseguenza, le migliori prestazioni, anche in termini di velocità, di questa versione del protocollo rispetto a quella antecedente (2.3).

Modalità di svolgimento dei rilievi

Le modalità con cui si sono svolte le campagne di misura sono state scelte in maniera da simulare l'utilizzo della rete da parte dell'utenza professionale (Cosso et al., 2007), e seguendo alcuni criteri:

- le misurazioni sono state effettuate in giorni ed orari lavorativi (Giovedì e Venerdì, 8-18) senza considerare a priori la qualità della configurazione geometrica dei satelliti;
- la messa in stazione è stata effettuata mediante treppiede geodetico e piombino ottico per 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 la prima sessione di misura si sono effettuate tre prove indipendenti (ovvero con spegnimento e ri-accensione della strumentazione fra una prova e l'altra): le due modalità Max e iMax dell'intera rete e la cella “in linea”;
- per la seconda sessione di misura si sono effettuate quattro prove indipendenti aggiungendo alle precedenti la cella “in linea” stabilizzata con l'aggiunta della SP di Vercelli;
- le acquisizioni in ciascuna prova sono avvenute con:
 - ❖ intervallo di campionamento dei dati pari a 1 secondo;
 - ❖ angolo minimo di elevazione satellitare pari a 10°;
 - ❖ registrazione di una osservazione mediata su 5 epoche e di altre 5 singole epoche (tutte con soluzione di fase ad ambiguità fissate);
- attribuzione di esito negativo alle prove per le quali non si sia ottenuto il fissaggio delle ambiguità entro il 5° minuto a partire dalla connessione al gestore della rete (ricezione delle correzioni differenziali).

Zona e punti scelti

L'area interessata dai vertici della rete regionale di raffittimento su cui si sono effettuati i test, le cui monografie sono state messe a nostra disposizione in virtù di un accordo tra Regione Piemonte e Regione Liguria, si trova tra le città di Asti ed Alessandria, 15 km al di sopra e 15 km al di sotto della loro congiungente. Tali punti sono stati scelti in funzione di alcuni criteri:

- risultando compresi tra le due SP più interne della “Linea” si è potuto eliminare eventuali effetti di bordo;
- tutti i punti distano dall'allineamento delle SP in linea non più di 15 km, distanza entro la quale verrebbero a trovarsi la maggior parte dei punti del territorio ligure;
- tutti i punti scelti risultano più distanti di 10 km dalle SP di Asti ed Alessandria per evitare di ottenere soluzioni di singola stazione;
- si è cercato di mantenere una certa equità tra numero di punti sopra e sotto la retta.

Lo strumento utilizzato è un ricevitore Leica GX 1230 con antenna AX1202; il collegamento tra gestore della rete ed utente è stato effettuato via modem GSM tramite protocollo NTRIP e formato dati standard RTCM 3.1.

Risultati ottenuti**Trasformazione degli output strumentali IGS05 in IGM95 mediante i parametri stimati dal Politecnico di Torino**

L'analisi dei risultati è stata effettuata confrontando le coordinate ottenute in campagna nelle diverse modalità con quelle riportate sulle monografie.

E' risultato perciò necessario, come primo passo, rendere confrontabili le due grandezze: mentre infatti le prime sono fornite in WGS84, le seconde sono ottenute in IGS05, sistema di riferimento nel quale viene compensata la rete GNSS. Per compiere la trasformazione da IGS05 a WGS84 si è utilizzato il software Topo.exe ed i relativi 7 parametri di Rototraslazione con Variazione di Scala, messi a disposizione sul Sito Internet del Politecnico di Torino. Nel nostro caso tutto ciò è stato fatto a posteriori, ma si segnala come sia possibile ottenere direttamente in campagna le coordinate nel sistema di riferimento prescelto impostando direttamente sul ricevitore i parametri di trasformazione.

Analisi dello stato dei collegamenti

Nel corso del rilievo si è riusciti a compiere gran parte delle misurazioni in programma, in quanto su nessun punto si è riscontrata totale assenza di copertura telefonica (Tim e Vodafone), tuttavia in alcuni casi essa non è stata tale da consentire il fissaggio delle ambiguità: solo in un caso di collegamento stabile il ricevitore non è riuscito ad ottenere soluzioni *fixed* entro il tempo prestabilito di 5 minuti a partire dall'arrivo delle prime correzioni differenziali. A dimostrazione della variabilità temporale della copertura Tim (a cui si appoggiava lo strumento), il problema di collegamento non è stato riscontrato in entrambi i giorni delle prove sugli stessi punti.

