

L'impatto di differenti frequenze di acquisizione del dato GNSS sulla definizione della traiettoria di un veicolo MMS in differenti condizioni operative

Stefano Gandolfi, Luca Tavasci

DICAM, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna, Tel. 051-2093106, Fax 051-2093114, e-mail: stefano.gandolfi@unibo.it, luca.tavasci2@unibo.it

Riassunto

I veicoli MMS (Mobile Mapping Systems) terrestri sono strumenti di rilievo ad alta produttività e per questo hanno subito un forte sviluppo negli ultimi anni. Questi sistemi integrano tecnologie e strumentazioni di natura molto diversa tra loro, tra le quali risulta però imprescindibile un sistema di navigazione in grado di definire, istante per istante, posizione assoluta ed assetto del veicolo. I sistemi di navigazione tipicamente utilizzati accoppiano una tecnologia satellitare GNSS ad una piattaforma inerziale, dove la prima si fa carico della definizione della traiettoria del veicolo in un sistema di riferimento globale mentre la seconda, almeno in condizioni operative ottimali, definisce prevalentemente gli angoli di assetto del veicolo. I più moderni ricevitori GNSS permettono frequenze di acquisizione che possono arrivare ai 50 Hz, ben superiori quindi alla frequenza di 1 Hz tipicamente utilizzata in queste applicazioni. Ci si è quindi chiesti se l'aumento della frequenza di acquisizione del dato satellitare potesse incrementare le prestazioni del sistema, in particolare nelle situazioni tipicamente più critiche per il posizionamento satellitare come i così detti canyon urbani.

Sono quindi stati svolti dei test, avvalendosi del sistema MMS IP-S2 fornito da Topcon, su due rilievi svolti lungo un percorso di calibrazione su cui si conoscessero con precisione le coordinate assolute di una serie di punti, ed in due momenti diversi della giornata in modo da avere differenti configurazioni satellitari. Per ogni rilievo la traiettoria è stata calcolata sia con un dato GNSS ad 1 Hz che a 10Hz, combinati con le medesime informazioni di natura inerziale. L'analisi dei risultati è stata svolta sia in termini di differenze di traiettoria ed angoli di assetto che in termini di accuratezza nel rilievo di alcuni punti mediante i sensori montati sul veicolo, e per questi verrà fornito un commento critico.

Abstract

Mobile mapping systems (MMS) have raised their diffusion during the last years due to the high productivity that they provide. Those systems carries different monitoring instruments, but all of them needs a navigation system in order to define their orientations and trajectories. A typical navigation system is composed by a geodetic receiver coupled with an inertial unit. The first allows to define in a global reference system the trajectory of the vehicle while the second is useful to define the orientation in the space of it.

The moderns geodetic receivers have raised up their maximum acquisition frequency from 1 Hz to 50 Hz. So we wondered how the increment of the acquisition frequency impact on the definition of the trajectory for an MMS, in particular for those conditions where the satellite positioning is usually affected by some critical, such as urban canyons.

Using the Topcon IP-S2 MMS system some tests have been performed on a test field for Mobile Mapping System, on which the coordinates of several points were known with high precision. Tests have been performed in two different hours of the day allowing the evaluation of the impact of

different satellite geometries. In both the cases the vehicle's trajectory was calculated adopting the frequencies of 1 Hz and 10 Hz for the GPS. The analysis of the test's results was made both in terms of orientation parameters and trajectory's planimetric coordinates. Moreover, the positions of several points on the test field has been defined using different trajectories, one for each acquisition frequencies, and then compared with the reference coordinates. Doing so, it has been possible to understand which one of the analyzed frequencies provide the best results in terms of survey's accuracy.

