

Esperienze di navigazione geodetica in ambito urbano

Barbarella Maurizio (*), D'alonzo Leonardo (**), Gandolfi Stefano (*)

(*) DICAM – ARCES (LASIM) – Università di Bologna

(**) ARCES (LASIM) – Università di Bologna

Riassunto

I sistemi di rilievo ad alto rendimento costituiscono uno strumento efficace soprattutto nell'ambito del catasto strade. Attualmente le normative nazionali impongono agli enti locali di dotarsi di un catasto strade realizzabile ragionevolmente solo con tali apparati. Le precisioni dichiarate per tali applicazioni variano considerevolmente al variare del contesto operativo nel quale ci si trova ad operare. Nei centri urbani di origine medioevale, per esempio, i sistemi GNSS non garantiscono un buon funzionamento ed i sistemi di navigazione basano la stima della traiettoria sui dati della sola piattaforma inerziale che, come noto è caratterizzata da effetti di deriva. Nel presente lavoro ci si è posti il problema di realizzare un poligono di calibrazione, taratura e controllo per sistemi MMS che fosse rappresentativo delle diverse condizioni operative nelle quali ci si trova ad operare. Oltre alle caratteristiche di tale poligono, nel lavoro vengono mostrati alcuni risultati preliminari ottenuti dal confronto tra misure topografiche tradizionali, caratterizzanti il poligono, e quelle ottenute da un sistema MMS della ditta SITECO S.r.l.

Abstract

Mobile Mapping Systems constitute an effective tools for land survey especially in the field of the road cadaster. At the moment national law impose to the Public Authorities to dispose of an update road cadaster and these vehicles constitute the best solution to this problem. The accuracy of these systems is strictly dependent by the boundary conditions. In high urban density areas, for example, where the sky visibility is strongly reduced, this accuracy decrease dramatically. In this work, a MMS calibration and control polygon is shown. This polygon has been set up and measured by means of GNSS-RTK technology and classical ones. After the polygon realization, a MMS survey has been realized and the comparison between MMS solution and the topographical one is presented.

1. Introduzione

Un veicolo per il rilievo ad alto rendimento è costituito fondamentalmente da un apparato di navigazione, un gruppo di sensori necessari al rilievo ed un sistema di archiviazione dati. Il sistema di navigazione è generalmente basato su sistemi di posizionamento satellitari globali GPS, piattaforme inerziali triassiali (costituite da tre accelerometri e tre giroscopi ortogonali tra loro) ed uno o più odometri. I sensori installati sono strumenti atti al rilievo di una particolare grandezza utile alla mappatura dell'area di interesse. Quando si parla di sensori ci si riferisce generalmente a fotocamere, laser a scansione, profilometri, Ground Penetrating Radar, camere termiche etc... L'aspetto che è importante sottolineare è che, qualunque sia la grandezza che si "osserva" mediante opportuno sensore, il sensore stesso fornisce un parametro associato alla grandezza osservata e, se non esistono punti di "verifica" allora non è possibile stabilire l'attendibilità della misura eseguita. Sistemi di rilievo come i Mobile Mapping Systems (di seguito MMS) costituiscono il più delle volte, veri e propri osservatori in movimento che, a frequenze prestabilite raccolgono molteplici informazioni e le associano ad una posizione ottenuta da un sistema di navigazione. Al fine di poter valutare l'attendibilità delle informazioni raccolte dai differenti sensori installati e l'accuratezza delle posizioni derivanti dal sistema di navigazione è fondamentale eseguire verifiche su aree nelle

quali le grandezze rilevate siano note a priori con accuratezza e precisione superiore a quelle del sistema MMS. E' stato ritenuto importante per gli scopi finali della ricerca realizzare un "poligono di prova e calibrazione" intendendo con tale termine l'individuazione di un percorso sul quale realizzare per il sistema di navigazione ed eventualmente per ogni tipologia di sensore installabile, "zone di verifica e controllo".

