

# Esperienze di posizionamento GPS cinematico in ambito urbano

Noemi E. CAZZANIGA<sup>a</sup>

Diana PAGLIARI<sup>b</sup>

Livio PINTO<sup>c</sup>

## *Tests of kinematic GPS positioning in urban areas*

DIAR - sez. rilevamento

Politecnico di Milano, p.zza L. da Vinci, 32  
20133 Milano

t <sup>a</sup> 0223996505;

e noemi.cazzaniga@polimi.it

t <sup>b</sup> 0223996543

e diana.pagliari@polimi.it

t <sup>c</sup> 0223996525

e livio.pinto@polimi.it

**Parole Chiave** > GNSS, Ground Penetrating Radar, posizionamento cinematico, ambiente urbano.

**Key Words** > GNSS, Ground Penetrating Radar, Kinematic Positioning, urban canyons

**Riassunto** > In ambito urbano si sviluppa la maggior parte delle reti di sottoservizi, di cui geometria e posizione non sono spesso note con una precisione sufficiente agli interventi nel sottosuolo. Per ricavare una corretta ricostruzione tridimensionale della geometria e della posizione degli elementi interrati utilizzando il Ground Penetrating Radar, è necessario georeferenziare tale strumento con una precisione di circa 20-40 cm. È stato recentemente proposto dagli autori di risolvere il problema del posizionamento del veicolo rilevatore che traina l'antenna georadar, nei tratti in cui il posizionamento GPS non è possibile o non ha le caratteristiche di accuratezza richieste, con un approccio fotogrammetrico inverso, appoggiato alla cartografia a grande scala. Alcuni punti GPS sono comunque utili (talora necessari) per vincolare il blocco fotogrammetrico, ma devono soddisfare requisiti di qualità e affidabilità per non distorcere la stima fotogrammetrica.

Nel presente articolo sono presentati i risultati di posizionamento GNSS di alcuni test cinematici eseguiti presso un quartiere residenziale della città di Cremona, caratterizzato dalla presenza di edifici non particolarmente elevati, scelto in modo da permettere, seppur in ambito urbano, la ricezione del segnale GPS. In particolare sono discusse le soluzioni ottenute utilizzando due differenti strumentazioni e differenziando i dati cinematici rispetto a diverse stazioni permanenti sia "fisiche" che virtuali, al fine di definire in che modo sia possibile isolare le soluzioni adatte alle esigenze del georadar.

**Abstract** > In urban areas one can find the main part of underground utility infrastructures, whose geometry and position are not often known with precision sufficient for a new dig. In order to provide a

Articolo ricevuto in redazione nel mese di Dicembre 2012 e accettato dopo revisione nel mese di Marzo 2013

correct three-dimensional representation of buried objects using Ground Penetrating Radar, it is necessary to georeference it with a horizontal accuracy of 20-40 centimeters. The authors recently proposed to solve the problem of positioning a vehicle that hauls the GPR antenna, with an inverse photogrammetric approach, that uses information extracted from large scale maps; this can be very handy where the GPS positioning is not possible or does not reach the required accuracy. However, some GPS points are still useful (and sometimes necessary) to constrain the photogrammetric block, but they must fulfill requirements of quality and reliability to ensure a right photogrammetric estimation.

In this article GNSS-only positioning results, obtained during some kinematic tests, are presented. These tests have been performed in some residential blocks of the city of Cremona. The site choice was due to the presence of low buildings that could allow GPS signal reception, even in urban environment. In particular, the article focuses on the solutions obtained using two different instruments and on the differentiation of the data with respect to different permanent station (both "virtual" and "physical"), in order to define how to identify those solutions suitable to the georadar requirements.

## 1. Introduzione

La posizione e la geometria delle infrastrutture interrato solitamente non sono note con una precisione sufficiente all'esecuzione di un nuovo scavo: questo problema è spesso risolto svolgendo delle apposite prospezioni geofisiche per mezzo del Ground Penetrating Radar (GPR). Tale strumento, da solo, non è in grado di fornire alcuna informazione circa la propria posizione e necessita, quindi, di essere georeferenziato. La tolleranza planimetrica richiesta per poter ricostruire tridimensionalmente gli oggetti rilevati è di 20-40 cm. Se non si è in presenza di forti variazioni delle pendenze del terreno non viene richiesta alcuna informazione di tipo altimetrico (solitamente la profondità degli oggetti identificati è riferita direttamente al piano campagna).

Dove la visibilità del cielo è buona, tale posizionamento può essere facilmente garantito utilizzando la strumentazione GNSS in modalità differenziale di fase. Per quanto riguarda la scelta della stazione master da adottare, se è disponibile una rete di stazioni permanenti, risulta vantaggioso il suo utilizzo rispetto all'installazione di una stazione GPS appositamente collocata nella zona di rilievo. In questo caso è ormai prassi comune utilizzare soluzioni di rete, in grado di ottimizzare i valori dei termini di correzione, piuttosto che calcolare le posizioni rispetto a una singola antenna.