		Differenze rispetto alle monografie				N° Sat. osservati		
		Max [cm]	Min [cm]	Media [cm]	SQM [cm]	Max	Min	Media
Linea Max	E	3,5	0,3	1,6	0,9	8,0	5,0	6,8
	N	5,0	0,2	1,4	1,4			
	h	27,9 (11,2)	2,3	8,4 (6,0)	7,4 (3,0)			
Linea2 Max	E	4,7	0,2	1,4	1,4	9,0	6,0	7,6
	N	1,1	0,0	0,6	0,3			
	h	66,3 (9,7)	0,6	12,0 (5,2)	19,4 (3,1)			
Rete Max	E	10,9	0,3	2,4	3,1	10,0	7,0	7,8
	N	21,1 (3,5)	0,0	3,4 (1,2)	6,3 (1,3)			
	h	7,3	0,2	3,7	2,6			
Rete iMax	E	2,3	0,2	1,3	0,7	8,0	5,0	6,8
	N	4,7	0,7	2,0	1,5			
	h	5,0	0,3	2,5	1,5			

Tabella 1 – Confronti tra le soluzioni RTK e monografie per le diverse modalità.

Tra parentesi i dati ottenuti ignorando gli outliers.

Valori di HDOP: max 1,7; min 0,9; media 1,2. Valori di VDOP: max 2,4; min 1,1; media 1,7.

Analisi delle soluzioni RTK

Analizzando i risultati ottenuti si nota come le misure effettuate in tutte e quattro le modalità abbiano fornito precisioni minori, in planimetria, di 10 cm e, in altimetria, di 15 cm (senza contare gli outlier). Si può inoltre osservare come tra soluzioni “di rete” e “di linea” non siano sistematicamente presenti differenze stimabili se non in altimetria, dove le prime si rivelano mediamente più precise dell’ordine di 2 cm rispetto alle seconde (fig. 1). Inoltre tra le due soluzioni “di rete” si sottolinea un miglioramento medio nella precisione (sia in altimetria che in planimetria) della soluzione iMax rispetto alla Max di 1-1,5 cm (tab. 1). Questo rivelerebbe, in una certa misura, una maggiore efficienza del calcolo della localizzazione delle correzioni differenziali quando effettuato dal server SpiderNet piuttosto che dal software del ricevitore.

Il confronto con i risultati del test PRIN2004 (Cosso et al., 2007) mostra come l’ordine di grandezza dell’accuratezza ottenuta sia simile ma anche come, mentre allora si erano dimostrate più precise le soluzioni di Rete Max, nel nostro caso ciò avvenga con la Rete iMax.

