

Utilizzo delle Stazioni Permanenti in Italia per il calcolo DGPS della traiettoria di un Elicottero per scopi di rilievo.

Carmine FAZIO

DIGICART SPA – A SUBSIDIARY OF CGR GROUP-Via dell’Imbrecciato 121
00149 – ROMA. email: c.fazio@digicart.it

Riassunto

L’uso della coppia GPS-IMU nel campo del rilievo aereo ha portato ad un miglioramento sia della qualità del dato geografico che del processo di produzione. I dati GPS, integrati con i dati IMU, consentono di ottenere la traiettoria e l’assetto del velivolo nel dominio del tempo.

La traiettoria GPS è calcolata in modalità differenziale (DGPS) utilizzando almeno una stazione GPS (Base) su un punto a coordinate note. L’utilizzo di Ricevitori GPS posizionati ad-hoc su punti a coordinate note “Master” consente di ottenere ottimi risultati essendo posizionati sulla zona del rilievo. Su ampie zone spesso conviene utilizzare un certo numero di stazioni (spesso più di 3) che devono essere coordinate insieme al segmento di volo. L’utilizzo di Stazioni Permanenti consentirebbe di operare in vaste zone senza preoccuparsi della pianificazione (trasferimenti e messa in stazione) dei master consentendo uno snellimento della logistica e dei costi.

La disomogeneità dei dati provenienti dalle diverse Stazioni Permanenti Italiane e la loro distribuzione sul territorio ci impongono un approccio graduale del problema. In prima istanza occorre valutare la possibilità di utilizzo di dati campionati a 30 secondi poiché reperibili facilmente via Web senza costi e abbonamenti aggiuntivi e in seconda battuta utilizzando dati a 1 secondo occorre puntare l’attenzione non sulla possibilità di ottenere una soluzione cinematica Master-Ricevitore (banale) ma bensì sulla possibilità di ottenere una soluzione MultiRef.

In questo lavoro si presentano i primi risultati riguardanti i dati a 30 sec. Il set di dati riguarda un volo TopEye (LIDAR) sulla provincia di Torino. I dati delle stazioni Master provengono sia dalla rete sperimentale VRS che copre il Piemonte e la Lombardia gestita dal Politecnico di Torino che da altre 2 Stazioni appartenenti alla rete IGS gestite dall’ Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Per la valutazione dell’accuratezza della traiettoria ottenuta con dati acquisiti a 30 secondi si sono confrontate queste con una traiettoria di riferimento ricavata utilizzando i dati di una stazione GPS posizionata su un punto IGM95 prossima alla zona del rilievo. Questa traiettoria, ai fini del confronto, è stata considerata priva d’errore essendo una soluzione di tipo Fix caratterizzata da un RMS massimo di 7 cm in quota. I risultati sono stati soddisfacenti anche per distanze Master-Rover superiori a 400 Km.

Abstract

The aim of this work is to investigate the potentiality of the GPS Permanent Stations to be used for differential GPS airborne Kinematic purpose in Italy.

The Field Test regards a helicopter flight carried out on the Turin Province in order to generate a 3D city model of road corridors by using LIDAR technology.

Since the flight was carried out near to the zone covered by the VRS GPS Network, rolled by the *Politecnico di Torino*, the main data of this experiment belong to this network. In addition in order to investigate the behavior of the solution increasing the distance from the Rover to the Master

others two GPS Permanent Stations was used. These belong to IGS Networks and are rolled by the Italian Spatial Agency (ASI). All these data are collected following the EUREF standard. Either the VRS and ASI data can be downloaded via Internet at no charge but the last one are collected at 30 sec.

For this reason first we want to investigate the critical condition (GPS data collected at 30 sec) and then we shall move to the general problem: process the DGPS Kinematic trajectory by using a Reference Network data (Multi-Ref).

In this paper are presented only the first results regarding to the use of only one Reference Station by using 30 sec data.

To evaluate the quality of the trajectories by using 30 sec data belonging to GPS Permanent Station a reference trajectory was processed by using a GPS Reference Station near to the Test zone. This trajectory was postulated to be errorless.

1. Introduzione

L'esecuzione di un rilievo LIDAR e/o Fotogrammetrico da elicottero su lunghi corridoi presuppone una attenta pianificazione del rilievo. Una retta pianificazione rappresenta la base fondamentale per la buona riuscita del rilievo sia in termini di qualità che in termini di costi.

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.

Dato che i costi del segmento di volo non sono comparabili con quelli del segmento a terra, una buona pianificazione deve mirare a garantire il massimo supporto al primo, garantendogli la massima *copertura* GPS. In altri termini occorre svincolare completamente il velivolo dal segmento a terra dandogli la massima libertà di manovra al pilota/operatore durante il rilievo.