Nelle aree urbane, invece, a causa della presenza di ostacoli, come ad esempio alberi, tunnel o edifici di media ed elevata altezza, non ci si può basare solamente sul GNSS. Spesso questo problema viene risolto integrando dei sistemi inerziali, ma la deriva della soluzione è troppo rapida in caso di prolungate assenze del segnale GPS, situazione molto probabile nel nostro caso a causa della bassa velocità di avanzamento del georadar. Un'altra tecnica utilizzata di frequente prevede l'impiego di stazioni totali che inseguono un target posto sul veicolo al quale è vincolato il GPR. Questo sistema risulta però essere fin troppo preciso per gli scopi prefissati e in ambito urbano è molto facile che qualche ostacolo si interponga tra lo strumento e il target, impedendo quindi un corretto posizionamento. Recentemente è stato proposto dagli autori di risolvere il problema del posizionamento del veicolo che traina l'antenna georadar utilizzando un approccio fotogrammetrico inverso, appoggiato alla cartografia a grande scala (Barzaghi et al. 2009, Cazzaniga e Pinto 2010, Cazzaniga et al. 2012). Tale soluzione è particolarmente onerosa dal punto di vista computazionale e quindi si prevede la sua applicazione solo nei casi in cui non sia possibile effettuare il posizionamento GNSS puro con le accuratezze richieste. Le precisioni della cartografia sono, inoltre, variabili, sia pure in un range limitato, ed è possibile che siano presenti errori grossolani che potrebbero distorcere in vari modi la soluzione fotogrammetrica: è quindi molto utile integrarvi almeno alcune stime GNSS. La disponibilità e l'accuratezza delle posizioni GPS è naturalmente molto variabile: si ritiene che, almeno in linea teorica,

punti sufficientemente precisi possano essere acquisiti almeno all'inizio o alla fine del rilievo o in corrispondenza di incroci o piazze, dove la visibilità del cielo è migliore. Come noto, però, in prossimità dei tratti in cui il posizionamento GNSS non è possibile, l'affidabilità delle stime può essere scarsa e quindi produrre dei vincoli fotogrammetrici di non adeguata precisione. È quindi essenziale poter isolare le stime GNSS che possano essere definite sufficientemente affidabili e che quindi siano utilizzabili per posizionare il georadar e/o vincolare il blocco fotogrammetrico, possibilmente con il minor intervento da parte dell'operatore in fase di post-processamento. Il presente articolo quindi si focalizza sull'analisi della qualità della soluzione ottenibile in modalità cinematica. Se infatti esiste molta letteratura che analizza le metodologie di posizionamento GPS che sfruttano soluzioni di rete per i casi statici (Alves et al. 2001, Barzaghi et al. 2011, Biagi et al. 2006, Cannon et al. 2001, Fortes et al. 2000, Fotopoulos et al. 2001, Grejner-Brzezinska et al. 2007, Lachapelle et al. 2001, Radicioni e Stoppini 2005, Wübbena et al. 2001), a parere degli autori non è altrettanto studiata l'applicazione cinematica di precisione, soprattutto in ambito urbano (Angrisano et al. 2011, Aponte et al. 2008, Barzaghi et al. 2007, Cazzaniga et al. 2006). In particolare, sfruttando le misure GPS effettuate durante alcuni rilievi cinematici, verranno fatte alcune considerazioni e si cercherà di dare alcune indicazioni sui parametri verosimilmente più indicati per identificare le posizioni stimate più rispondenti alle esigenze del georadar.

## 2. Descrizione dell'esperimento

Il test cinematico è stato progettato in modo che l'ambiente presentasse condizioni simili a quelle operative. Pur essendo previsto per il sistema integrato finale un solo GPS a bordo, per sole finalità di test sono stati utilizzati due strumenti: un ricevitore GNSS con antenna esterna (che verrà indicato come GPSB) e un ricevitore GPS anch'esso dotato di antenna doppia frequenza esterna (GPSA). Le caratteristiche tecniche dei due strumenti, dichiarate dalle case costruttrici, sono riportate in tab. 1. Nel processamento non sono state utilizzate le osservazioni Glonass.

Tabella 1 - Caratteristiche dichiarate dalle case costruttrici dei ricevitori e delle antenne utilizzate nelle prove

	<b>GPSA</b>		<b>GPSB</b>	
antenna	Segnali ricevibili	L1+L2 GPS/GLONASS, WAAS, EGNOS	L1+L2 GPS, WAAS, EGNOS	
	Centro di fase	micro-centered	sub-millimeter	
			phase center accuracy	
	Guadagno del segnale	30 ± 2 dB	50 dB	
	Ground Plane	no	no	
	Attenuazione del multipath	si	si	
ricevitore	Numero di canali	20 L1 + 20 L2 GPS/GLONASS	24 codice L1 C/A, L1/L2, WAAS/EGNOS	
	Segnali tracciati	C/A, P, L1, L2 (GPS/GLONASS), WAAS, EGNOS	C/A, P, L1, L2 (GPS), WAAS, EGNOS	
	Inizializzazione	< 60 s	> 10 s	
	Riacquisizione	1 s	n.a.	

Data la velocità di avanzamento del veicolo la frequenza di campionamento delle misure GPS è stata mantenuta pari a 1Hz e sono state calcolate unicamente le soluzioni post-processate, poiché l'applicazione in fase di studio non richiede il posizionamento in tempo reale. Il numero di satelliti visibili è stato monitorato in tempo reale per mezzo del software che raccoglie i dati necessari per la sincronizzazione degli strumenti (di fatto analizzando una stringa NMEA inviata ad elevata frequenza dal GPSA).

