

Un poligono di Calibrazione per Mobile Mapping System finalizzato alla valutazione delle accuratèzze ottenibili

Maurizio Barbarella (*), Augusto Burchi (**), Stefano Gandolfi (*), Ernesto Ronci (**)

(*) DICAM-ARCES, Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136, Bologna
Tel. 051 2093106, Fax 051 2093114, e-mail: nome.congome@unibo.it

(**) Siteco Informatica S.r.l., Via della Salute 14, 40132 Bologna, Tel. 051-6414470, Fax. 051-400589
congome@sitecoinf.com

Abstract

Come noto la Mobile Mapping Technology (MMT) rappresenta, soprattutto in alcuni ambiti, uno strumento di grande efficacia e di largo utilizzo. L'aggiornamento del Catasto strade avviene recentemente quasi esclusivamente avvalendosi di tale tecnologia ed è in grado di proporre prodotti di grande dettaglio e completezza a fronte di costi accessibili. Alla precisione di ogni singolo sensore installato sul veicolo (Laser scanner, apparati fotogrammetrici, Ground Penetrating Radar, Profilometri, etc..) viene generalmente associata una posizione ottenuta da un sistema di navigazione GPS/IMU e odometri. Nell'ambito di una collaborazione inserita all'interno del programma PRRITT2008 (Programma Regionale per la Ricerca Industriale, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico) della Regione Emilia Romagna sono stati condotti accurati studi volti a comprendere il comportamento dei sistemi di navigazione in condizioni al contorno differenti. Per tale studio è stato necessario realizzare un poligono di calibrazione costituito da punti rilevati con accuratezza centimetrica mediante rilievi tradizionali e riconoscibili nei fotogrammi acquisiti dal veicolo. Tale aspetto ha consentito di valutare meglio il comportamento dei sistemi di navigazione ma ha anche permesso di impostare una azione volta a migliorare la qualità del posizionamento in condizioni di assenza prolungata di segnale GPS (condizione critica in quanto il sistema di navigazione in quei casi demanda la stima di posizione ed assetto solo alla piattaforma inerziale che, come noto, presenta effetti di deriva). Gli studi condotti hanno però richiesto alcune modifiche anche alla suite di gestione dei dati MMS. In particolare è stato ristrutturato completamente l'impianto di gestione dei dati consentendo di poter inserire anche punti rilevati esternamente (i punti rilevati con tecniche differenti vengono dunque rappresentati a video e sovrapposti ai filmati). Nel lavoro si riportano le principali modifiche effettuate al codice, alcuni confronti realizzati sul poligono di calibrazione ed i risultati ottenuti con le più recenti versioni del software di integrazione GPS/IMU basato su filtro di Kalman.

Abstract

Mobile Mapping Systems are one of the most productive apparatus for road survey. Any observable acquired by the sensors that are installed into the vehicle can be located in a map using a navigation system. These observables are acquired in motion and the accuracy for each one can be different from a static survey. Moreover the different work boundary conditions can change the final accuracy of the survey (both for geometric survey and for all the other surveys such as road characterization). In order to give some answer to the above mentioned problems a test field for MMS was designed and realized. This test field is constituted by a track that considers different typology of boundary conditions for the GPS positioning, for roads typology etc. The test field is, at the moment, fully defined for the positioning aspects. Along a path stable points are identified or materialized, clearly visible on the images acquired by a MMS running the path. The positions of the points are measured by topographic methods with high precision (centimeter level), in an

geodetic absolute reference system. The field test has been set up in Bologna (Italy), is about 10 km long and, for the positioning aspects, is fully defined and surveyed. In order to manage and facilitate the use of external points as reference for the evaluation of differences some changes has been performed also in the software that manage the MMS. In this work the first results obtained by the comparison between the points of the test field (surveyed classically using GPS/Total Station) and the MMS survey. Moreover all the most significant changes into the software package has been reported.