1. Introduzione

Negli ultimi anni le tecniche di rilevamento satellitari sono in costante e rapido sviluppo, e così anche tutte quelle tecnologie ibride che proprio sull'aspetto geodetico fondano il loro punto di forza, come i sistemi MMS (Mobile Mapping System). Questi integrano tra loro diverse tecniche di rilevamento al fine di ottenere la massima produttività in termini di tempi e costi operativi, consentendo l'acquisizione di una grande quantità di dati della più varia natura, coerentemente gestibili e sovrapponibili tra loro. In un qualunque sistema MMS si possono individuare due apparati strumentali con scopi ben distinti e complementari tra loro, ovvero l'apparato di rilevamento dell'ambiente esterno e quello di navigazione. Il primo si può comporre dei più diversi strumenti di rilievo come fotocamere, laser-scanner, profilometri, ecc. in grado di restituire una descrizione dell'ambiente rilevato dipendente dalle caratteristiche peculiari di ognuno di essi. L'apparato di navigazione svolge invece la fondamentale funzione di determinare istante per istante traiettoria e assetto del veicolo. È conseguentemente definita la posizione assoluta di ogni strumento di rilievo sopra citato, stante la rigida connessione tra questi e la conoscenza delle posizioni relative. L'apparato di navigazione, su cui si concentra questo lavoro, si fonda tipicamente su un'integrazione tra tecniche satellitari ed inerziali, le prime volte alla determinazione della posizione assoluta del veicolo e le seconde impiegate prevalentemente a determinare l'assetto del veicolo. Un tipico apparato di navigazione si compone di un ricevitore GNSS (Global Navigation Satellite System) geodetico e di una piattaforma inerziale. Negli MMS stradali a questi fondamentali strumenti si affianca spesso un odometro. Come noto, in condizioni operative ottimali ed applicando un approccio di calcolo differenziato, è possibile ottenere delle soluzioni satellitari di precisione centimetrica, quindi più che sufficienti per le applicazioni tecniche in cui si impiegano i veicoli MMS. In questi frangenti la piattaforma IMU (Inertial Measurement Unit), caratterizzata da frequenza di acquisizione (400 Hz) di un ordine di grandezza maggiore rispetto a quello del sistema satellitare, viene anche sfruttata per operare un affinamento della traiettoria ottenuta, usando diversi approcci di integrazione dei dati sui quali non ci si vuole soffermare. Si vuole precisare che le caratteristiche intrinseche di un IMU ne fanno uno strumento molto sensibile e preciso, affetto però da un fenomeno di deriva temporale che porta la traiettoria, qualora definita per sola via inerziale, a divergere rapidamente da quella vera. Caratteristica questa perfettamente complementare alla stabilità della soluzione ottenibile, se pur con una densità molto inferiore, da uno strumento GNSS. Nella pratica operativa possono presentarsi però condizioni di utilizzo particolari di questi veicoli, come nei canyon urbani (Barbarella et al., 2010) per gli MMS stradali, per cui il sistema satellitare incontra forti difficoltà di funzionamento a causa della ridotta porzione di cielo visibile che limita fortemente il numero di segnali ricevibili dai satelliti. In questi casi si verifica l'impossibilità, totale o parziale, di determinare per via geodetica la traiettoria percorsa e si è costretti ad avvalersi prevalentemente del dato inerziale per questo scopo. Ciò implica che già dopo tratti relativamente brevi in assenza di almeno una posizione GNSS l'accuratezza con cui si ottiene la traiettoria non sia più in linea con le precisioni richieste del rilievo.

I ricevitori geodetici hanno visto di recente un incremento della massima frequenza di acquisizione possibile, passata da 1 Hz a valori molto maggiori, fin anche ai 50 Hz. Si è quindi voluto indagare l'eventuale beneficio che l'utilizzo di una maggiore frequenza di acquisizione del dato GNSS potesse avere sulla soluzione della traiettoria percorsa da un veicolo MMS stradale, con particolare attenzione alle condizioni di utilizzo tipicamente più critiche.

Per la sperimentazione ci si è avvalsi di un veicolo MMS messo a disposizione dall'azienda Geotop (Topcon IP-S2, <http://www.topconpositioning.com/mapping>) e di un poligono di calibrazione specifico per veicoli MMS (Barbarella et al., 2011), già definito e misurato con tecniche classiche di alta precisione. In particolare sono stati svolti due rilievi MMS del poligono, in orari diversi della giornata e quindi con diverse costellazioni satellitari visibili, acquisendo per entrambe il dato GNSS alla frequenza di 20 Hz. Questo è stato poi decimato in fase di post elaborazione ottenendo soluzioni alle frequenze di 1 e 10 Hz.

L'analisi dei rilievi è stata svolta sia in termini di differenze nella traiettoria determinata con i due differenti frequenze di acquisizione, che in termini di differenze nelle coordinate ottenute sui punti rilevati. Avvalendosi delle coordinate di riferimento di un consistente numero di punti del poligono di calibrazione è stato poi possibile valutare quale delle due soluzioni ottenute fornisce l'accuratezza maggiore.