La *copertura* GPS è ottenuta utilizzando un certo numero di ricevitori GPS distribuiti sulla zona da rilevare. Il numero degli operatori e dei ricevitori dipenderanno dai requisiti di qualità metrica del progetto. Esperienze di processamento cinematico dimostrano che per ottenere traiettorie con accuratezza sub-decimetrica occorre che la distanza Master-Rover sia sempre inferiore a 20 km mentre per ottenere una traiettoria con accuratezza sub-metrica si può arrivare a basi anche di 50 km. Questo significa che per corridoi lunghi centinaia di chilometri e per alte precisioni occorre utilizzare almeno 4 operatori GPS.

L'uso delle Stazioni Permanenti per il calcolo della traiettoria dell'elicottero consentirebbe non solo di ridurre i costi del segmento a terra, diminuendo il numero di operatori necessari, ma anche di migliorare la qualità delle misure: verrebbero eliminati tutti gli errori legati all'attività di misurazione 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 dei dati

Il Test si riferisce ad un volo LIDAR eseguito, con tecnologia TopEye montata su elicottero. Il sistema TopEye è costituito da un sistema di posizionamento GPS-IMU. Il Ricevitore GPS è un Trimble 4700 a 12 canali e doppia frequenza L1/L2 con intervallo d'acquisizione fissata a 1 secondo mentre il Sistema IMU ha un intervallo di campionamento a 50 Hz.

Il volo è stato eseguito su strade gestite dalla provincia di Torino il 7 Giugno 2005 (JD 158). La durata del volo è stata di circa 3 ore (decollo ore 11:15 ora locale atterraggio ore 14:05).

Le caratteristiche dinamiche del volo sono state: velocità massima 50 nodi, 11 virate e quota media di volo 2000 *feet*.

I dati delle Stazioni usate come Base provengono da due Reti GPS Permanenti: la rete sperimentale VRS gestita dal Politecnico di Torino e quella istituita per il mantenimento del Datum gestita dall'ASI. La rete sperimentale VRS comprende 14 stazioni GPS permanenti ubicate in Piemonte e Lombardia, lo schema è riportato in Figura 1.

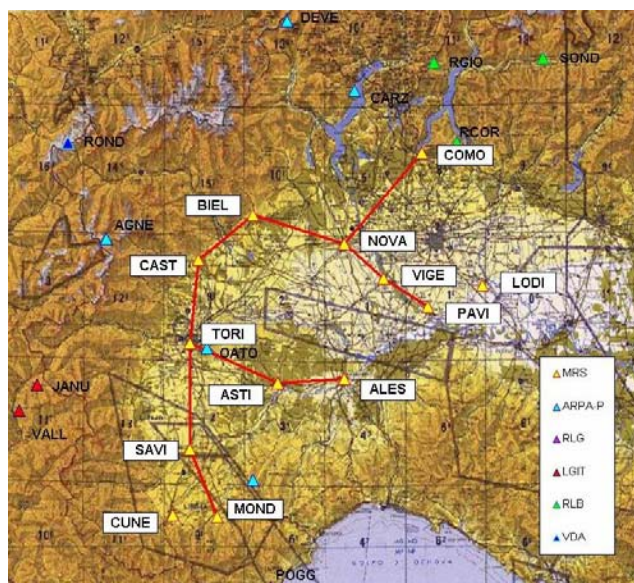


Figura 1 – Schema Rete sperimentale VRS (Fonte <http://www.vercelli.polito.it/civili/topo0103.htm>).

Entrambi i gestori delle due reti forniscono i dati seguendo gli standard EUREF.

I dati di queste stazioni sono disponibili in rete in formato proprietario o in formato Rinex. Tutte le stazioni mettono a disposizione via web i dati a 30 secondi per scopi scientifici e possono essere scaricati gratuitamente. Dati per scopi cinematici, con intervallo d'acquisizione al secondo, spesso non sono disponibili e se lo sono non sono gratuiti (Rete TIM).

In questo primo test sono stati utilizzati dati a 30 secondi sia perché rappresentano la condizione critica per il calcolo DGPS cinematico della traiettoria sia perché più rappresentativi dello stato dell'arte delle SP italiane.

In Tabella 1 sono riportate le stazioni utilizzate, il gestore, l'appartenenza alla rete, il tipo d'antenna denominata secondo gli standard IGS e l'off-set verticale rispetto al *benchmark*. In Tabella 2 invece si riportano le coordinate geografiche.

