

## USO DI UNA RETE DI STAZIONI PERMANENTI PER IL RILIEVO LIDAR: UN CASO APPLICATIVO

Carmine FAZIO (\*), Luca GUSELLA (\*\*)

(\*) Digicart srl a subsidiary of CGR GROUP, Via dell'Imbrecciato 121, Roma, [c.fazio@digicart.it](mailto:c.fazio@digicart.it)

(\*\*) Eurotec S.n.c.- p.le Lubiana, 11/a 43100 Parma, [luca.gusella@eurotecparma.com](mailto:luca.gusella@eurotecparma.com)

### Riassunto

I sistemi LIDAR aviotrasportati utilizzano un sistema di posizionamento GPS-IMU. I dati GPS integrati con i dati del dispositivo IMU consentono di ottenere la traiettoria e l'assetto del sensore attivo nel dominio del tempo. L'integrazione dei dati viene effettuata dopo aver preventivamente calcolata la traiettoria DGPS utilizzando dati contemporanei provenienti da una stazione *Master* ubicata su un punto a coordinate note.

Il posizionamento GPS ad elevate accuratèzze, in *post processing* o in tempo reale, è una delle tecniche di misurazione oggi maggiormente utilizzate. L'utilizzo di detta tecnica di misura è tuttavia limitato dagli effetti generati da ionosfera e troposfera, elementi che generano errori sistematici nei dati grezzi. Il tutto si traduce, al fine di ottenere accuratèzze soddisfacenti, nella necessità di lavorare con distanze ridotte tra ricevitore *base* e ricevitore *rover*. La disponibilità nel territorio di una rete di stazioni permanenti per il tempo reale consente l'esecuzione di rilievi, in tempo reale o in *post processing*, senza l'ausilio di una propria stazione di riferimento, ma appoggiandosi a dette reti. Esistono inoltre particolari infrastrutture di stazioni permanenti, tra le quali la rete VRS-ASSOGEO che offrono la possibilità di ridurre gli errori sistematici tipici della stazione di riferimento, permettendo inoltre un semplice accesso ai dati in caso di post elaborazione. Nella presente comunicazione, sarà presentata un'applicazione della rete ASSOGEO al caso del rilievo LIDAR, al fine di esemplificare i vantaggi operativi in questo particolare tipo di rilievo.

In questo lavoro vengono presentati i primi risultati conseguiti confrontando le diverse soluzioni cinematiche ottenute elaborando separatamente i diversi *Master* della rete VRS-ASSOGEO con una soluzione combinata secondo parametri statistici e geometrici.

I dati test si riferiscono ad un volo di calibrazione effettuato nell'area dell'aeroporto di Carpi.

### Abstract

Flying LIDAR systems use a GPS-IMU positioning. Bending GPS data with IMU data, to obtain the trajectory and the attitude of any active sensor, mounted in the same platform, in the temporal domain is today a standard process. The integration is made after a DGPS trajectory computation using GPS ground stations in a contemporary acquisition. Nowadays, accurate GPS positioning, in post processing or real time, is one of the most used survey techniques. However, this technique has some limitations, due principally to systematic errors induced by the atmosphere. For this reason, it is necessary to reduce the distance between the Base and the Rover GPS receivers. With the use of a network of GPS permanent stations, it is possible to perform the survey without the use of a ground reference station. The VRS-ASSOGEO network offers the possibility to reduce systematic errors and makes possible to access data for post processing elaboration. In the present paper, an application of ASSOGEO network to LIDAR survey will be presented, with the aim to demonstrate the operative advantage of the use of this solution. Different kinematic solutions will be compared, computing the trajectory using different permanent station separately and combining all results

using statistical and geometrical parameters. Test data are referring to a calibration flight at the Carpi airport.