1. Introduzione

I veicoli denominati con il termine MMS (Mobile Mapping System) costituiscono probabilmente il punto più avanzato di fusione delle comuni tecniche di rilievo topografico. Coppie di camere poste sul veicolo ed in grado di acquisire immagini in modo sincrono consentono di eseguire rilievi fotogrammetrici riferiti al sistema veicolo. Il Laser Scanner consente di generare nuvole di punti riferite al sistema di riferimento del veicolo. Sistemi GNSS e piattaforme inerziali consentono di stimare posizione ed assetto rispetto a sistemi globali del veicolo ad ogni istante di tempo. Conoscendo i vettori che congiungono il sistema di riferimento del veicolo ai vari sensori installati a bordo (bracci di leva) ed utilizzando il sistema di navigazione come “collegamento” tra sistema di riferimento locale (“Veicolo”) e sistema Globale è possibile far sì che ogni rilievo eseguito dal veicolo sia direttamente collocabile nel sistema di riferimento globale ed eventualmente in riportabile in un qualsiasi sistema cartografico. Ovviamente la combinazione di diversi apparati di rilievo porta ad un decadimento delle precisioni globali che è possibile stimare mediante metodi di propagazione della varianza a livello teorico. In realtà, se è possibile stimare con buona accuratezza le precisioni dei sistemi di rilievo fotogrammetrico e Laser scanner, è decisamente più critico stimare le reali accuratezze dei sistemi di navigazione anche perché fortemente perturbabili e mutevoli al variare delle condizioni al contorno. In particolare nei percorsi altamente urbanizzati la presenza di scarsa copertura satellitare rende difficoltoso il posizionamento GNSS e il sistema di navigazione stima i parametri solo con l’ausilio della piattaforma inerziale che per sua natura è affetta da *drift* principalmente dipendenti dal tempo. Per tale ragione e per comprendere come poter eventualmente migliorare le prestazioni del sistema in tali contesti, è stato realizzato un poligono di verifica e calibrazione basato sulla individuazione e misura di punti naturali osservabili dal veicolo e collocati in aree differenti (rispondenti a condizioni di lavoro diverse).

2. Definizione del poligono di calibrazione

2.1 Caratteristiche e requisiti del poligono

Al fine di realizzare un poligono di calibrazione per MMS è stato preliminarmente condotto uno studio dettagliato inerente le differenti tipologie di osservabili generalmente acquisite da sistemi di tale natura. In seguito, per ogni singola tipologia di osservabile sono stati eseguiti studi sulla possibilità di poter verificare il corretto funzionamento in differenti condizioni al contorno. In generale oltre alle tipiche grandezze geometriche (posizione di punti e misura di distanze) sono state identificate altre tre tipologie di grandezze che possiamo sintetizzare come parametri ambientali, parametri strutturali stradali (indica IRI, grado di ammaloramento del manto stradale, dimensioni delle fessurazioni, etc..) e parametri termici. Il poligono di calibrazione e verifica si pone dunque l’obiettivo finale di costituire un riferimento per ciascuna delle grandezze sopra menzionate e dunque se da un lato si devono realizzare procedure per un rilievo di alta accuratezza delle grandezze in oggetto dall’altro si deve poter contemplare la possibilità che ciascuna singola grandezza possa essere rilevabile in modo più o meno accurato dal veicolo a seconda delle condizioni al contorno nelle quali opera e considerando anche il problema che ciascun sensore installato su un sistema MMS deve, in condizioni operative normali, operare in movimento. Si è trattato dunque di identificare un percorso, non particolarmente lungo, capace di racchiudere al suo interno tutti i requisiti prefissati per ciascuna tipologia di osservabile e, una volta identificato,

rilevarlo (o strumentarlo) in modo da poter essere utilizzabile come riferimento per un qualsiasi sistema MMS. Il percorso è stato individuato nell'area di Bologna e racchiude differenti tipologie di strade, gradi di ammaloramento stradale, livelli medi di inquinamento, e differenti condizioni operative per il sistema di navigazione. Tale ultimo aspetto infatti costituisce un punto molto importante in quanto il sistema di navigazione è il responsabile della corretta collocazione di un qualsiasi osservabile venga rilevato dal veicolo. Il sistema di navigazione si basa generalmente sulla integrazione di uno o più GNSS con piattaforme inerziali (IMU) e odometri. Se il sistema GNSS non è in grado di fornire posizioni (ossia quando riceve dati da un numero di satelliti inferiore a 4) l'apparato di navigazione continua a stimare posizioni ed assetto utilizzando esclusivamente il sistema inerziale che, come noto, presenta problemi di deriva principalmente dipendenti dal tempo. Dunque la qualità della traiettoria è generalmente dipendente dalla qualità del posizionamento GNSS e, qual ora il sistema si trovi a funzionare per lunghi periodi senza posizioni GNSS allora ci si possono aspettare spostamenti anche metrici nella stima della traiettoria. Un bias nel sistema di navigazione si ripercuote direttamente sulla stima della posizione di tutte le grandezze geometriche rilevabili ad esempio con un Laser Scanner o con un sistema fotogrammetrico. Se il poligono è stato progettato ed individuato per rispondere alle differenti tipologie di osservabile rilevabile dai sistemi MMS, la sua realizzazione è stata completata esclusivamente per gli aspetti legati al posizionamento. Nel lavoro in oggetto si parlerà quindi esclusivamente di tale aspetto.