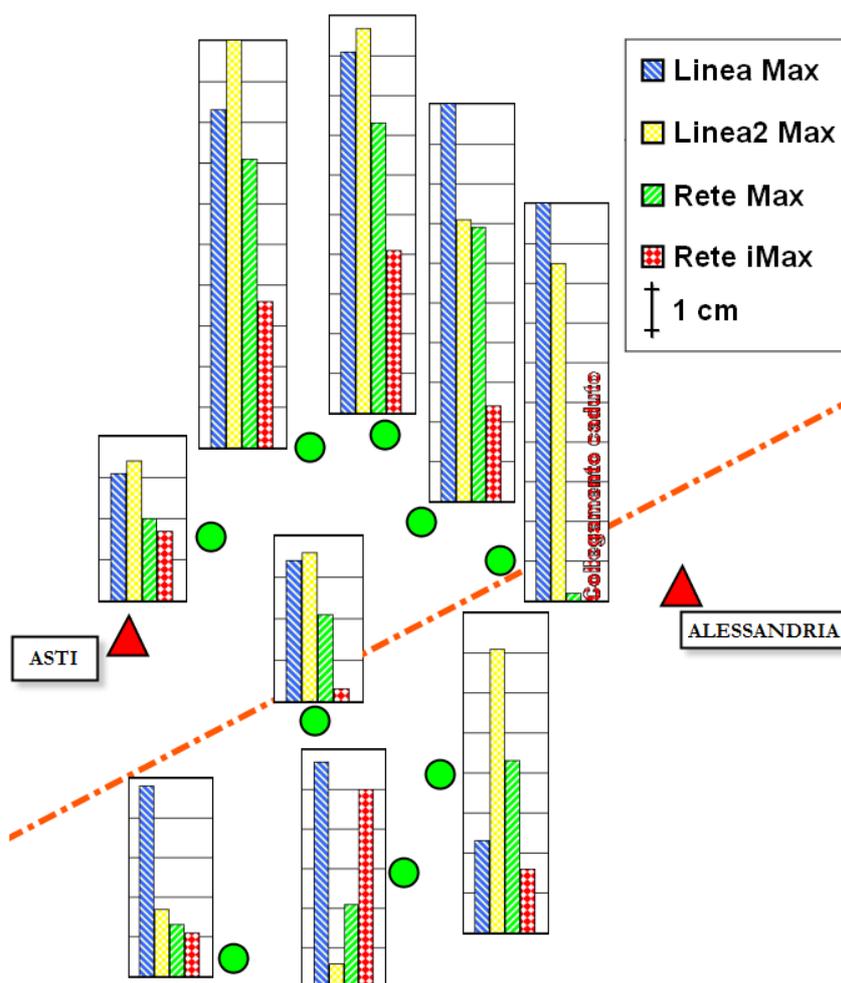


Figura 1 – Precisione altimetrica e dislocazione geografica dei vertici oggetto di rilievo RTK

Per ciascuna delle suddette soluzioni è stata eseguita sia una osservazione mediata su 5 epoche, sia una serie di osservazioni “singola epoca”: durante il Post-processamento si è notata tanto l’ottima coerenza di comportamento tra le soluzioni all’interno della stessa serie, quanto la non completa coerenza tra queste e la precedente media. Questa differenza di comportamento suggerisce la necessità di future analisi, a partire da una serie di dati notevolmente maggiore, per arrivare a considerazioni più precise circa un’ottimale scelta del tempo di stazionamento sul punto.

Si vuole inoltre evidenziare la saltuaria presenza di corrispondenza tra indicazioni fornite dai parametri di qualità disponibili in campagna (Deviazione Standard, QC, numero dei satelliti, DOP, tempo di fissaggio delle ambiguità) e l'effettiva bontà del rilievo.

Oltre alle motivazioni di ricerca, i test qui esposti sono stati effettuati per convalidare o meno la disposizione lineare delle SP liguri: valutando in tale ottica quanto ottenuto si può dire che la maggiore/minore precisione non trova particolari correlazioni con la posizione geografica (fig. 1), come è giusto che sia all'interno dell'area di validità di una rete di SP per il tempo reale. Tale aspetto era però da valutarsi nel caso della particolare disposizione "in linea" della rete ligure: si è potuto rispondere positivamente anche a questo quesito, avendo riscontrato che l'estensione del territorio ligure, trasversalmente alla linea di distribuzione delle stazioni, non eccede l'area di validità della rete stessa.

Conclusioni

Nel presente lavoro è stato sperimentato il comportamento delle soluzioni RTK ottenute a partire da celle differenti costituite da SP della rete piemontese: in particolare la modalità Linea Max sembra atta a fornire correzioni differenziali sufficientemente stabili nel tempo, almeno per zone distanti della linea non più di quanto sia la maggior parte della Liguria.

Le campagne di misura hanno evidenziato come i risultati soddisfacenti della modalità Linea siano tuttavia migliorabili mediante l'introduzione di osservazioni effettuate da SP non allineate (Linea2): questo, nel caso della regione Liguria, vorrebbe dire utilizzare nel calcolo anche SP appartenenti a reti regionali limitrofe, il che garantirebbe anche una maggiore stabilità logistica in concomitanza di eventi che comportino la non ricezione del dato di correzione di una qualche SP da parte del server di gestione della rete.

Ringraziamenti

Si ringrazia il Settore Informativo Territoriale della Regione Piemonte, nella persona del dirigente dott. Garretti, per aver messo a disposizione le monografie dei Punti Fiduciali della rete di raffittimento regionale.

Si ringrazia inoltre l'ing. Pesenti e il Prof. Manzino per la preziosa e sempre disponibile collaborazione in riferimento alle campagne di misura.

Bibliografia

- Rete test di stazioni permanenti GPS per il posizionamento Multi Reference Station, Politecnico di Torino: <http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0102.htm>
- T. Cosso, B. Federici, D. Sguerso (2007), Rilevamenti in tempo reale in prossimità dei confini di reti di stazioni permanenti GPS, PRIN 2004 – I servizi di posizionamento satellitare per l'e-governement
- Sistema Informativo Territoriale, Regione Piemonte