Si noti che le coordinate delle stazioni appartenenti alla rete sperimentale sono coordinate del Sistema IGM95 che costituisce la realizzazione europea ETRF89_1989. 0, mentre le due stazioni gestite dall'ASI appartengono alla realizzazione ETRF89_2002.06. Le Differenze tra queste due realizzazioni sono comunque da considerarsi trascurabili in questo tipo di applicazione (A. Caporali et Al., 2003). Per avere un'idea dell'ordine della discrepanza dei due oggetti si sono calcolate le differenze in coordinate UTM sui punti a disposizione. In Tabella 3 sono riportate le discrepanze in cm. Si noti che la discrepanza è sub-decimetrica toccando un massimo di 5.3 cm sulla stazione TORI.

STAZ	Ricevitore	Antenna (Nome IGS)	Agenzia	Rete	Δh antenna
TORI	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	POLITO	EUREF	0.000
CAST	Topcon Legacy –E GGD	TPSCR3_GGD	GE.S.T. 2 ALTO CANAVESE	Rete test MultiRef	0.000
NOVA	TRIMBLE 4000 SSI	TRM29659.00	COMUNE NOVARA	Rete test MultiRef	0.000
VIGE	4000 SSE	TRM33429.00+GP	ITG Casale, Vigevano	Rete test MultiRef	0.000
PAVI	(S/N)	TRM41249.00	UNIVERSITA'	Rete test MultiRef	0.000
COMO	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	POLIMI_COMO	EUREF	0.113
MEDI	TRIMBLE 4000SSI	TRM29659.00	ASI	IGS	0.000
VEVE	Trimble 4700	TRM29659.00	ASI	IGS	0.000

Tabella 1– Stazioni Permanenti utilizzate.

Coordinate Geografiche			
IGM95 (ETRS89 1989. 0)			
TORI	45 03 48.11375	7 39 40.59681	310.727
BIEL	45 33 38.67894	8 2 52.98329	480.549
CAST	45 23 12.12956	7 42 33.45271	413.471
NOVA	45 26 50.01699	8 36 50.28398	218.570
VIGE	45 18 53.26234	8 51 42.95494	168.616
PAVI	45 12 10.73150	9 8 10.10431	143.612
COMO	45 48 07.77701	9 5 44.22499	292.250
ETRS89 2002.06			
MEDI	44 31 11.83550	11 38 48.51920	50.038
VEVE	45 26 13.125500	12 19 55.13000	67.166

Tabella 2 – Coordinate Stazioni utilizzate

IGM95 (ETRS89_1989. 0)				ETRS89_2002.06			Differenze in cm		
COMO	507430.27	5072070.97	292.25	507430.31	5072070.98	292.29	3.7	0.8	4.0
NOVA	469812.38	5032706.07	218.57	469812.41	5032706.06	218.59	2.8	-0.7	1.5
TORI	394604.51	4990861.18	310.73	394604.56	4990861.14	310.74	5.3	-4	1.4

Tabella 3 – Discrepanza tra coordinate IGM95 ed ETRS89_2002.06

3. Software e strategia di calcolo

Il programma utilizzato per questo lavoro è stato il Graf-Nav 7.5 della Waypoint Consulting Inc.. L'utilizzo di Graf-Nav consente di processare il dato sia in *Forward* (dalla prima all'ultima epoca acquisita) che in *Reverse* (in senso inverso).

Processando i dati nei due versi si ottengono soluzioni diverse più o meno compatibili. La discrepanza tra le soluzioni nei due versi può essere considerato un parametro della bontà della traiettoria: minore è la discrepanza o residuo maggiore è l'accuratezza della traiettoria.

In questa prima fase si focalizza l'attenzione su aspetti importanti del dato a disposizione quali l'intervallo d'acquisizione e la distanza Master-Rover.

Per quanto riguarda il primo punto per ottenere la traiettoria con una frequenza al secondo occorre eseguire il Post-Processing dopo aver interpolato il dato ottenendo osservabili a 1 secondo. Questa operazione è lecita poiché il Ricevitore Master non è in movimento. Dalla letteratura e da esperimenti eseguiti sul dato l'interpolazione porta a un degrado della soluzione introducendo un rumore inferiore ai 5 cm.

Per quanto riguarda la distanza Master-Rover si ricorda che l'aumento della distanza Master-Rover impedisce il fissaggio dell'ambiguità di fase a un intero. Infatti all'aumentare della distanza aumentano gli errori differenziali residui delle orbite, della ionosfera, della troposfera (Gerard Lachapelle et Al. 2000):

$$\nabla\Delta\Phi = \frac{1}{\lambda}(\nabla\Delta\rho + \nabla\Delta Trop + \nabla\Delta Ion - \nabla\Delta m + \nabla\Delta\varepsilon + \nabla\Delta N) \quad [1]$$

L'operatore lineare " $\nabla\Delta$ " indica le doppie differenze di fase, m indica il multipath, ε il rumore nella misura e N l'ambiguità di fase.