2.2 Descrizione del tracciato in relazione alla verifica del sistema di navigazione e rilievo geometrico

Il poligono di calibrazione (figura 1) è lungo circa 10 chilometri e si percorre in 35 minuti circa. Tale percorso è stato progettato, per quanto attiene gli aspetti geometrici considerando la possibilità di disporre di una area altamente urbanizzata (zona A) ed un'area a bassa concentrazione abitativa (Zona B). L'area A si sviluppa nel centro storico di Bologna dove è generalmente critico il posizionamento GNSS e dunque dove ci si aspettano lunghe finestre di assenza di posizionamento satellitare. In tale area è possibile verificare dunque la qualità del sistema di navigazione. L'area B invece è una area dove ci si aspetta che il sistema di navigazione funzioni al meglio delle sue potenzialità. In tale modo è possibile verificare il comportamento del sistema di navigazione sia in zone ottimali sia in aree critiche. Al fine di poter verificare la qualità sul posizionamento sia del sistema di navigazione sia dei sistemi di rilievo (fotogrammetrico e laser scanner), sono stati individuati e misurati con precisione sub-decimetrica numerosi punti visibili dal sistema MMS. In particolare sono stati utilizzati punti naturali quali spigoli dei tombini delle reti fognarie e elettriche, segnaletica orizzontale e verticale e spigoli di edifici. Il rilievo di tali punti doveva essere inquadrato nello stesso sistema geodetico utilizzato dal sistema MMS che generalmente è

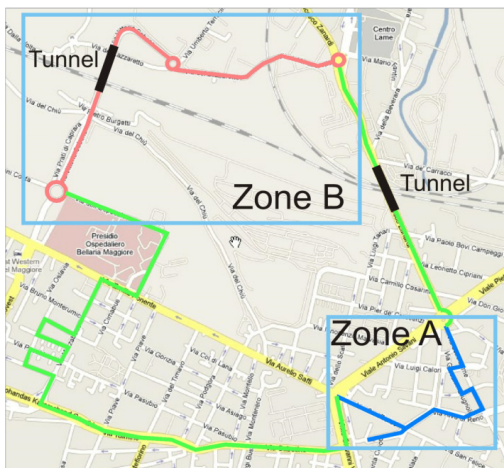


Figura 1 – Planimetria del poligono di calibrazione con indicate le due aree preposte per le verifiche sulla precisione del sistema di rilievo topografico.

O il sistema geodetico (WGS-84, ITRFXX) o una proiezione Cartografica (ad esempio UTM). In totale sono stati rilevati 400 punti di cui 170 nella Zona A e 230 nella zona B.

Di seguito vengono mostrati in modo sintetico i principali aspetti inerenti il poligono realizzato per gli aspetti geometrici e le modalità di rilievo sia per la zona A che per la Zona B.

2.4 Il rilievo nell'area A

Come già anticipato la zona A del poligono di calibrazione presenta caratteristiche tali da poter essere pensata come critica per il posizionamento GPS e dunque in questa area ci si aspetta che anche i sistemi di navigazione possano avere comportamenti non ottimali soprattutto in corrispondenza a zone di "GPS outage". Per tale ragione la distribuzione dei punti da utilizzarsi per i confronti è stata realizzata a "blocchi". In questo modo è stato poi possibile osservare se ci fossero degli effetti significativi di Bias dovuti al sistema di navigazione in quanto se per una particolare area della zona A il sistema di navigazione presentava un bias significativo allora tutti i punti di quell'area dovevano essere "spostati" di quantità analoghe. Non essendo possibile realizzare il rilievo con tecniche GNSS dirette, il rilievo dei punti di verifica in tale area è avvenuto realizzando una rete topografica di inquadramento rilevata mediante stazioni totali e, nei punti in cui era possibile il rilievo GNSS rilevata anche con tale tecnica in modo da consentire un inquadramento nel sistema di riferimento idoneo precedentemente indicato. Successivamente dai punti di inquadramento precedentemente compensati si è proceduto con il rilievo di dettaglio avvenuto sempre mediante Total Station lavorando per polari.



Figura 2 – (A sinistra) Mappa della Zona A del poligono con indicato in rosso il percorso, in verde i punti naturali rilevati e in blu i vertici della rete di inquadramento. (a Destra) una immagine ottenuta da una delle camera frontali del veicolo mentre percorre il poligono A con alcuni dei punti utilizzati per la verifica.