## 1. Introduzione

L'esecuzione di un rilievo LIDAR su aree estese e/o lunghi corridoi presuppone un'attenta pianificazione del rilievo. Questa attività risulta complessa per il coinvolgimento di due segmenti produttivi: il segmento di terra, costituito da operatori GPS, e il segmento di volo costituito dall'equipaggio: operatore di volo e pilota (Fazio, 2006).

Una buona pianificazione del segmento a terra ha come obiettivo primario la massima copertura GPS in modo da svincolare la sezione volo da problemi di copertura garantendo la massima mobilità e quindi produzione.

L'utilizzo di stazioni GPS *Master* con operatori in campo risulta complesso dal punto di vista della pianificazione, costoso dal punto di vista economico ed infine ma importante l'operatore può introdurre nelle misure errori casuali, come il centramento dell'antenna GPS sul centrino GPS e/o grossolani nel trascrivere o digitare la lettura dell'altezza dell'antenna GPS.

L'utilizzo delle Stazioni Permanenti per il calcolo della traiettoria dell'elicottero consentirebbe non solo di ridurre i costi del segmento a terra, diminuendo o eliminando il numero di operatori necessari, ma anche di migliorare la qualità delle misure: verrebbero eliminati tutti gli errori legati all'attività umana di misura, inoltre non si andrebbe incontro a problemi di *jamming* e/o *multipath* che spesso si riscontrano in punti appartenenti alla rete di inquadramento (IGM95) e raffittimento (Reti regionali).

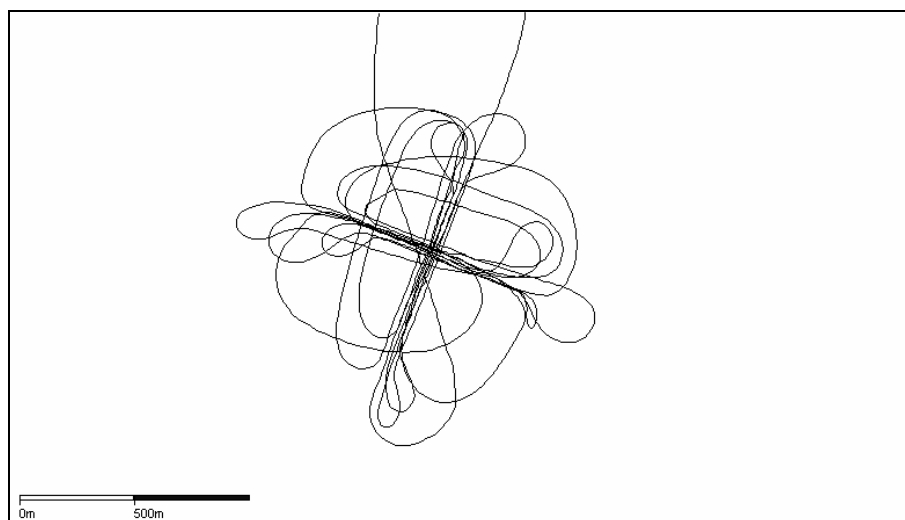
## 2. Il set di dati

Il test si riferisce ad un volo con elicottero eseguito presso l'aeroporto di Carpi in Provincia di Modena.

Sull'elicottero è montato il sistema TopEye, tecnologia LIDAR. Questo sistema è dotato di un sistema di posizionamento GPS-IMU: il ricevitore GPS è un Trimble 4700 a 12 canali e doppia frequenza L1/L2 configurato con un intervallo d'acquisizione fissato a 1 secondo mentre il sistema IMU ha un intervallo di campionamento a 200 Hz.

Il volo è stato eseguito nei giorni 11 e il 12 Ottobre del 2006 (JD 158) per scopi di calibrazione su un poligono adiacente l'aeroporto. La durata dei voli singoli è stata di circa 40 minuti (*start time* 12/10/2006 8.30.00 *end time* 12/10/2006 9.10.00).

Durante il volo sono state eseguite 14 strisciate: 7 strisciate eseguite alla quota di volo di 650 *feet* e le altre eseguite alla quota di volo di 1200 *feet*.