2. Requisiti del poligono di calibrazione

Affinché tale poligono possa essere una *piattaforma di lavoro* utile a valutare da un lato il livello di accuratezza dei dati rilevati e dall'altro utile alla calibrazione eventuale sia del sistema di navigazione sia dei sensori installati è necessario prevedere, per ogni tipologia di grandezza che si vuole osservare, quali siano le condizioni operative differenti che realizzino, per quanto possibile, un grande numero di condizioni operative differenti e dall'altro quali siano le tecniche che consentano di stimare con buona precisione la grandezza osservabile in ogni condizione individuata.

E' stato dunque condotto uno studio il più possibile completo delle differenti tipologie di grandezze che tipicamente possono essere di interesse nella realizzazione di un rilievo con MMS e, a partire da queste grandezze, comprendere come sia possibile verificare che i differenti sensori siano realmente in grado di rilevare in modo corretto tali elementi.

In questa prima fase del lavoro le grandezze che sono state considerate sono principalmente quelle legate alla determinazione delle posizioni tridimensionali di punti in diverse condizioni operative ma comunque il percorso è stato studiato in modo tale da poter essere impiegato anche per la taratura di altri elementi (parametri di natura ambientale, camere termiche, etc..).

E' da sottolineare che l'accuratezza delle coordinate finali di punti ottenute dall'MMS sono funzione sia della precisione del sistema di navigazione sia della precisione dei sensori utilizzati. Il poligono è stato quindi studiato privilegiando gli aspetti legati alla stima della precisione sul posizionamento di elementi notevoli e dunque considerando la possibilità di poter avere almeno:

- a) Un tratto di strada in aree con scarsa visibilità satellitare per un periodo di circa 3 minuti
- b) Un tratto di strada in aree con scarsa visibilità satellitare per un periodo di circa 6 minuti
- c) Un tratto di strada con galleria
- d) Un tratto di strada con media visibilità satellitare e a doppia corsia
- e) Un tratto di strada con buona visibilità satellitare e a doppia corsia

Tali caratteristiche sono necessarie per valutare l'accuratezza nel rilievo di punti da parte del veicolo nei diversi contesti operativi.

3. Definizione del poligono di calibrazione



Figura 1 – Mappa del poligono di calibrazione indicante le zone con buona visibilità satellitare, zone generalmente caratterizzate da scarsa visibilità satellitare e tunnel.

Individuate le caratteristiche del poligono si è proceduto alla individuazione sul territorio del possibile percorso. E' stato scelto il percorso mostrato in figura 1, che risulta essere di circa 10km. Se lo si percorre in condizioni di traffico normale richiede circa 25 minuti. In realtà per gli scopi di ricerca alcuni tratti andranno compiuti in andata e ritorno ed i tempi di percorrenza risulteranno dunque più lunghi.

4. Realizzazione di rilievi topografici come base di riferimento per i test.



Figura 2 – Aree rilevate per via topografica nel contesto del poligono di calibrazione.

Il poligono di calibrazione, come peraltro già anticipato, consiste in un percorso dove preventivamente sono stati misurati punti notevoli con metodi più precisi del sistema da testare. Definito il percorso sono stati dunque individuati su di essi punti notevoli e si è proceduto alla loro misura per via topografica. Essendo i sistemi MMS generalmente basati su sistemi di navigazione che forniscono i risultati su sistemi geodetici o cartografici il rilievo di tali punti deve essere riferito allo stesso datum geodetico. Per il rilievo dei punti di riferimento, essendo le aree di differente tipologia, si è proceduto dove possibile mediante l'uso di tecniche GNSS in modalità RTK (o NRTK) e in aree particolarmente sfavorevoli al rilievo satellitare

realizzando poligonali aperte vincolate agli estremi mediante stazione totale. Tali poligonali sono state poi inserite nel sistema geodetico mediante rilievi di alcuni punti con sistema GNSS. Per questa fase del lavoro ci si è concentrati in particolare modo su due aree, collocata una nell'area Nord del tracciato e una nel centro storico. A seguito di tale fase di rilievo sono state dunque coperte le aree rappresentate in figura 2.