Considerando i residui della compensazione in blocco e la qualità del posizionamento GNSS su alcuni punti di inquadramento si può stimare una precisione globale per i punti di dettaglio di qualche centimetro. Per quanto attiene il rilievo GNSS, la stazione di riferimento utilizzata per l'inquadramento è la stazione permanente della Facoltà di Ingegneria BOL1 (collocata ad una distanza inferiore ai 2 km) ed appartenente alla rete sperimentale NRTK BO-POS (Barbarella et al. 2007)

2.5 Il Rilievo nella Zona B

Per quanto attiene la Zona B, essendo ragionevole pensare che in tale area il sistema di navigazione poteva presentare buoni standard di funzionamento, si è ritenuto che la distribuzione dei punti da utilizzarsi come riferimento dovesse seguire criteri di omogeneità. La tecnica di misura dei punti (tutti a terra) è stata la tecnica GNSS RTK con collegamento alla stessa stazione permanente utilizzata per l'inquadramento della zona A.

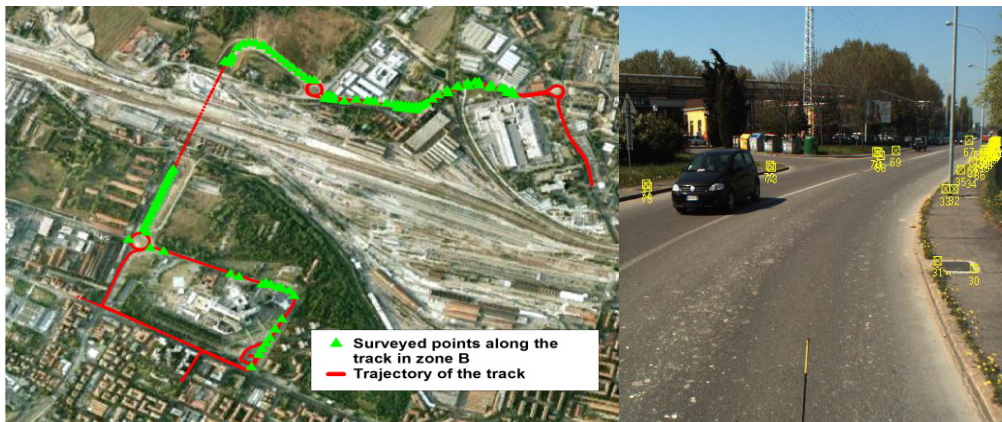


Figura 3 – (A sinistra) Mappa della Zona B del poligono con indicato in rosso il percorso, in verde I punti naturali rilevati. (A Destra) una immagine ottenuta da una delle camera frontali del veicolo mentre percorre il poligono B con alcuni dei punti utilizzati per la verifica.

Al fine di poter rimuovere eventuali errori grossolani e valutare anche il livello di congruenza interno della tecnica adottata, ogni punto è stato rilevato almeno due volte con due tipologie di ricevitori GNSS (Leica System 1200 and Topcon GB1000). In questo modo, eliminati gli errori

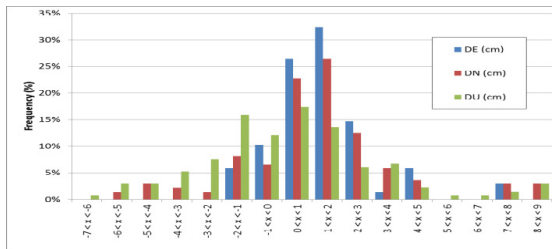


Figura 4 – Istogramma delle dispersione delle differenti soluzioni ottenute in RTK.

grossolani è stato possibile valutare il livello di congruenza delle misure (dev. Standard) che si è attestato sui 2, 3 e 4 cm rispettivamente per le componenti Nord, Est e Quota (in un sistema geodetico locale).

Le precisioni dei punti rilevati può dunque essere stimata in 2-3 cm come peraltro ci si aspettava considerando la tecnica utilizzata. In figura 4, per completezza, si riporta l'istogramma cumulativo delle dispersioni di ciascuna soluzione rispetto alla media.