2. Il test svolto

Per questo test ci si è avvalsi del veicolo MMS distribuito dalla Geotop, il Topcon IP-S2 (Figura 1), caratterizzato nell'apparato di navigazione da un singolo ricevitore GPS geodetico a doppia frequenza, da una piattaforma inerziale IMU, e da una coppia di odometri. L'apparato di rilievo di questo veicolo è composto da una fotocamera 360°, in grado di restituire immagini sferiche con una frequenza di 15 Hz, e da ben 5 Laser-Scanner Lidar di alta precisione in grado di restituire la posizione relativa di circa 150000 punti al secondo. Il sistema è poi corredato dai software di gestione del rilievo sviluppati ad hoc.

Per svolgere un test probante sullo strumento e sui metodi in oggetto ci si è avvalsi del poligono di calibrazione (CITAZIONE) rappresentato in Figura 2, situato a Bologna, nel quale sono state individuate in particolare due zone con differenti caratteristiche, denominate zona A e zona B. Di queste la zona A è caratterizzata da un tracciato che percorre un'area altamente urbanizzata, presentando quindi una sequenza di canyon urbani dove si prospettano le maggiori criticità nel funzionamento del sistema GPS. La zona B presenta invece un tracciato dalle caratteristiche ottimali per il posizionamento satellitare, utile quindi per definire le migliori prestazioni ottenibili dal sistema. In entrambe le zone sono stati rilevati con tecniche topografiche classiche, di alta precisione, decine di punti facilmente individuabili sul tracciato e ritenuti stabili. Il rilievo di dettaglio è stato successivamente inquadrato in un sistema di riferimento globale in modo da ottenere coordinate direttamente confrontabili con quelle tipicamente restituite da un MMS.



Figura 1. Il veicolo MMS Topcon IP-S2.



Figura 2. Il poligono di calibrazione per veicoli MMS di Bologna.

Su questo poligono sono quindi stati eseguiti nella stessa giornata due distinti rilievi MMS, uno alle ore 13 ed uno alle ore 16, col fine di indagare l'eventuale dipendenza dei risultati dalla costellazione satellitare.

Durante i rilievi sono stati acquisiti simultaneamente i dati GPS a 20 Hz sia da una stazione *master* montata appositamente, che dal ricevitore *rover* del veicolo.

Il calcolo della traiettoria percorsa dal veicolo è stato eseguito in post-processing utilizzando il software Topcon Geoclean con classico approccio differenziato alle osservabili di fase, a partire da due diversi file RINEX (Receiver INdipendent EXchange) della stazione master nei quali le epoche acquisite sono state decimate fino ad averne rispettivamente 1 e 10 al secondo. Di conseguenza si sono ottenute due diverse traiettorie ottenute da soluzioni GPS con frequenze di 1 Hz e 10 Hz.

Queste sono state poi integrate con approccio *loosely-coupled* ai dati inerziali raccolti dall'IMU ottenendo le due distinte traiettorie complete di posizioni ed angoli di assetto del veicolo definite con la frequenza di 400 Hz (frequenza dell'IMU). Il confronto fra le traiettorie è stato eseguito in corrispondenza di ogni punto in cui la fotocamera ha acquisito un'immagine, ovvero una posa ogni circa 5 metri di progressiva, col semplice scopo di snellire il calcolo pur mantenendolo consistente. Le traiettorie ottenute sono state convertite in un sistema cartografico UTM rendendo possibile la separazione dell'aspetto planimetrico da quello altimetrico e disponendo di coordinate metriche.

3. Analisi di traiettorie e parametri di assetto

Si sono valutate in primis le differenze tra gli angoli di assetto ottenuti dalla traiettoria calcolata con dato GPS ad 1 Hz e quelli ottenuti con la frequenza di 10 Hz.

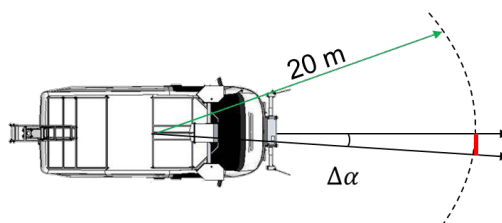


Figura 3. Valutazione della differenza di angoli di assetto sulla stima di punti collimati (ad esempio a 20 metri)

Ricordando che un errore nella definizione di un angolo di assetto non si ripercuote sulla definizione della posizione del veicolo bensì sulla determinazione della posizione relativa di un punto rispetto a questo. Per rendere più tangibili le discrepanze tra gli angoli d'assetto queste sono state espresse, invece che in termini angulari, in termini di errori nella determinazione della posizione di un punto posto alla distanza di 20 metri dal veicolo (Figura 3).