Figura 1 - Sistemazione della strumentazione sul veicolo: si notano le due antenne GPS (una posta davanti e l'altra posta dietro sulla barra metallica fissata al portapacchi) e le due fotocamere per il rilievo fotogrammetrico.

Figura 2 - Area del rilievo: sono indicate schematicamente le traiettorie percorse attorno ai tre isolati dell'area test.



Il test cinematico è stato realizzato eseguendo una serie di traiettorie chiuse (fig. 2), percorrendo alcuni isolati in un quartiere residenziale della città di Cremona. Gli edifici che affacciano sulle vie percorse sono quasi ovunque palazzine piuttosto basse (un paio di piani fuori terra), per cui si prevedeva una limitata ostruzione dei satelliti visibili.



Per il calcolo differenziale della posizione sono state considerate due reti di stazioni permanenti (SP): una rete nazionale, ItalPos di Leica Geosystems, e una rete regionale, GPSLombardia, gestita da ERSAF. La prima, avente copertura nazionale, presenta nell'area del rilievo un'interdistanza tra le SP variabile, anche se inferiore mediamente al centinaio di km; la SP più vicina (ubicata a Piacenza) si trova a circa 30 km di distanza dall'area del test. La seconda rete ha stazioni mediamente un po' più densamente distribuite, ma il rilievo si è svolto in una zona in prossimità dei margini della rete stessa; comunque la SP più vicina (CREM) si trova a circa 4 km di distanza dalla zona rilevata.

### 3. Modalità di trattamento dei dati

Non essendo necessaria, per questa applicazione, una soluzione in tempo reale, i dati GPS raccolti durante il rilievo sono stati post-processati in modalità cinematica utilizzando il software commerciale Trimble Total Control (TTC). Per entrambe le strumentazioni GPS sono state calcolate tre diverse soluzioni, che differiscono in funzione della stazione master adottata (fig. 3).

In particolare sono state utilizzate:

- la stazione permanente di Cremona (CREM) della rete di stazioni permanenti GPSLombardia, distante circa 4 km dalla zona del rilievo;
- una VRS (Virtual Reference Station) generata in prossimità del percorso a partire dai dati della rete lombarda;
- una VRS generata nello stesso punto della precedente dai dati della rete ItalPos di Leica Geosystems.

La frequenza di campionamento è stata pari a 1 sec. In tutti i casi sono state utilizzate le effemeridi rapide fornite dall'IGS, il modello troposferico di Niell e un angolo di cut-off pari a 15°. I parametri di calibrazione delle antenne sono quelli relativi, calcolati dal NGS (National Geodetic Survey).

Le coordinate ottenute sono state riportate tutte al medesimo sistema di riferimento, ETRF89 (IGM95) con proiezione cartografica UTM. Per poter essere utilizzati nella soluzione fotogrammetrica, i risultati di posizionamento GPS devono essere interpolati agli istanti di scatto e deve essere noto, tramite calibrazione, il vettore di posizione relativa tra centro di fase dell'antenna e centro di proiezione, in un sistema di riferimento collegato alla camera. Come anticipato, però, per ottenere un'interpolazione affidabile è necessario selezionare solo i punti con una buona accuratezza di stima.



Figura 3 - Posizioni delle master utilizzate per la soluzione PPK; in azzurro è evidenziata l'area del rilievo.

#### 4. Analisi dei risultati

Per quanto riguarda i dati delle stazioni master la qualità delle osservazioni è comparabile tra le tre opzioni (nel caso delle VRS il multipath è ovviamente assente); la stazione virtuale generata da ItalPos presenta un numero di satelliti inferiore rispetto alle altre due master. Per quanto riguarda i dati delle due strumentazioni installate sul veicolo, invece, pur avendo nominalmente prestazioni molto simili, si è potuto verificare tramite il software TEQC (<http://facility.unavco.org/software/teqc/>) che in tutte le traiettorie cinematiche, GPSB raccoglie osservazioni più soggette a multipath e con un rapporto segnale/rumore peggiore rispetto a GPSA. Inoltre, trattandosi di un rilievo effettuato in ambito urbano, sia pure in presenza di edifici molto bassi, la qualità della soluzione di entrambi i ricevitori è significativamente variabile lungo la traiettoria a causa di frequenti perdite e riagganci dei satelliti più bassi.

A titolo di esempio vengono analizzati nel dettaglio i risultati e alcuni parametri notevoli di uno dei percorsi, ritenuto rappresentativo, perché permette di fare delle interessanti considerazioni. Durante questo rilievo, così come negli altri casi, il numero di satelliti non è mai stato inferiore a quattro.

La prima analisi ha riguardato il fissaggio delle ambiguità della soluzione; nella tabella 1 si può notare come, in pratica, tutte le posizioni siano di tipo fixed, tranne nel caso in cui il ricevitore rover considerato è GPSA e la master è la VRS generata dalla rete GPSLombardia. Questo comportamento anomalo non si riscontra invece in GPSB: non sembra quindi imputabile ai dati della stazione virtuale in sé. Le soluzioni non fixed sono tutte di tipo differenziale di codice (DGPS) e localizzate nel

tratto iniziale del rilievo: sembra quindi che il motore di calcolo non sia riuscito a fissare le ambiguità iniziali per un periodo di tempo piuttosto lungo (circa 3.5 min), pur essendo il numero di satelliti pari a 5 o a 6 ed uguale per entrambi i ricevitori. La soluzione ottimale scelta dal software sfrutta in entrambi i casi non solo gli stessi satelliti, ma anche la stessa combinazione (Lc) delle frequenze L1/L2. Tramite un'analisi più avanzata, si è identificato il satellite problematico (G4), tuttavia il suo rapporto segnale / rumore e il multipath sono leggermente peggiori nel caso di GPSB, contrariamente quanto ci si potrebbe aspettare.