3. Il sistema MMS utilizzato per i confronti

Il sistema MMS utilizzato nel rilievo è stato sviluppato negli ultimi 6 anni dalla Siteco Informatica. Il progetto ROAD-SCANNER è stato sviluppato grazie ad un finanziamento all'interno del Programma per la Ricerca, l'Innovazione e il Trasferimento Tecnologico della Regione Emilia Romagna (PRRITT), in collaborazione con qualificate Università. Il sistema consente di realizzare in tempi ristretti un rilievo dettagliato della infrastruttura stradale e delle sue pertinenze: tracciati, pavimentazione, segnaletica, opere d'arte, ponti, gallerie, sovrappassi, illuminazione, piazzole di sosta, parcheggi, impianti pubblicitari, accessi e passi carrai, bypass, verde, etc. La società al momento ha a disposizione due veicoli MMS, di specifiche tecniche e prestazioni simili ma basati su sistemi di navigazione differenti. Il primo veicolo sviluppato dalla Siteco, ammodernato di continuo negli ultimi anni, è basato su sistema di posizionamento Applanix Pos LV 220, mentre il secondo veicolo, sviluppato dal 2008 ad oggi è basato su sistema di navigazione IXSEA Landins. Sebbene per le sperimentazioni siano stati utilizzati contemporaneamente i due sistemi, i dati e i risultati presentati in questo contesto fanno riferimento al veicolo equipaggiato con il sistema IXSEA Landins ritenuto più affidabile specialmente in aree di scarsa copertura satellitare.



Figura 5 – Quadro d'insieme della strumentazione del veicolo MMS RoadScanner.

L'allestimento del veicolo in oggetto è il seguente:

- Sistema di posizionamento IXSEA (Ricevitore GNSS Trimble BD960, Odometro Bei, Piattaforma inerziale Landins)
- Sistema Video (fino a 8 camere digitali ad alta risoluzione, Camera posteriore per la valutazione degli ammaloramenti stradali)
- Laser Scanner Faro Photon 120
- Profilometro Dynatest Mark IV
- Georadar IDS 1,6 Ghz

Più in particolare, le peculiarità del sistema possono essere così sintetizzate; il ricevitore BD9600 è un ricevitore GNSS GPS+Glonass, la possibilità di utilizzare, quando disponi

bile, la seconda costellazione satellitare ha molti vantaggi specie in ambito urbano quando il numero dei satelliti visibili GPS potrebbe non essere ottimale. Per quanto riguarda la piattaforma inerziale, le precisioni dichiarate dalla casa costruttrice sono riportate in Tabella 1.

Durata dell'Outage GPS (sec)	15		60		120	
	RealTime	Cinematico	RealTime	Cinematico	RealTime	Cinematico
Modalità						
Heading (deg)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Roll/Pitch (deg)	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Precisione Orizzontale (m)	0,07	0,05	0,2	0,1	0,3	0,25
Precisione Verticale (m)	0,05	0,05	0,1	0,7	0,25	0,2

Tabella 1 – Precisioni dichiarate del sistema di posizionamento.

Il sistema di acquisizione video può fare affidamento su 8 telecamere *Basler Scout* di ultima generazione connesse con tecnologia Ethernet Gigabit. Per il rilievo del poligono è stata scelta una configurazione a 6 telecamere, con due camere poste frontalmente e le altre oblique rispettivamente a 45 ° - 135 ° - 225 ° - 315 ° per assicurare una completa visione della strada. Il passo di campionamento delle immagini è stato impostato a 2 metri per garantire un'ottima copertura visiva di tutto il tracciato e del poligono di calibrazione. L'acquisizione di ciascun frame viene georeferenziato con i dati forniti dal sistema integrato GPS/IMU. Le immagini vengono memorizzate nel server di bordo, che si occupa anche della sincronizzazione dei dati e della gestione del software di acquisizione. Il FARO Photon è un laser scanner elicoidale a infrarossi a differenza di fase. Questa caratteristica permette di rilevare le sezioni trasversali della pavimentazione stradale e di tutte le adiacenze in un raggio di 120° con una frequenza di acquisizione di 120 mila punti al secondo. Grazie alla massima frequenza di acquisizione di 60 rotazioni al secondo, vengono rilevate sezioni stradali ogni 28 cm alla velocità di 60 km orari. Tenendo conto che per il rilievo del poligono, mediamente, si è tenuta una velocità di circa



Figura 6 – Particolare del montaggio del LS.

40 km orari, si può affermare che la densità finale dei punti laser è risultata molto elevata.

4. Aspetti implementativi del software di gestione dei dati MMS a supporto delle sperimentazioni condotte

La suite RoadSit 4 è un completo strumento per la consultazione e l'aggiornamento dei sistemi informativi territoriali. Le funzioni di gestione e mantenimento sono state sviluppate per la creazione di un Sistema Informativo Stradale, finalizzato non solo all'archiviazione dello stato della rete, ma al supporto continuo nella gestione delle più svariate problematiche logistiche, tecniche e progettuali ad essa correlate. Il modulo principale per la visualizzazione dei filmati georeferenziati, Road SIT Player 4, è stato sviluppato per poter fornire all'utenza finale un rapido accesso alla visione delle competenze stradali. Inoltre il software permette di visualizzare, direttamente sulle immagini, tutte le informazioni provenienti dai sensori installati sul veicolo, come ad esempio i punti laser, rappresentati direttamente sulle immagini, o i dati del georadar e del profilometro, per i quali sono disponibili invece delle viste di dettaglio specifiche. Tutte le informazioni consultabili dal software sono organizzate in appositi database che contengono, oltre alle coordinate e agli assetti, tutti i collegamenti necessari alle immagini, ai dati dei sensori e alla loro sincronizzazione.