Per la valutazione della bontà della soluzione di tipo *Float* oltre alle statistiche classiche sono stati considerati altri due parametri: la discrepanza tra le due soluzioni ottenute nei due versi (Forward/Reward) e l'*Ambiguity drift*.

L'*Ambiguity drift* è un indice molto utile per valutare la bontà della stima dell'ambiguità di fase, poiché misura di quanto si discosta la stima di N nel tempo in numero di cicli al secondo, in altre parole la stabilità della stima.

Infine durante il calcolo particolare cura si è posta sulla definizione di centro di fase delle antenne. Il calcolo è stato effettuato utilizzando i file di calibrazione delle antenne messe a disposizione dal NGS (<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL>).

Da studi fatti (Mader G.L.- <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>) risulta che nell'ipotesi esemplificativa di considerare il Centro di fase dell'antenna come punto fisso ignorando la sua variazione PCV (Phase Centered Variations) si potrebbe commettere un errore anche di 10 cm.

4. Test ed analisi dei risultati

Per valutare la qualità delle traiettorie ottenute con dati a 30 secondi provenienti da Stazioni Permanenti si è seguito un procedimento empirico che considera una traiettoria di riferimento priva di errore. Affinché questa ipotesi sia valida occorre che questa soluzione abbia requisiti di qualità ben superiori a quelli delle altre traiettorie. Per ottenere una traiettoria con requisiti di accuratezza centimetrica è stata utilizzata per il calcolo una Stazione Base su un punto a coordinate note IGM95(Punto 067901) distante dalla zona del rilievo meno di 20 Km. La distanza Master-Rover è variata da un minimo di 6,6 m a un massimo di 18.7 Km. In Figura 2 si riportata la traiettoria di riferimento.

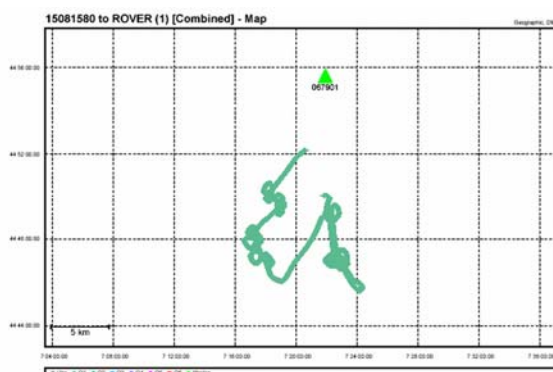


Figura 2 – Traiettoria di riferimento.

Il GPS utilizzato è un Trimble 4700 con antenna TRM33429.00+GP L1/L2 Microcentered Geodetic con *ground plan*. La soluzione DGPS ottenuta è di tipo *Fix*, tutte le ambiguità di fase sono state fissate a un intero. In Tabella 4 si riportano i parametri di qualità della soluzione. Si noti che il RMS massimo è di 7.2 cm in quota e che il PDOP massimo è di 3 con una media di 1.2.

	RMS EST (m)	RMS NORD (m)	RMS h (m)	PDOP	SATS
Epochs	3153	3153	3153	3153	3153
Max	0.030	0.037	0.072	3	9
Min	0.018	0.019	0.036	1	6
Mean	0.021	0.026	0.044	1.2	7.7

Tabella 4: RMS Stimato, PDOP e numero Satelliti.

Il calcolo delle traiettorie da SP è stato eseguito sistematicamente allontanandosi sempre più dalla zona del rilievo. La prima Stazione utilizzata è stata quella del Politecnico di Torino (TORI) e l'ultima è stata quella di Venezia (VENE) che dista dalla zona del rilievo 400 Km circa. Tutte le soluzioni ottenute sono di tipo *Float* caratterizzate da un *ambiguity drift* limitato. In Tabella 5 si riportano tre statistiche (Max, media e Deviazione Standard) delle differenze di coordinate rispetto alla traiettoria di riferimento.