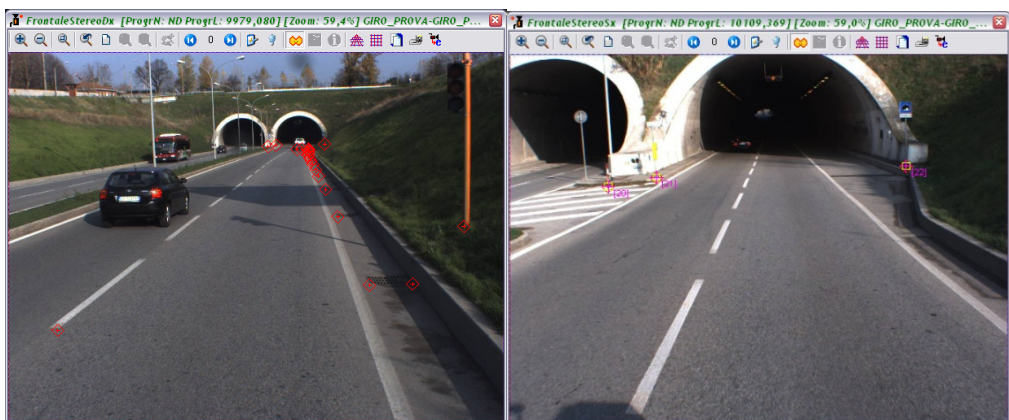


Figura 3 – Esempi di alcuni vertici rilevati per via topografica sulla zona A del poligono di calibrazione.

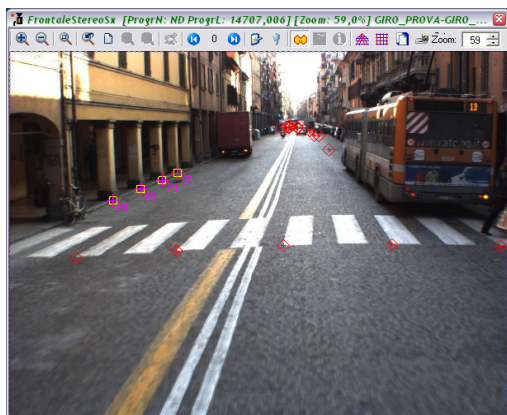


Figura 4 – Esempi di alcuni vertici rilevati per via topografica sulla zona B del poligono di calibrazione.

Per quanto attiene la tratta di percorso B (centro storico di Bologna), essa per sua natura è tale da non consentire una buona ricezione di satelliti. In tale area è pertanto possibile eseguire alcune verifiche in particolare legate al comportamento dell'apparato di navigazione dei sistemi MMS in condizioni di scarsa ricezione dei dati GNSS. In tale ambito si è preferito individuare alcune aree e rilevare diversi punti notevoli sia della tessa tipologia precedente sia punti "alti". In Figura 4 si mostra un esempio di alcuni punti rilevati nel centro storico (Zona B).

5. Realizzazione dei rilievi MMS

Grazie alla disponibilità della ditta SITECO S.r.l. e nell'ambito di un progetto di ricerca PRRITT 2008 (Programma regionale per la ricerca industriale, l'innovazione e il trasferimento tecnologico della regione Emilia Romagna) si è proceduto alla definizione delle modalità di rilievo del poligono di