Benché tale software offra la possibilità di eseguire misure topografiche sulle immagini, è stato inevitabile un grosso sforzo a livello di programmazione per aggiungere tutte le funzionalità necessarie per poter usufruire delle potenzialità offerte dalla sperimentazione sul poligono di calibrazione. Per sfruttare la possibilità di calcolare le correzioni derivanti dalla collimazione dei vertici del poligono, è stato necessario aggiungere la funzionalità di inserimento di vertici topografici misurati in contesti differenti dal rilievo ad alto rendimento. Al fine di non cambiare completamente l'architettura del software e di mantenere inalterate le funzionalità per i clienti tradizionali, è stato scelto di rendere disponibili le nuove funzionalità attraverso una struttura a *plug-in*. Per rendere disponibili le funzionalità del *plug-in* di posizionamento è sufficiente includere nella directory dove si trova l'eseguibile di RoadSIT Player i due file che vengono riconosciuti e caricati dal software quando presenti (Siteco.Positioning.dll, Siteco.Positioning.dll.conf). Quando queste condizioni sono verificate, all'avvio del software, il blocco di funzioni aggiuntive diventa disponibile nel menu strumenti. Il *plug-in* consente dunque nuove azioni ed in particolare:

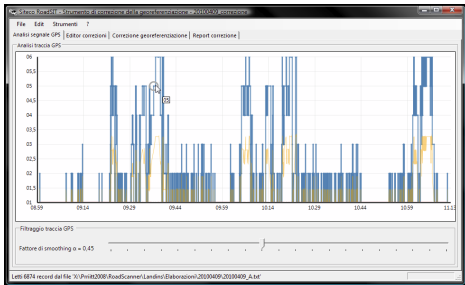


Figura 7-- Finestra di visualizzazione della qualità della soluzione GNSS.

Il filtraggio delle soluzioni GNSS può essere fatto in base alla qualità delle misure e attraverso altri parametri di esclusione che tengono conto della "densità temporale" di soluzioni affidabili. Il software permette l'inserimento di vertici di coordinate note contenute in file di testo, database, mdb etc.

- Inserimento di vertici noti da rilievo topografico esterno
- Visualizzazione su cad e sui filmati dei vertici collimati (da stereoscopia, Laser puro o a interpolazione di area)
- Variazioni impostate dall'utente sulla soluzione GNSS

Il software prevede la possibilità di poter escludere singole soluzioni o intere finestre temporali della soluzione, nell'ottica di escludere tutte le "cattive" soluzioni GNSS che potrebbero portare ad una non corretta applicazione del filtro di Kalman e delle successive correzioni.

Il filtraggio delle soluzioni GNSS può essere fatto in base alla qualità delle misure e attraverso altri parametri di esclusione che tengono conto della "densità temporale" di soluzioni affidabili. Il software permette l'inserimento di vertici di coordinate note contenute in file di testo, database, mdb etc.

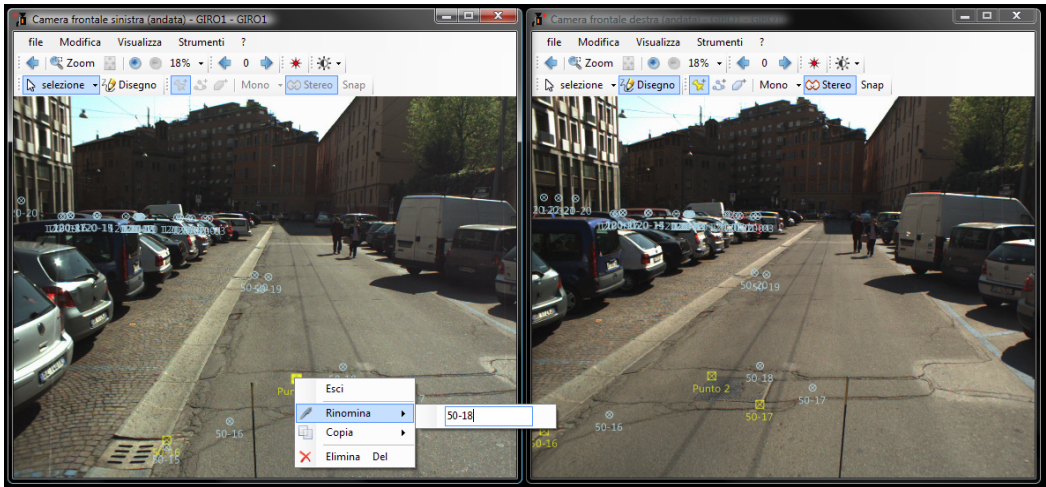


Figura 8 – Selezione dei vertici doppi per il calcolo delle correzioni.