In Figura 4 sono mostrate le discrepanze tra gli angoli di assetto determinati variando la frequenza di acquisizione del dato GPS da 1 a 10 Hz, sia per il rilievo delle ore 13 che per quello delle ore 16.

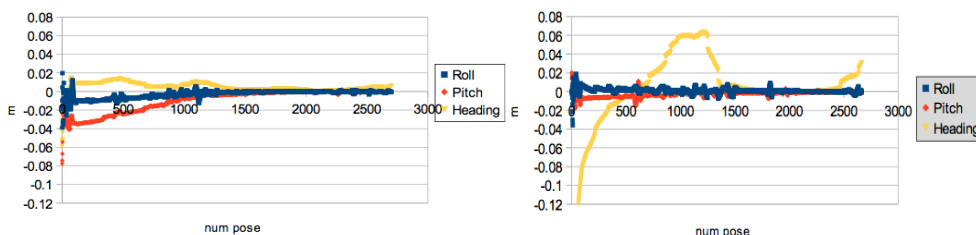


Figura 4. Differenze tra gli angoli di assetto ottenuti per le frequenze di acquisizione del dato GPS di 1 Hz o 10 Hz, espresse in termini di differenze tra posizioni di punti collimati ad una distanza di 20 m, riportate lungo la progressiva di avanzamento del veicolo.

Per un sistema MMS di questo tipo la precisione attesa nella determinazione della posizione relativa di un punto è subdecimetrica, avendo considerato che la misura può avvenire solamente per i punti battuti dal laser i quali non coincidono necessariamente con i punti reali che s'intendono rilevare.

Considerando poi l'indeterminazione sulla traiettoria percorsa dal veicolo ci si possono attendere precisioni di qualche decimetro nel posizionamento assoluto dei punti rilevati. Pertanto si possono ritenere trascurabili ai fini applicativi le differenze dovute alla diversa definizione dell'assetto del veicolo al variare della frequenza di acquisizione del dato GPS. Si fa inoltre notare come queste tendano ad annullarsi col procedere del rilievo, allontanandosi cioè da quella prima fase di inizializzazione in cui un maggiore numero di punti GPS permette una più fine definizione di traiettorie ed assetto.

Volendo valutare ora gli effetti della frequenza di acquisizione sulle traiettorie, soffermandosi in particolare sull'aspetto planimetrico, sono state calcolate le differenze tra le soluzioni ed espresse in termini di modulo della distanza geometrica. Queste sono riportate in *Figura 5* e mostrano come l'aumento della frequenza di acquisizione del dato GPS possa influenzare in modo significativo la soluzione, con discrepanze anche di metri.

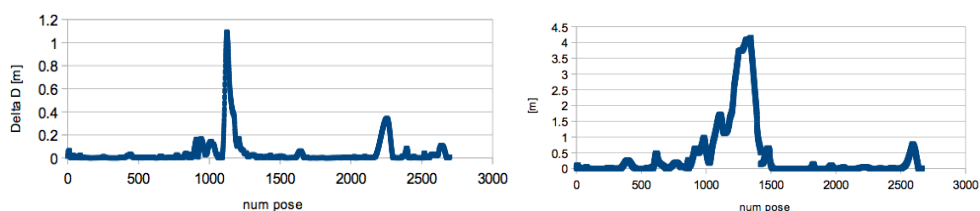


Figura 5. Differenze fra le traiettorie ottenute con le frequenze di acquisizione del dato GPS di 1 Hz o 10 Hz, espresse in termini di modulo della distanza geometrica in planimetria, riportate lungo la progressiva di avanzamento del veicolo.

Dalla *Figura 5* si può inoltre osservare come il rilievo delle ore 16 presenti differenze in planimetria molto maggiori rispetto a quello delle ore 13. Valutando separatamente le differenze sulle coordinate Nord ed Est si nota che la prima subisce variazioni simili nei due rilievi mentre per la seconda il rilievo delle ore 16 evidenzia differenze molto maggiori tra il calcolo ad 1 Hz e quello a 10 Hz. Nei tratti in cui si notano le discrepanze maggiori il tracciato percorso risulta essere un canyon urbano con direzione prevalentemente Nord-Sud, come mostrato in *Figura 6*, il che rende particolarmente sensibile alle variazioni di costellazione satellitare proprio la definizione della coordinata Est.