*Figura 1 - Schema delle strisciate del volo di calibrazione*

Il rilievo a terra è rappresentato dal servizio di stazioni permanenti ASSOGEO, costituito da 22 stazioni posizionate nel territorio dell'Italia Centro Settentrionale (Figura 2). L'inquadramento della rete in ETRF89 è dato dalle coordinate delle stazioni ottenute da rilievo *Fast Static* di un'ora dal punto IGM95 più prossimo. Le stazioni, e l'accesso ai servizi della rete, sono gestiti dal software infrastrutturale RTKnet di Trimble. Trimble RTKNet impiega gli *streams* di dati provenienti dalla rete di stazioni permanenti, e genera modelli di correzione in tempo reale. Le caratteristiche del software permettono un'utenza sia in tempo reale, utilizzando il protocollo NTRIP, sia in *post processing*, permettendo lo scarico non solo dei file RINEX delle stazioni, ma anche la generazione di *file* RINEX virtuali (Landau, 2002). Per ogni stazione, vengono riportati i parametri di acquisizione dei satelliti da parte delle stazioni in tempo reale (tabella 1), permettendo così una corretta valutazione del dato utilizzato sia nel caso d'utilizzo in tempo reale, sia nel caso di impiego in *post processing*.

In questo lavoro viene preso in considerazione la possibilità di utilizzare le stazioni ASSOGEO in applicazioni LIDAR o più in generale per il posizionamento di sensori appartenenti alla sfera del rilievo del territorio. Per valutare la bontà della struttura di servizio vengono utilizzate quattro stazioni permanenti (tabella 2) in modo da valutare la discrepanza geometrica fra traiettorie calcolate con i diversi *Master*. Questa misura risulta facile da conseguire anche in caso di rilievo reale rappresenta un buon indice di qualità della rete, poiché tiene conto anche della correttezza dell'inquadramento della rete in ambito regionale.

In aggiunta viene stimata una traiettoria combinata (combinazione delle quattro traiettorie secondo parametri geometrici e statistici) che risulta molto utile nel rilievo di lunghi corridoi.

System	PRN	Elev [°]	Az [°]	SnrCA [dB]	SnrP2 [dB]	CA	P2	URA	Salute
GPS	14	27.7	250.0	45	29	11356	0	0	OK
GPS	6	56.4	228.2	50	40	7052	0	0	OK
GPS	9	14.1	148.9	37	18	22666	0	1	OK
GPS	1	24.2	301.3	44	27	5315	0	0	OK
GPS	30	76.9	346.7	52	43	12052	0	1	OK
GPS	31	26.5	312.3	46	33	3314	0	1	OK
GPS	4	8.4	34.1	36	21	9833	0	0	OK
GPS	25	19.8	315.0	44	26	2342	0	2	OK
GPS	5	53.7	84.7	51	39	17188	0	0	OK
GPS	7	12.1	232.8	40	23	1115	0	0	OK
GPS	14	27.7	250.0	45	29	11356	0	0	OK
GPS	6	56.4	228.2	50	40	7052	0	0	OK

Tabella 1 - Tracciamento dei Satelliti e parametri qualità Stazione MO01

STAZIONE	COORDINATE			Elevazione	TIPO ANTENNA
	Latitudine	Longitudine			
MO01	44° 53' 12.88" N	10° 38' 23.29" E		69.907 m	ZephyrGeodetic W/Radome
MO04	44° 38' 26.72" N	10° 53' 59.02" E		95.010 m	ZephyrGeodetic W/Radome
MO05	44° 53' 47.65" N	11° 03' 56.92" E		64.160 m	ZephyrGeodetic W/Radome
RE01	44° 50' 17.89" N	11° 17' 08.93" E		64.319m	ZephyrGeodetic W/Radome

Tabella 2 - Stazioni permanenti utilizzate. Sono riportate le coordinate approssimate delle stazioni



Figura 2 - Distribuzione geografica della rete di stazioni permanenti ASSOGEIO e portale d'accesso al servizio di scarico dati RINEX (<http://www.gps-assogeo.it>)

### 3. Processamento dei dati ed analisi dei risultati

Il programma utilizzato per il processamento dei dati GPS è stato il Graf-Nav 7.6 della Waypoint Consulting Inc.(NOVATEL). Questo software è stato sviluppato per usi cinematici e consente di scegliere diverse strategie di calcolo. Il processamento cinematico della traiettoria può essere effettuato seguendo tre strategie di calcolo differenti.