5. Confronto tra rilievo MMS e i dati di riferimento del Poligono

Realizzato il poligono e implementati gli aspetti necessari nel software di gestione dei dati MMS dell'azienda si è passati all'uso dello stesso realizzando un rilievo secondo il protocollo standard dell'azienda. Di seguito si mostrano i risultati del confronto tra il rilievo dei punti mediante MMS ed il poligono.

5.1 Zona B

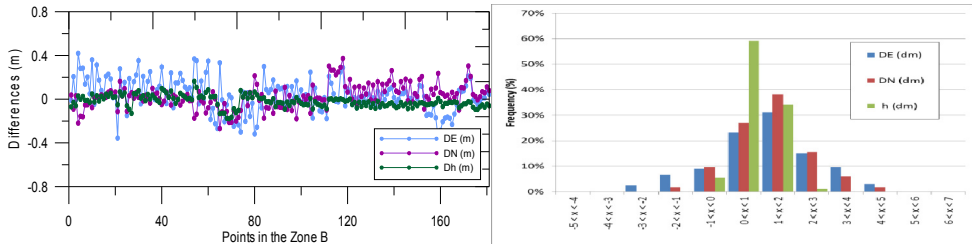


Figura 9 – (A sinistra) Grafico delle differenze puntuali tra rilievo MMS e Topografico nell'area B, (A destra) Istogramma rappresentante la distribuzione delle differenze nelle tre componenti.

	Est (cm)	Nord (cm)	Quota (cm)
Media	4	2	-2
Deviazione Standard	15	11	5
Valore massimo osservato	36	37	18

Tabella 2 – Principali Parametri statistici caratterizzanti il confronto nella Zona B.

Da quanto è possibile osservare dalla figura 9 e dalla tabella 2, le medie delle differenze sono sostanzialmente nulle (soprattutto se consideriamo l'accuratezza del sistema fotogrammetrico di circa

10/15 cm) e i parametri di dispersione sono in linea con le accuratezze del sistema fotogrammetrico. Da tale dato è possibile dedurre due considerazioni; la prima è che il sistema di navigazione stima in modo corretto posizione ed assetto del veicolo e la seconda è che non sono presenti errori nella stima dei parametri di calibrazione del sistema fotogrammetrico (dunque la precisione finale che ci si deve attendere, in condizioni ottimali di navigazione, dal sistema si attesta sui 10/15 cm).

5.2 Zona A

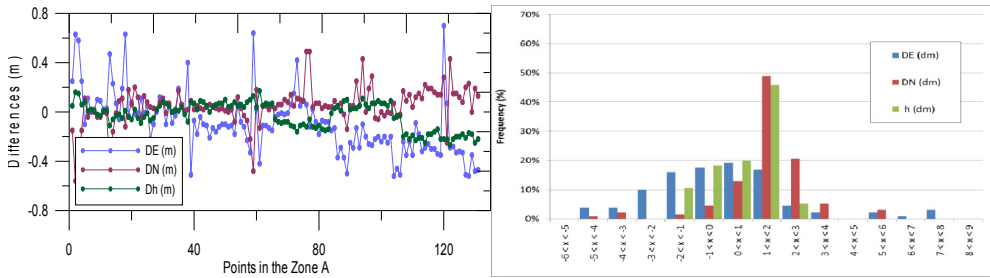


Figura 10 – (A sinistra) Grafico delle differenze puntuali tra rilievo MMS e Topografico nell’area A, (A destra) Istogramma rappresentante la distribuzione delle differenze nelle tre componenti.

	Est (cm)	Nord (cm)	Quota (cm)
Media	-9	5	-3
Deviazione Standard	24	15	11
Valore massimo osservato	70	56	27

Tabella 3 – Principali Parametri statistici caratterizzanti il confronto nella Zona A.

Dai grafici riportati in figura 10 e dalla relativa Tabella 3, si osservano risultati sostanzialmente differenti da quelli ottenuti nella zona B. In particolare, considerando la media complessiva (che vedremo non essere particolarmente significativa) delle dispersioni, si osserva un Bias dell’ordine della decina di centimetri non osservata nella Zona B. Tale dato è sostanzialmente da attribuirsi al sistema di navigazione.