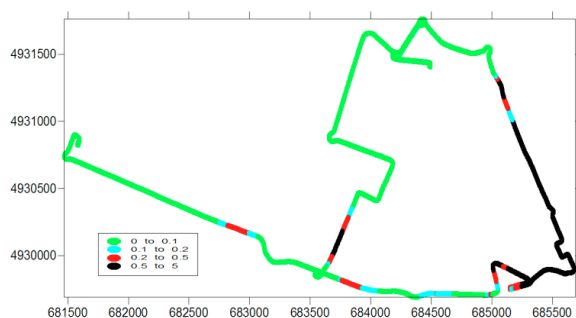


Figura 6. Differenze planimetriche fra le traiettorie ottenute con le frequenze di acquisizione del dato GPS di 1 Hz o 10 Hz in termini di modulo della distanza geometrica.

4. Accuratezza delle coordinate dei punti rilevati

Constatato il fatto che, almeno in certe aree, l'utilizzo di diverse frequenze di acquisizione porta a differenze sostanziali nella definizione della traiettoria percorsa, ci si è chiesti quale delle due frequenze analizzate portasse alla migliore accuratezza del rilievo. Sono quindi stati collimati 109 punti di controllo del poligono nella zona A e 119 punti nella zona B, sia per le traiettorie ad 1 Hz

che per quelle a 10 Hz. Per ognuno di questi punti si sono calcolate, nei 4 distinti casi, le differenze tra le coordinate ottenute e quelle di riferimento, traducendole poi ancora una volta in termini di distanza geometrica in planimetria.

Per il calcolo metrico il sistema IP-S2 si avvale della nuvola di punti laser, cui vengono sovrapposte le immagini sferiche che permettono all'operatore di meglio identificare i punti da misurare.

Si precisa quindi, data la natura random del rilievo laser-scanning, che i punti reali quali possono essere spigoli di edifici, angoli di tombini o segnaletiche ecc. non sono quasi mai direttamente sovrapposti ad un punto laser, ed il calcolo delle loro coordinate vengono attribuite a quelle del punto più vicino ad essi tra quelli misurabili, introducendo così una prima fonte di errore non eliminabile e non dovuta alla definizione della posizione del veicolo.

Per quanto riguarda i punti situati nella zona B, quella con buona visibilità del cielo, i risultati sono riportati in **Tabella 1** e mostrano come gli errori in planimetria, così come le discrepanze fra le traiettorie, siano mediamente contenute entro il decimetro, con pochi picchi di 20, 30 cm. È da considerare la parziale aleatorietà con cui l'operatore è in grado di eseguire l'operazione di collimazione, ma si possono assumere questi risultati come un realistico *optimum* di efficienza per un sistema MMS con le caratteristiche di quello utilizzato.

ORE 16	1-10 Hz	1 Hz-RIF	10 Hz-RIF
media diff	0,11 m	0,10 m	0,09 m
dev.st diff	0,06 m	0,07 m	0,07 m

ORE 13	1-10 Hz	1 Hz-RIF	10 Hz-RIF
media diff	0,09 m	0,11 m	0,09 m
dev.st diff	0,05 m	0,10 m	0,10 m

Tabella 1. Sintesi dei risultati ottenuti dal confronto fra le coordinate dei punti collimati nella zona B del poligono, relativi all'aspetto planimetrico.

In **Tabella 2** sono riportati invece i risultati relativi ai punti collimati nella zona A del poligono di calibrazione. Questi mostrano come le accuratze nella zona di attraversamento del canyon urbano decadano di un ordine di grandezza, con una forte dispersione dei risultati. Si rilevano per alcuni punti dei picchi di errore che si spingono fino ai 3 metri nel rilievo delle ore 13 e che, per la traiettoria calcolata ad 1 Hz, raggiungono quasi i 4,5 metri in quello delle 16.

Si constata perciò come l'incremento di un ordine di grandezza della frequenza di acquisizione del dato GPS porti ad un incremento delle prestazioni, in termini di accuratezza delle coordinate, del 10% nel rilievo delle 13, e di ben il 43% nel più critico caso del rilievo delle ore 16.

ORE 16	1-10 Hz	1 Hz-RIF	10 Hz-RIF
media diff	1,23 m	2,37 m	1,34 m
dev.st diff	0,64 m	1,19 m	0,68 m

ORE 13	1-10 Hz	1 Hz-RIF	10 Hz-RIF
media diff	0,38 m	1,44 m	1,31 m
dev.st diff	0,27 m	1,07 m	0,98 m

Tabella 2. Sintesi dei risultati ottenuti dal confronto fra le coordinate dei punti collimati nella zona A del poligono, relativi all'aspetto planimetrico.