Tabella 2 - Percentuali di soluzioni fixed ottenute nei diversi casi

	Percentuali delle soluzioni fixed		
	CREM	VRS GPSLombardia	VRS ItalPos
GPSA	99.9	73.1	99.9
GPSB	100.0	100.0	99.9

Le analisi successive sono state confinate alle sole componenti planimetriche e alle soluzioni fixed.

Lo scarto quadratico medio (sqm) di stima, calcolato dal software, passa da pochi mm ad alcuni m nei casi più sfavorevoli. Si può notare come anche GPSA fornisca dei posizionamenti fixed con sqm dell'ordine del mezzo metro. Con questo strumento, cambiando la master si ottengono dei risultati sostanzialmente comparabili (tabella 3); con GPSB invece la soluzione con VRS generata dalla rete ItalPos appare meno precisa, presentando valori delle statistiche grosso modo pari al triplo rispetto alle altre due soluzioni (tabella 4). In particolare, gli scarti di stima forniti dal software sono più elevati per la stima con la VRS ItalPos, nei casi in cui c'è una maggiore variabilità del numero di satelliti tra istanti di misura consecutivi (ciò comporta un continuo ricalcolo delle ambiguità di fase). Tuttavia si riscontrano sqm scadenti anche in altre situazioni in cui il numero di satelliti si mantiene costante, con PDOP identico: si potrebbe quindi ipotizzare che la minore qualità della stima sia da imputare ad una inferiore qualità del segnale (multipath elevato o rapporto segnale / rumore basso).

Tabella 3 - Scarto Quadratico Medio di stima delle posizioni ottenute con GPSA

GPSA	sqm planimetrico (m)		
	CREM	VRS GPSLombardia	VRS ItalPos
media	0.035	0.031	0.044
sqm	0.062	0.061	0.070
max	0.437	0.344	0.537

Tabella 4 - Scarto quadratico medio di stima delle posizioni GPSB

GPSB	sqm planimetrico (m)		
	CREM	VRS GPSLombardia	VRS ItalPos
media	0.064	0.146	0.423
sqm	0.171	0.219	0.634
max	3.953	0.954	2.264

Poiché siamo interessati ad ottenere un posizionamento con accuratezze dell'ordine di poche decine di centimetri, abbiamo analizzato la percentuale delle soluzioni che presentavano basso sqm (tabelle 5 e 6), verificando nel contempo quanti punti presentavano accuratezze stimate compatibili con le precisioni formalmente ottenibili per mezzo di un posizionamento cinematico con doppie differenze di fase, ossia pochi cm.

Tabella 5 - Distribuzioni degli scarti quadratici medi per le tre soluzioni – GPSA

sqm	Percentuali (GPSA)		
	CREM	VRS GPSLombardia	VRS ItalPos
< 2 cm	65.3	52.5	34.5
< 5 cm	85.2	64.9	82.6
< 10 cm	91.4	67.1	91.9
< 20 cm	95.8	70.2	95.7
< 40 cm	99.7	86.8	99.2

Tabella 6 - Distribuzioni degli scarti quadratici medi per le tre soluzioni – GPSB

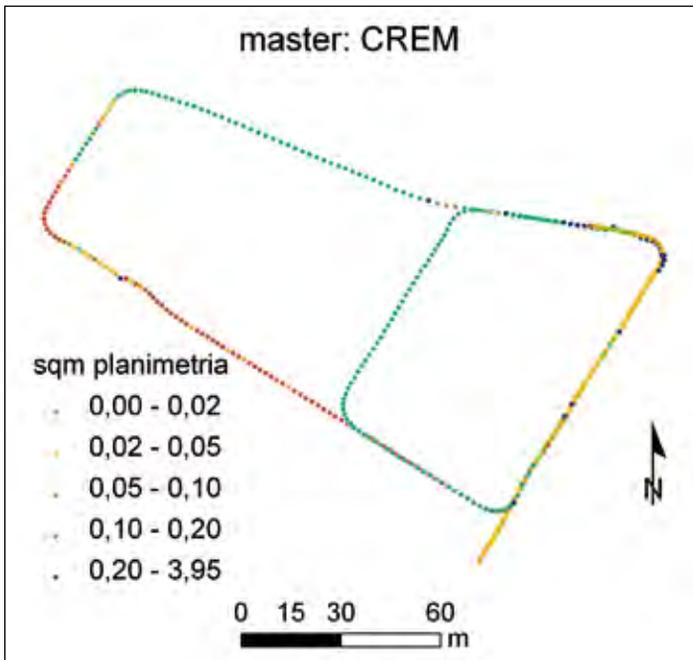
sqm	Percentuali (GPSB)		
	CREM	VRS GPSLombardia	VRS ItalPos
< 2 cm	31.1	25.7	14.8
< 5 cm	73.1	58.5	51.3
< 10 cm	76.7	66.8	60.6
< 20 cm	96.3	76.6	66.1
< 40 cm	98.2	87.5	69.7