calibrazione mediante i due sistemi MMS a disposizione della ditta. In particolare si è definito un protocollo di esecuzione dei test che fosse in grado di sottoporre i sistemi MMS a condizioni al contorno favorevoli e particolarmente sfavorevoli (dal punto di vista della geometria satellitare). In particolare per ciascun mezzo sono stati realizzati 4 rilievi di cui due con buona geometria satellitare e due con cattiva geometria satellitare. Il primo dei due rilievi è stato eseguito a velocità ridotta (compatibilmente con il contesto operativo) e l'altro a velocità normale (rispetto alla loro consueta modalità operativa). Tali rilievi realizzati nella primavera del 2010 sono attualmente in corso elaborazione ed analisi ed in questo lavoro solo alcuni risultati preliminari verranno mostrati. I due veicoli utilizzati sono sistemi MMS caratterizzati da differenti sistemi di navigazione. Il primo presenta un sistema di navigazione Applanix POSLV 220, mentre il secondo presenta un sistema di navigazione denominato Landins della ditta XSEA. Le differenze sostanziali tra i due sistemi sono molteplici e vengono riportate in Tabella 1.

		Applanix Pos Lv 220	Landins Xsea
Componenti installati	GPS	2	1
	IMU	1	1
	Odometro	1	1
Precisioni dichiarate dopo 60 secondi di assenza del GPS	Precisione planimetrica (cm)	15	10
	Precisione in altimetria (cm)	20	07
	Roll & Pitch (deg)	0.06	0.005
	True Heading (deg)	0.03	0.01
Precisioni dichiarate dopo 300 secondi di assenza del GPS	Precisione planimetrica (cm)	N/A	60
	Precisione in altimetria (cm)	N/A	40
	Roll & Pitch (deg)	N/A	0.005
	True Heading (deg)	N/A	0.01

Tabella 1 – Descrizione delle caratteristiche tecniche (dichiarate nei manuali di utilizzo) dei due sistemi di navigazione in dotazione della ditta SITECO S.r.l. utilizzati per il rilievo del poligono di calibrazione.

Come è evidente dalla Tabella 1 il sistema Landins presenta caratteristiche tecniche decisamente migliori già a 60 secondi, ma è interessante osservare come anche dopo 300 secondi (5 minuti) le precisioni dichiarate rimangano decisamente accettabili per i contesti nei quali tali dispositivi vengono più frequentemente utilizzati (applicazioni di catasto strade).

6. Confronto tra rilievi MMS e topografici (GNSS RTK).

Da quanto affermato nel capitolo 5 la mole di dati acquisiti con entrambi i veicoli sul poligono è cospicua e allo stato attuale solo alcuni risultati, peraltro di natura preliminare, verranno mostrati. In particolare i risultati che si intendono mostrare sono riferiti al confronto tra uno dei due sistemi MMS ed il rilievo topografico GNSS ottenuto mediante rilievo GNSS-NRTK nell'area A (Figura 2).

Prima di mostrare i risultati del confronto è però necessario premettere alcune considerazioni ed operazioni preliminari che sono state condotte e che riguardano le precisioni dei rilievi topografici e MMS entrambe intese nel senso di ripetibilità del risultato.

1.1 Precisioni del sistema MMS

Tra i diversi sistemi di rilievo di cui i sistemi MMS sono equipaggiati, l'unico in grado di poter "restituire" le coordinate di un particolare punto visibile sul territorio è il sistema fotogrammetrico. Altri sistemi di misura come ad esempio il laser scanner, consentono di eseguire rilievi di aree ma non consentono, per loro natura, di poter misurare un punto prestabilito. Il sistema fotogrammetrico di cui si è dotata la ditta SITECO S.r.l. è costituito da una serie di camere, di cui due in posizione frontale. La collimazione di un punto non avviene realizzando una vera e propria stereoscopia ma individuando il punto su una coppia di fotogrammi in modo separato. La accuratezza finale sulla stima della posizione di un punto è funzione della precisione tanto del sistema fotogrammetrico che del sistema di navigazione. La precisione del sistema Fotogrammetrico cambia molto a seconda della "configurazione" di camere scelta. Per tale test si è scelto di lavorare esclusivamente con fotogrammi sincroni delle due camere frontali ed evitando di scegliere punti troppo lontani ($D_{max} = 20/25m$) o troppo laterali. Ciononostante, la ripetibilità con cui si ottengono le coordinate di un punto, prescindendo dalla precisione dell'apparato di navigazione, è decimetrica (3 sigma).