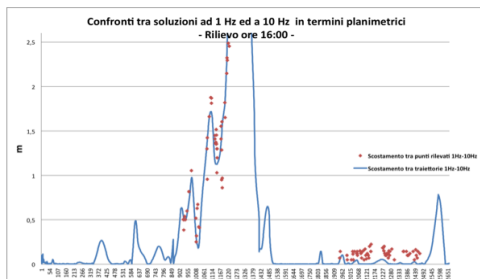
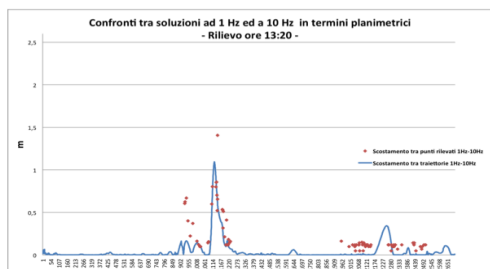


Figura 7. Differenze in planimetria tra i risultati ottenuti per le due diverse frequenze acquisizione del dato GPS, espressi sia in termini di traiettoria che in termini di coordinate dei punti rilevati.

I miglioramenti sono riscontrabili anche in termini di dispersione degli errori.

In Figura 7 vengono mostrate le differenze di traiettoria (Figura 5) sovrapposte al modulo delle differenze in planimetria tra le coordinate dei punti collimati.

Dalla Figura 7 è evidente come le differenze sulla collimazione dei punti del poligono siano frutto in gran parte delle differenze di traiettoria a cui si aggiunge l'indeterminazione sul sistema di rilevamento relativo e agli angoli di assetto.

3. Conclusioni

Nel test presentato si è voluto indagare l'impatto della frequenza di acquisizione del dato GPS sulla soluzione della traiettoria percorsa da un veicolo MMS stradale. Particolare attenzione è stata dedicata al caso tipicamente critico dell'attraversamento di un canyon urbano, durante il quale si incontrano forti difficoltà nell'ottenere il posizionamento satellitare.

Il test è stato svolto con veicolo MMS Topcon IP-S2 sul poligono di calibrazione di Bologna, comparando i risultati ottenuti dal calcolo di una traiettoria con frequenze di acquisizione del GPS di 1 Hz e 10 Hz.

I risultati mostrano una sostanziale equivalenza nel funzionamento qualora si operi in ambiente ottimale, dove cioè sia possibile il posizionamento satellitare con buona continuità ed i dati di natura inerziale vengano usati solo per dare continuità alla soluzione della traiettoria.

In quelle aree in cui il veicolo attraversa zone altamente urbanizzate si è invece constatato un miglioramento nell'accuratezza delle coordinate dei punti rilevati che va mediamente dal 10% al 43% aumentando la frequenza di acquisizione del GPS. Il miglioramento è maggiore nei casi in cui la costellazione satellitare risulti più debole e si manifesta anche in termini di dispersione dei risultati. L'effetto migliorativo si manifesta proprio nelle situazioni maggiormente critiche portando ad un abbassamento del massimo errore che si può commettere con un rilievo di questa natura. È pertanto consigliabile, qualora possibile, aumentare la frequenza di acquisizione del dato GPS di un sistema MMS, ed in particolare qualora il tracciato da percorrere durante il rilievo presenti ostacoli alla visibilità del cielo.

4. Bibliografia

Barbarella M., D'alonzo L., Gandolfi S., (2010): Esperienze di navigazione geodetica in ambito urbano, Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA (ISBN 978-88-903132-5-7), Brescia, 9-12 novembre 2010, pp. 163-169.

Barbarella M., Gandolfi S., Meffe A., Burchi A., (2011), A Test Field for Mobile Mapping System: design, set up and first test results, Proceeding of the 7th International Symposium on Mobile Mapping Technology, 13 – 16 June 2011, Cracow, Poland

Ringraziamenti

Il presente lavoro si inserisce nell'ambito della ricerca PRIN 2010-11 coordinato dal Prof. Raffaele Santamaria e dal titolo "Tecniche geomatiche innovative ed emergenti di rilievo, telerilevamento (da aereo, satellite, uav) e WEBGIS per la mappatura del rischio in tempo reale e la prevenzione del danno ambientale".

Si ringrazia inoltre Geotop S.r.l per aver messo a disposizione strumentazione e software utilizzati per le sperimentazioni.