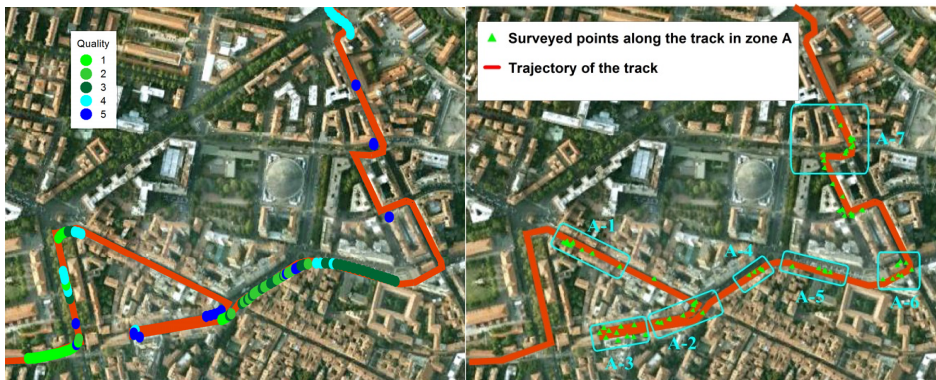


Figura 11 – (A sinistra) Qualità della soluzione GNSS all’interno della zona A del poligono, (A Destra) Blocchi sui quali è stata realizzata la statistica di dettaglio.

Essendo la precisione del sistema di navigazione strettamente dipendente dal buon funzionamento del sistema GNSS, in aree di GPS outage il dato di stima della traiettoria può presentare Bias che però sono localizzate in particolari aree. Da come è stato costruito il poligono di Calibrazione nella zona B (a Blocchi anziché omogenea) è possibile estrarre statistiche a Blocchi.

Block Statistical parameters							
Area	N° points	Mean			Standard deviation		
		DE	DN	Dh	DE	DN	Dh
A-1	16	0.17	-0.12	0.02	0.22	0.20	0.07
A-2	23	0.04	0.06	-0.01	0.21	0.07	0.05
A-3	26	-0.10	0.00	0.07	0.18	0.12	0.03
A-4	10	0.07	0.08	-0.10	0.14	0.03	0.03
A-5	8	-0.07	0.16	-0.12	0.08	0.20	0.03
A-6	25	-0.27	0.14	-0.20	0.24	0.12	0.03
A-7	23	-0.28	0.05	0.04	0.12	0.13	0.04

Tabella 3 – Principali parametri statistici ottenuti sui singoli Blocchi del poligono nella Zona A.

Tale dato, meno robusto in termini statistici perché il campione su ogni singolo blocco si attesta sulle 10 unità, consente di localizzare area per area il Bias del sistema di navigazione. Tale dato è stato poi correlato con la precisione o con la presenza di posizioni GPS nel percorso ottenendo i risultati mostrati in Figura 11 e Tabella 3. Da quanto è possibile osservare dalla tabella 3 in alcune aree (come per esempio il Blocco A-2) non sono evidenti Bias e le statistiche sono sostanzialmente simili a quelle ottenute nella Zona B. In altre aree come ad esempio i Blocchi A-6 e A-7 i bias sono evidenti e raggiungono i 30 cm. Tale dato è facilmente interpretabile osservando la figura 11 di sinistra dove si osserva che nella zona corrispondente alle aree A-6 e A-7 non sono sostanzialmente presenti soluzioni e le tre uniche posizioni stimate dalla soluzione cinematica presentano una bassissima qualità.

6. Conclusioni

La possibilità di disporre di un percorso misurato debitamente con strumentazione in grado di garantire una precisione di un ordine di grandezza superiore alle tecniche Mobile Mapping costituisce uno strumento importante non solo per valutare il comportamento del sistema di navigazione in condizioni critiche ma anche per valutare eventuali problemi sia nella fase di calibrazione del sistema (calcolo e/o misura dei bracci di leva tra sensori). Tale percorso consente di definire in modo sufficientemente esaustivo sia le accuratèzze che le precisioni medie raggiungibili da sistemi di rilievo ad alto rendimento. Non solo, grazie al poligono è possibile valutare in modo immediato l'effetto di eventuali aggiornamenti sia delle strumentazioni installate sia di eventuali variazioni nell'aspetto di elaborazione dei dati (aggiornamenti del filtro di Kalman, approcci differenti nell'uso delle camere o dei dati laser).

Bibliografia

BARBARELLA M., GANDOLFI S., RONCI E., **2007**, Precisione e accuratezza raggiunta in rilievi NRTK ripetuti, *Bollettino SIFET (ISSN 1721-971X)*, 2007, **1**, 27-44

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