STAZIONE	Ricevitore	KM	Max DIFFERENZE (cm)			Media DIFFERENZE (cm)			Std Dev		
			Nord	Est	h	Nord	Est	h	Nord	Est	h
TORI	TRIMBLE 4000SSI	38	+10.4	-15.3	+22.6	3.1	-8.5	9.4	2.2	2.4	4.1
CAST	Topcon Legacy -E GGD	70	11.2	-19.0	-15.0	7.1	-13.0	-8.0	2.1	2.1	2.6
NOVA	TRIMBLE 4000 SSI	124	10.9	-13.0	-25.0	3.2	-7.0	-14.0	2.00	1.5	3.9
VIGE	4000 SSE	133	-12.0	-18.0	-17.0	-3.0	-11.0	-8.0	2.30	3.10	4.70
PAVI	(S/N)	150	6.2	-20.0	-16.2	1.9	-15.3	-8.2	1.80	2.20	3.10
COMO	TRIMBLE 4000SSI	177	-11.0	-5.0	20.5	-5.0	-2.0	11.9	2.40	0.04	0.13
MEDI	TRIMBLE 4000SSI	343	6.3	-19.0	-0.11	1.6	-15.0	-1.0	1.90	1.30	2.10
VENE	Trimble 4700	400	-7.3	-29.6	13.1	-2.7	-26.0	3.3	1.90	1.30	2.10

Tabella 5 – Statistiche discrepanza traiettorie rispetto a quella di riferimento.

Dalla Tabella 5 si noti che il massimo scostamento dalla traiettoria di riferimento è inferiore a 30 cm, ottenuto con i dati della stazione di Venezia distante 400 Km.

Lo scostamento non è correlato spazialmente nel senso che stazioni più lontane possono presentare scostamenti inferiori.

Analizzando le medie delle differenze si segnala un sistematismo globale sulla coordinata Est: tutte le traiettorie sono sistematicamente ad ovest della traiettoria di riferimento. Inoltre ogni traiettoria presenta un sistematismo rispetto a quella di riferimento misurato dalla media delle differenze.

Importante notare che le dispersioni intorno alle medie delle differenze sono molto basse è sempre inferiori a 5 cm.

Infine segnaliamo due curiosità. TORI, distanza massima Master-Rover di 38 Km, presenta uno scostamento massimo di 22.6 cm in quota. MEDI, distanza massima Master-Rover 343 Km, presenta uno scostamento massimo inferiore a 20 cm.

5. Conclusioni

L'uso di dati provenienti da Reti Permanenti a 30 secondi, disponibili in rete via web gratis, ha consentito di ottenere risultati quasi inaspettati. L'interpolazione del dato al secondo per usi cinematici, nonostante un aumento di rumore nell'osservabile fase, ha consentito di ottenere soluzioni *Float* stabili e affidabili. Trattandosi di una soluzione di tipo DGPS con ambiguità di fase non fissata è stato fondamentale durante la ricerca della soluzione ottimale utilizzare un software che consente di processare il dato nei due versi (*Forward/Reverse*).

Lo scostamento massimo della traiettoria calcolata è stata ottenuta sulla stazione di Venezia distante 400 Km dalla zona del rilievo ed è stato inferiore di 30 cm (componente Est).

Tutte le traiettorie presentano un sistematismo relativo nelle tre componenti e uno assoluto nella componente Est, e sono tutte caratterizzate da un indice di dispersione molto buono (deviazione standard sempre inferiore a 5 cm).

Bibliografia

Bruton, A.M., Mostafa, M.M.R. and Scherzinger, B. M. (2001), Airborne DGPS Without Dedicated Base Stations for Mapping Applications . Proceedings of ION-GPS 2001, Salt Lake City, Utah, USA, Sept 11-14.

Caporali A., Maseroli R. and Marco Pierozzi (2003), ETRS89 Coordinates At Epoch 10.07.2002 for Seventeen Permanent GPS Stations in Italy and additional 22 Reference EPN sites in Italy, France, Switzerland And Austria. Submitted To The Annual Euref Symposium, Toledo (Spain) 4-6 June
Cina A., Manzino A.M., Roggero M. Long Range RTK.

<http://www.vercelli.polito.it/civili/attitopo01.asp>

Colombo O.L (1991), "Errors in Long Distance Kinematic GPS," Proceedings ION GPS '91, Albuquerque, N.M.

E. Benazzo et Al. Reti GP permanenti su scala regionale in Piemonte, inquadramento geodetico e strategie d'analisi. <http://www.vercelli.polito.it/civili/attitopo01.asp>

Lachapelle, G., Alves, P., Fortes, L. P., Cannon, M. E., Townsend B., 2000. DGPS RTK positioning using areference network, in Proceedings of the 13th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. ION GPS 2000, Salt Lake City , Utah, 19-22 settembre 2000.

Mader, G.L. GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey National Geodetic Survey NOS, NOAA Silver Spring, MD <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>