Come si può vedere, nonostante vengano considerate solo le soluzioni fixed, una percentuale non trascurabile di punti, variabile tra il 9 e il 49%, ha un sqm superiore a 10 cm, ben più alto di quanto ci si potrebbe attendere da un posizionamento con doppie differenze di fase. Naturalmente le prestazioni di GPSB sono peggiori rispetto a GPSA. Per quanto riguarda le diverse stazioni master si può notare come in genere la soluzione rispetto a CREM appaia migliore delle altre due soluzioni di rete. Le due stazioni master virtuali invece hanno un comportamento opposto per le due antenne: per GPSA la soluzione con VRS Italpos è migliore della VRS GPSLombardia, viceversa per GPSB. Per poter selezionare quindi solo delle soluzioni realmente affidabili, il cui errore di posizionamento sia nel range richiesto dall'applicazione

(posizionamento del GPR), gli autori hanno considerato non sufficiente la sola informazione sul tipo di soluzione (fixed o meno), in quanto si possono avere degli errori di stima superiori alla soglia anche con ambiguità fissate ad intero (almeno con il software di processamento considerato).

È stata effettuata anche un'analisi della distribuzione spaziale dei parametri che influenzano la soluzione (sqm, numero di satelliti e PDOP), per evidenziare, sia pure in maniera qualitativa, eventuali "correlazioni". A titolo di esempio vengono riportati nelle figg. 4 e 5 le soluzioni per GPSB rispetto alla stazione master CREM, poiché permettono interessanti considerazioni.

Figura 4 - GPSB: andamento dello sqm di stima delle posizioni.



Come primo ulteriore parametro di analisi (oltre al tipo di soluzione fixed) è stato assunto il numero di satelliti. Si può infatti vedere, confrontando la fig. 4 con la fig. 5, come lo sqm di stima delle posizioni assuma in genere valori più elevati in corrispondenza delle zone dove il numero di satelliti è basso, ma questa corrispondenza non è sempre verificata (si veda, ad esempio, il tratto all'estremità sud della traiettoria).

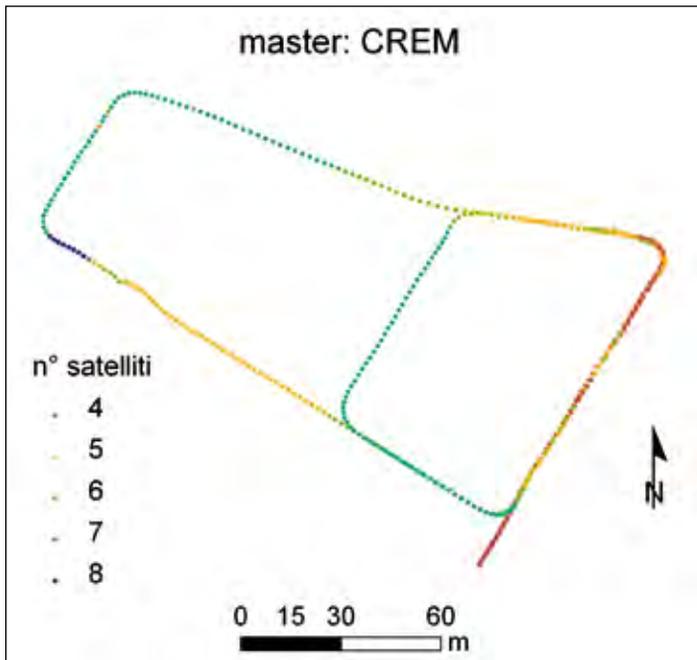
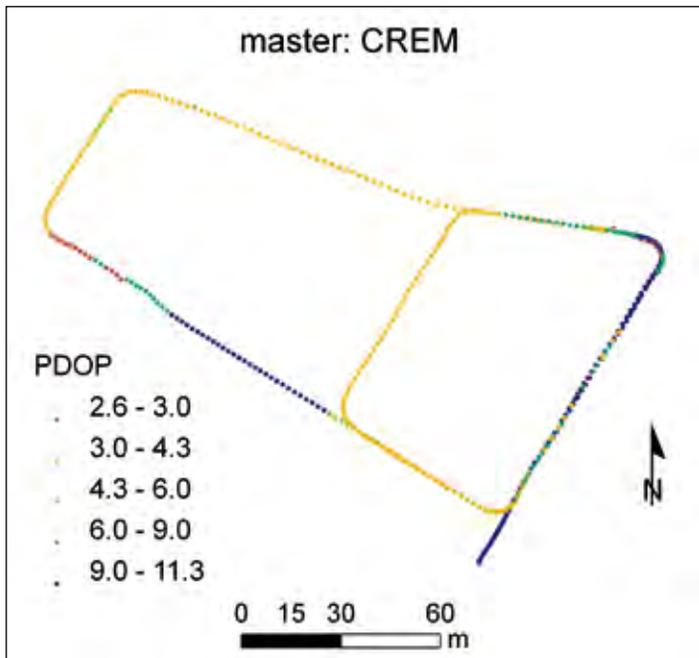


Figura 5 - GPSB: andamento del numero di satelliti visibili (comuni con la master).

Figura 6 - GPSB: andamento dell'indice PDOP.