1.2 precisioni del rilievo GPS-NRTK

Nonostante le precisioni nel rilievo GPS in modalità NRTK siano ormai abbastanza consolidate, anche per tale rilievo si è preferito ripetere le misure dei punti di calibrazione del poligono diverse volte. In particolare si sono utilizzati strumenti differenti e servizi di posizionamento differenti. Viste le precisioni richieste dalla applicazione si è ritenuto di poter lavorare in modalità NRTK con palina e registrando le posizioni dei punti dopo 20 epoche consecutive ad ambiguità fissate. Il confronto tra i diversi risultati ottenuti ha mostrato una ripetibilità dell'ordine di qualche centimetro.

1.3 Alcuni risultati del confronto

Il presente confronto è relativo alle posizioni ottenute dal rilievo NRTK e quelle ottenute dal rilievo mediante sistema fotogrammetrico del veicolo dotato di sistema di navigazione Landins.

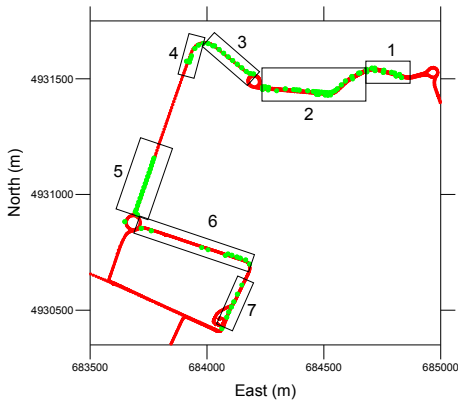


Figura 5 – Punti utilizzati per il confronto nel tratto A del poligono di calibrazione e verifica.

Il confronto è relativo all’area A (figura 2) dove il sistema GPS presenta un buon funzionamento ed una soluzione ad ambiguità fissate stabile. In questa area, il poligono di calibrazione rilevato con tecnica GPS-NRTK presenta 100 punti di controllo ubicati prevalentemente su spigoli di tombini della rete idrica (punti cerchiati in fig.3). In figura 5 viene mostrata l’ubicazione di tali punti (aree verdi) rispetto al tracciato (in rosso). Come è possibile osservare dalla mappa il poligono in tale area presenta tratti orientati secondi diversi azimut. Da un primo confronto tra le collimazioni ottenute dai filmati e quelle ottenute per via topografica è risultato evidente un comportamento “sistematico a tratti”. Analizzando più nel dettaglio l’ubicazione delle zone in cui il bias sembrava cambiare ci si è accorti che “cadevano” sempre in corrispondenza di cambi di direzione del veicolo. Suddividendo quindi il percorso in 7 parti come da figura 5 sono stati eseguiti confronti area per area.

Come mostrato in figura 6 e tabella 7 i confronti realizzati evidenziano differenti bias al variare del tratto considerato ma le differenze in termini assoluti risultano quasi sempre all’interno di 30cm. Da una analisi statistica condotta tratto per tratto si ottengono valori differenti anche se mediamente le deviazioni standard componente per componente sono dell’ordine di 10/15 cm. Da quanto osservato risulta evidente come l’orientamento del veicolo proietta le differenze su componenti differenti, e tale osservazione porta ad ipotizzare che il sistema sia affetto da un sistematismo ben definibile nel sistema di riferimento del veicolo stesso. In tal senso ulteriori approfondimenti sono in corso.