La prima strategia prende in considerazione ogni *Master* come unità *Base* stimando la traiettoria per ogni *Master* e solo in un secondo momento combinare le diverse traiettorie ottenute con criteri geometrici e statistici. La seconda strategia, più raffinata, considera la rete come unità *Base* e stima la traiettoria utilizzando tutti gli osservabili contemporaneamente (metodo *Multi-Ref*). La terza strategia prende in considerazione una VRS in prossimità dell'area del volo.

In questo lavoro si presentano solamente i risultati ottenuti utilizzando i diversi *Master* della rete ASSOGEIO in modo da confrontare i risultati in termini di traiettoria cambiando la stazione di riferimento.

Non avendo a disposizione una traiettoria di riferimento che può considerarsi di accuratezza ed affidabilità di ordine superiore, si è deciso di prendere le diverse soluzioni e considerare la qualità statistica di ognuna di essa. E' importante sottolineare che tutte le soluzioni ottenute sono di qualità ottima cioè con ambiguità fissate (*Fixed*).

Si riporta in tabella 3 le statistiche di ogni traiettoria ottenuta in termini di RMS, PDOP e Numero Satelliti. E' altresì riportata nella stessa tabella la soluzione combinata ottenuta utilizzando metodi geometrici-statistici. Ci sembra importante sottolineare che, la combinazione di più traiettorie utilizzando parametri statistici è operazione assai delicata.

Un criterio semplice per combinare più traiettorie tiene conto in primis del tipo di soluzione ottenuta: le soluzioni di tipo *float* devono essere scartate a priori se possibile, poiché di grado di affidabilità inferiore rispetto a quelle ottenute fissando tutte le ambiguità.

Una volta scartate tutte le soluzioni di qualità inferiore occorre combinare tutte le altre nel rispetto di parametri geometrici, come ad esempio distanza *Master-Rover*, e di parametri statistici come ad esempio PDOP e RMS ammissibili.

Stazione	KM	Statistiche	RMS Est	RMS Nord	RMS H	PDOP	SATS
RE01	19-22	Max	14.9	16.1	24.9	3.9	8
		Min	9.2	8.7	11.0	1.2	6
		Mean	13.3	10.9	14.6	1.7	7.3
MO01	15-21	Statistiche	RMS Est	RMS Nord	RMS H	PDOP	SATS
		Max	1.8	4.3	6.6	3.6	7
		Min	1.2	1.9	2.7	1.4	6
MO04	17-21	Statistiche	RMS Est	RMS Nord	RMS H	PDOP	SATS
		Max	1.9	4.0	6.1	3.6	7
		Min	1.3	1.9	2.7	1.4	6
MO05	33-35	Statistiche	RMS Est	RMS Nord	RMS H	PDOP	SATS
		Max	15.9	18.9	29.3	3.9	8
		Min	10.4	10.7	13.4	1.2	6
Combinata		Statistiche	RMS Est	RMS Nord	RMS H	PDOP	SATS
		Max	2.3	4.4	6.8	3.6	7
		Min	1.6	2.3	3.1	1.3	6
Combinata		Mean	1.9	2.8	3.9	1.8	6.7

Tabella 3 - Statistiche traiettorie in cm

Infine per ottenere un'idea quantitativa di differenze di coordinate tra le traiettorie ottenute utilizzando diverso *Master*, si è preso in considerazione una traiettoria fittizia ottenuta come combinazione delle 4 rispettando parametri geometrici (distanza *Master-Rover*) e statistici RMS. I risultati sono riportati in tabella 4.