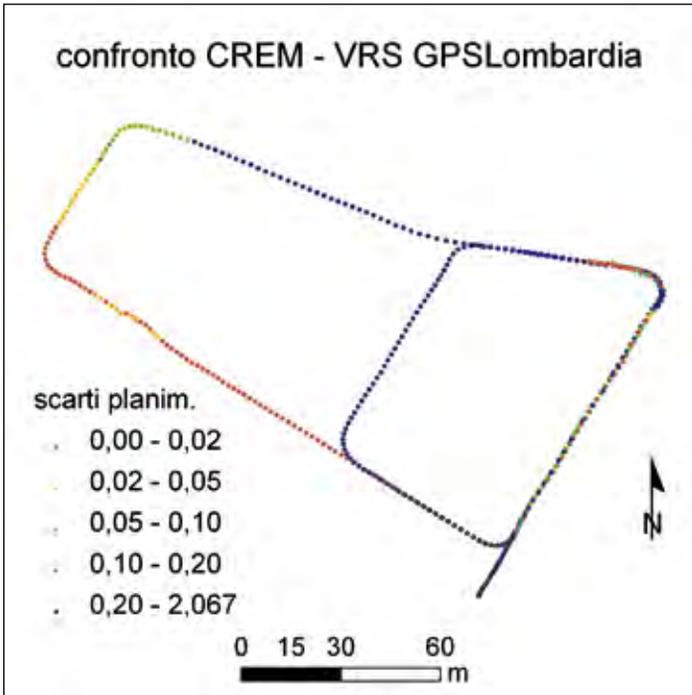


Figura 7 - GPSB: differenze tra la soluzione ottenuta con master CREM e VRS generata da GPSLombardia.

Questo tipo di comportamento, per quanto non frequente, ha spinto gli autori a considerare non sufficiente l'analisi del solo sqm e del numero di satelliti per determinare se gli errori sono accettabili per le applicazioni di posizionamento. E' stato quindi considerato, in contemporanea, anche il valore del PDOP, verificando che fosse sufficientemente basso: ma anche questo parametro non è dirimente per determinare l'affidabilità della soluzione.

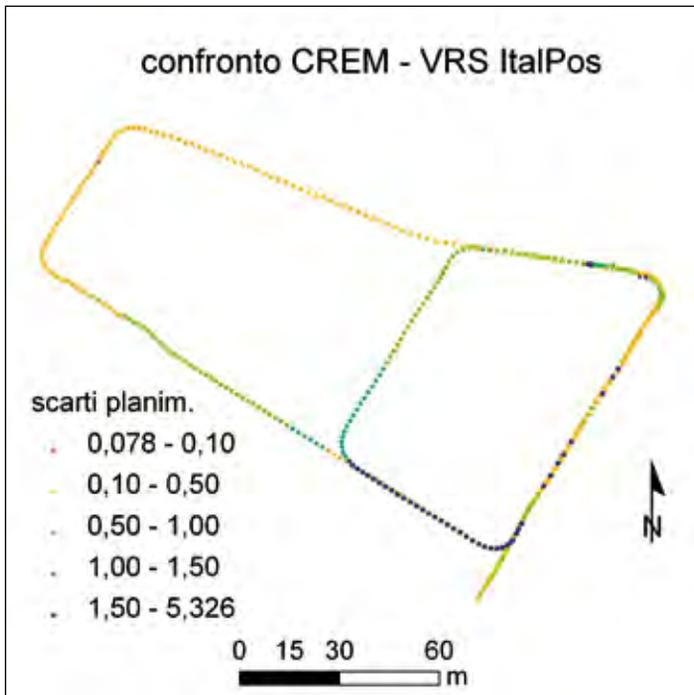
Osservando infatti anche la fig. 6, si può notare come durante il rilievo in alcuni tratti di percorso la disposizione geometrica dei satelliti è risultata pessima ( $PDOP > 9$ ), non sempre però ciò si ripercuote nel valore dello sqm stimato: si hanno infatti dei tratti in cui la configurazione satellitare è stata sfavorevole eppure lo sqm di stima è risultato di pochi cm (ad esempio nel tratto più a sud della traiettoria).

Un'ulteriore analisi è stata realizzata confrontando tra di loro le tre soluzioni. Non disponendo di valori di riferimento delle posizioni, si è ritenuto utile calcolare le differenze, per ciascun campionamento temporale, tra le posizioni ottenute nella soluzione conseguita utilizzando come stazione master l'antenna permanente CREM (di tipo statico ed in prossimità della zona di rilievo) e quelle derivanti dalle due VRS. Come si può vedere nelle figg. 7 e 8, le differenze nelle stime sono anche dell'ordine di alcuni metri.

Ci sono dei casi in cui le differenze sono elevate (e quindi almeno una delle due soluzioni non è affidabile), pur essendo gli sqm di stima di pochi cm.

La maggior coerenza della soluzione ottenuta per differenza tra CREM e VRS di GPSLombardia, visibile in fig. 7, rispetto a quella ottenuta con ItalPos (in fig. 8), si ritiene sia imputabile principalmente alla mancanza di indipendenza tra i dati in quanto la stazione virtuale è stata calcolata con (e soprattutto) le osservazioni di CREM.