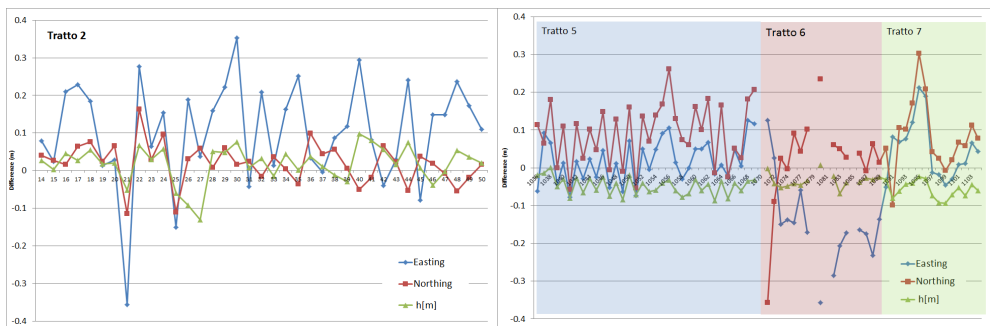


Figura 6 – Esempi di confronti tra punti collimati MMS e punti rilevati per via topografica in alcuni tratti dell’area A.

	Tratto 2			Tratto 5			Tratto 6			Tratto 7		
(cm)	DE	DN	DH	DE	DN	DH	DE	DN	DH	DE	DN	DH
Media	12.6	0.1	2.7	1.2	8.6	-4.9	-10.3	3.3	-3.6	5.3	9.9	-5.8
St. Dev.	15.2	7.2	5.3	5.1	7.8	2.3	14.1	12.7	2.0	8.1	8.6	2.2
MaxAbs	51.5	20.0	16.4	10.6	26.2	8.7	35.7	35.7	8.0	21.2	30.3	9.4

Figura 7 – Tabella delle principali statistiche del confronto tra rilievo MMS e punti rilevati con GPS-NRTK.

2. Conclusioni

A seguito della esigenza di caratterizzare i livelli di accuratezza e precisioni ottenibili da sistemi MMS è stato realizzato dal DICAM un poligono di Calibrazione nell'area metropolitana di Bologna. Esso è stato realizzato individuando un percorso caratterizzato da differenti tipologie di contesti (aree aperte, aree ad alta densità abitativa) e materializzato mediante un rilievo topografico di accuratezza centimetrica con metodologie di rilievo tradizionali e GNSS. Al fine di caratterizzare il comportamento di sistemi MMS è stato definito anche un protocollo di rilievo dello stesso volto a comprendere se il sistema sia soggetto a comportamenti molto differenti in diverse condizioni operative. Attualmente le analisi sono in corso ma, da alcuni confronti condotti in aree dove si ipotizza un buon funzionamento del sistema di navigazione, emerge una precisione di tali sistemi dell'ordine di qualche decimetro, caratterizzata però da un bias probabilmente nel sistema di calibrazione del veicolo (dell'apparato fotogrammetrico o dell'apparato di navigazione).

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare la ditta Siteco s.r.l (nella persona dell'ing. Augusto Burchi) per aver consentito l'uso dei veicoli necessari per la ricerca.

Tale ricerca è stata condotta nell'ambito di un programma PRRITT2008 della Regione Emilia Romagna.

Bibliografia

Gandolfi S., Barbarella M., Ronci E., Burchi A., 2008: Close photogrammetry and laser scanning using a mobile mapping system for the high detailed survey of a high density urban area, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISSN: 1682-1750). Part B5, Beijing 3-11 July 2008, Vol. XXXVII, pp. 909-914.

Gandolfi S., Forlani G., 2007: Catasto Stradale, Mobile Mapping e Navigazione Geodetica nelle Reti di Stazioni Permanenti, , Un Libro Bianco sui servizi di posizionamento satellitare per l'e-government, Geomatics Workbook (ISSN: 1591-092X), Volume7, ISSN 1591-092X, Biagi e Sansò editori, 167-186.

Barbarella M., Gandolfi S., Gordini C., 2003: Integrazione di Sensori a bordo di un veicolo: Verifica delle precisioni ottenibili, Atti 7a Conferenza Nazionale ASITA, Verona 28 - 31 ottobre 2003, 179-184.