Stazione	KM	Diff. MAX (cm)			Diff. Media (cm)			Dev. STD (cm).		
		Est	Nord	h	Est	Nord	h	Est	Nord	h
MO05	33-35	+13.5	-5.7	-15.2	+9.8	-2.0	-6.4	1.4	2.0	3.4
RE01	19-22	-16.1	+17.3	-10.3	-12.6	+15.0	-2.9	1.2	1.1	3.5
MO01	15-21	-2.2	+1.9	3.3	-0.2	+0.8	+1.5	0.8	0.5	0.7
MO04	17-21	+1.5	+2.7	-3.5	0.00	+0.1	-0.6	0.5	0.8	1.0

Tabella 4 - Statistiche discrepanza traiettorie rispetto a quella combinata

Dalla tabella 4 notiamo che la stazione più lontana con distanza dalla zona test più di 30 km, la MO05 presenta un rms massimo nella coordinata altimetrica di quasi 30 cm con un valore medio di circa 18 cm. La RE01 pur trovandosi ad una distanza di circa 20 km presenta un RMS massimo di 25 cm con un valore medio di 15 cm. Ottima invece è il risultato ottenuto con le stazioni MO01 e MO04. In particolare la MO04 presenta un RMS massimo in quota di 6.1 cm con un valore medio di 3.6 cm e la MO01 presenta un RMS massimo in quota di 6.6 cm con un valore medio di 3.4 cm. E' da notare che durante il rilievo in tutte le SP il PDOP è stato sempre inferiore a 4 e il numero dei satelliti mai inferiori a 6.

Dalla tabella 4 è interessante notare che la traiettoria combinata si avvicina molto a quella ottenuta con la MO04 le cui differenze medie sono nulle in Est 1 millimetro in nord e 6 millimetri in quota con un picco massimo in quota di 3.5 cm.

L'interesse dello studio della soluzione combinata nasce dal fatto che spesso specialmente in lunghi corridoi non è possibile utilizzare un'unica stazione *Master* ma occorre utilizzarne più stazioni con distanza tra le stazioni in funzione dell'accuratezza desiderata. L'utilizzo della combinata costituisce una soluzione di continuità tra le traiettorie singole nel rispetto di parametri statistici e geometrici.

#### **4. Conclusioni**

Nel presente lavoro, è stata presentata un'applicazione tecnica di una rete di stazioni permanenti per il tempo reale, sfruttando i file RINEX accessibili dal sito web per effettuare il post processamento della traiettoria cinematica di un rilievo di calibrazione LIDAR.

L'utilizzo dell'infrastruttura ASSOGEO per il rilievo GPS in *real time* o in *post processing* per il posizionamento di sensori LIDAR o di rilievo in genere, consente uno snellimento delle procedure di campagna e quindi un aumento dell'attività produttiva. Dal punto di vista dell'elaborazione consente di avere a disposizione una certa quantità di *Master* che riduce sensibilmente la probabilità di non ottenere una soluzione ad ambiguità fissate, scegliendo quella soluzione caratterizzata dalla migliore costellazione e qualità del segnale.

Infine ma di primaria importanza in rilievi di lunghi corridoi l'utilizzo di una rete di stazioni consente di ottenere una unica traiettoria combinando le diverse traiettorie contigue. La combinazione costituisce una soluzione di continuità che tiene conto di parametri geometrici e statistici.

#### **Bibliografia**

Landau H., Vollath U., Chen X.(2002), "Virtual Reference Station Systems", *Journal of Global Positioning Systems* (2002) Vol. 1, No. 2: 137-143

Fazio C. (2006), "Utilizzo delle Stazioni Permanenti in Italia per il calcolo DGPS della traiettoria di un Elicottero per scopi di rilievo", 10<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA. Bolzano 14 - 17 novembre 2006.