Figura 8 - GPSB: differenze tra la soluzione ottenuta con master CREM e VRS generata da ItalPos



Un'ultima considerazione è stata ricavata analizzando qualitativamente le traiettorie ricostruite rispetto alle tre stazioni master. Si può notare infatti (fig. 9) che per il posizionamento dell'antenna L1/L2 rispetto alla VRS-ItalPos si hanno dei "salti" nella traiettoria: da un'analisi più accurata si evince che il loro verificarsi corrisponde al cambiamento del numero di satelliti della costellazione e quindi che sono legati alla bontà del fissaggio delle ambiguità.

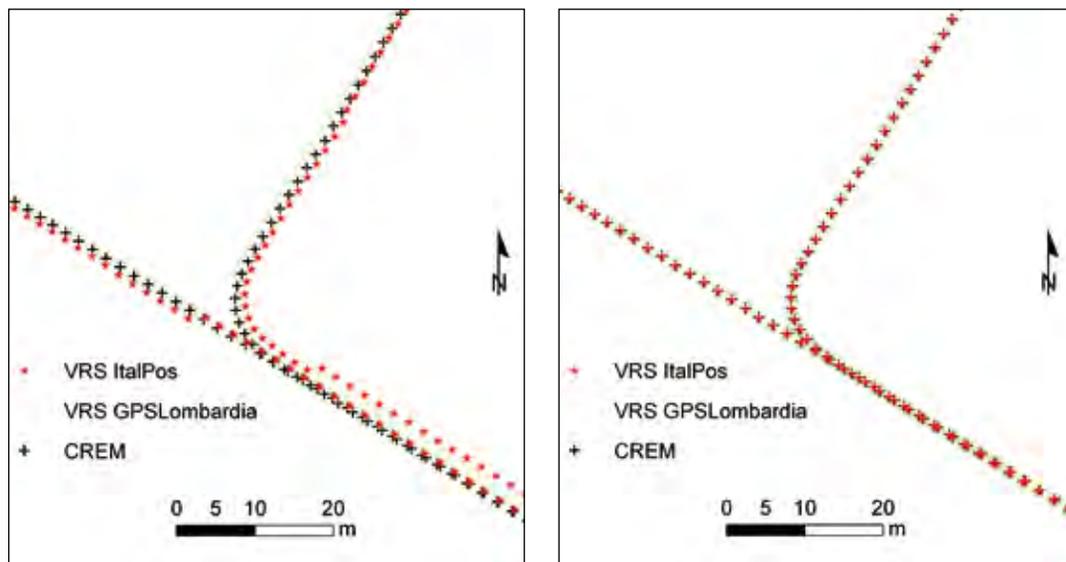


Figura 9 - Posizioni ottenute in un tratto della traiettoria rispetto alle tre master: a sinistra le soluzioni di GPSB, a destra le soluzioni di GPSA.

### Considerazioni conclusive

I test sono stati effettuati tutti nello stesso pomeriggio, pertanto si vuole sottolineare come gli autori non ritengano tali prove rappresentative di tutti i possibili scenari legati al posizionamento GPS cinematico in ambito urbano. In tutti i confronti analizzati, è stata considerata solo la soluzione suggerita dal programma, senza intervenire sui parametri di elaborazione, ad esempio eliminando alcuni satelliti o modificando la combinazione di frequenze adottata per la soluzione. È noto infatti che intervenendo manualmente su taluni parametri è possibile in alcuni casi migliorare la stima. Ciò in effetti si verifica anche nel test in esame, ma è altrettanto vero che nei casi in cui il valore dello  $\text{sqm}$  di stima è basso e non si ha una soluzione di riferimento (e questa è ovviamente assente nei casi reali), l'utente non avverte la necessità di produrre una soluzione alternativa e quindi, di fatto, non la calcola. Inoltre era di interesse per gli autori considerare anche casi critici, dal momento che non sempre questi possono essere risolti, nemmeno intervenendo manualmente.

Si è evidenziato che in alcuni casi si possono ottenere precisioni di stima pluridecimetriche anche se la soluzione è di tipo differenziale di fase, con ambiguità fissate ad intero. Questo comportamento, già riscontrato in letteratura anche in ambiente extraurbano (Stephenson et al., 2011), potrebbe essere ricollegato al multipath. Inoltre la difficoltà, in alcune circostanze, a fissare le ambiguità iniziali in un intervallo di tempo inferiore al minuto, può dipendere dagli algoritmi di fissaggio delle stesse ed è legato al rapporto segnale/rumore delle frequenze misurate ed effettivamente utilizzate per la stima. Questa

motivazione può essere alla base anche della presenza di “salti” nella stima, verificatisi, in qualche caso, nei test. Naturalmente il fenomeno è più frequente quando la strumentazione raccoglie un segnale più rumoroso: la stringente necessità di un’attenuazione effettiva di noise e multipath richiede molto spesso di utilizzare strumentazione di classe elevata nelle applicazioni cinematiche di precisione. Il diverso comportamento delle due strumentazioni si evidenzia anche nella presenza di un maggior numero di outlier nella soluzione GPSB nei tratti di peggior ricezione del segnale. Se si selezionano solo le posizioni aventi sqm planimetrico inferiore a 10 cm l’accordo tra le due soluzioni si attesta intorno al decimetro, mentre in quota si hanno sqm maggiori, sempre però inferiori al mezzo metro.

In tutti i casi si è dimostrato essenziale effettuare un filtraggio della soluzione GPS, sia sul tipo di soluzione (fixed), sia sul valore dello sqm fornito dal software di trattamento dei dati, sia sul valore del PDOP. Gli autori ritengono che per l’applicazione in esame si debbano conservare, tra le soluzioni fixed, solo quelle con sqm inferiore a 20 cm e PDOP minore di 6.

## Ringraziamenti

Si ringraziano ERSAF-GPSLombardia e Leica Geosystems per aver gentilmente fornito i dati grezzi delle VRS. Gli autori ringraziano due revisori anonimi per i loro preziosi suggerimenti.

## Riconoscimenti

La ricerca è stata finanziata con i fondi PRIN 2008 della ricerca “Il nuovo sistema di riferimento geodetico italiano: monitoraggio continuo e applicazioni alla gestione e al controllo del territorio” coordinato a livello nazionale dal prof. F. Sansò.

## Bibliografia

Bibliografia da riviste:

- ANGRISANO A., GAGLIONE S., GIOIA C., ROBUSTELLI U., SANTAMARIA R., 2011, Analisi del posizionamento assoluto GPS e GNSS in ambiente urbano, Bollettino SIFET, n.3.
- BARZAGHI R., CANNIZZARO L., DE GAETANI C., PINTO L., 2011, Esperienze di utilizzo di Reti di SP GNSS per il monitoraggio, Bollettino SIFET, n.4.
- GREJNER-BRZEZINSKA D., KASHANI I., WIELGOSZ P., SMITH D., SPENCER P., ROBERTSON D., MADER G., 2007, Efficiency and Reliability of Ambiguity Resolution in Network-Based Real-Time Kinematic GPS, Journal of Surveying Engineering, 133(2).
- BIAGI L., CRESPI M., MANZINO A., SANSÒ F., 2006, I servizi di posizionamento basati su reti di stazioni permanenti GNSS, Bollettino SIFET, n.1.
- FOTOPOULOS G., CANNON M.E., 2001 An overview of multi-reference station methods for cm-level positioning, GPS Solutions, 4(3).
- FORTES L. P., LACHAPPELLE G., CANNON M. E., RYAN S., MARCEAU G., WEE S., RAQUET J., 2000, Use of a Multi-Reference GPS Station Network For Precise 3D Positioning in Constricted Waterways, International Hydrographic Review, 1(1).

Bibliografia da convegni:

- CAZZANIGA N.E, PAGLIARI D., PINTO L., 2013, Fotogrammetria e GPS per il posizionamento di veicoli dedicati al rilievo dei sottoservizi, Bollettino SIFET n°1, pp 23-37
- CAZZANIGA N. E., PAGLIARI D., PINTO L., 2012, Photogrammetry for Mapping Under-

- ground Utility Lines with Ground Penetrating Radar in Urban Areas, Proceedings of the XXII ISPRS Congress, Melbourne.
- STEPHENSON S., MENG X., MOORE T., BAXENDALE A., EDWARDS T., 2011, Precision of Network Real Time Kinematic Positioning for Intelligent Transport Systems, Proceedings of the ENC- GNSS11.
- CAZZANIGA N. E., PINTO L., 2010, Navigazione urbana con l'ausilio della fotogrammetria e della cartografia, Atti della 14<sup>a</sup> CONFERENZA NAZIONALE ASITA.
- BARZAGHI R., CARRION D., CAZZANIGA N. E., FORLANI G., 2009, Vehicle Positioning in urban areas using photogrammetry and digital maps, Proceedings of the ENC-GNSS09.
- APONTE J., MENG X., MOORE T., HILL C., BURBIDGE M., LIMITED L.G., KEYNES M., ROAD U., PANEL P., 2008, Evaluating the performance of NRTK GPS positioning for land navigation applications, Proceedings of NAV 08/ILA 37.
- BARZAGHI R., PASSONI D., TORNATORE V., 2007, L'impiego di reti regionali GNSS per la determinazione di traiettorie di veicoli ferroviari in tempo reale, Atti della 11<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA.
- CAZZANIGA N. E., FORLANI G., PINTO L., 2006, Esperienze di navigazione geodetica in una rete di SP GPS per l'orientamento diretto di fotogrammi, Atti della 10<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA.
- RADICIONI F., STOPPINI A., 2005, Applicazioni in post-processamento e in real time su reti locali di stazioni permanenti GPS/GNSS, Atti della 9<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA.
- ALVES P., LACHAPPELLE G., CANNON M. E., LIU J., TOWNSEND B., 2001, Evaluation of Multiple-Reference DGPS RTK Using a Large Scale Network, Proceedings of the National Technical Meeting of the Institute of Navigation, ION NTM.
- CANNON M. E., LACHAPPELLE G., FORTES L. P., ALVES P., TOWNSEND B., 2001, The Use of Multiple Reference Station VRS For Precise Kinematic Positioning, Proceedings of the Japan Institute of Navigation, GPS Symposium.
- LACHAPPELLE G., FORTES L. P., CANNON M. E., ALVES P., TOWNSEND B., 2001, RTK accuracy enhancements with a reference network based approach, 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology.
- WÜBBENA G., BAGGE A., SCHMITZ M., 2001, Network-based techniques for RTK applications, Proceedings of the Japan Institute of Navigation, GPS Symposium.