TECNICHE DI NAVIGAZIONE ASSISTITA PER L'UTILIZZO FOTOGRAMMETRICO DI UAV (UNMANNED AERIAL VEHICLE)

Horea BENDEA(*), Piero BOCCARDO (**), Sergio DEQUAL (*),
Fabio GIULIO TONOLO (**), Giorgio GUGLIERI (***), Davide MARENCHINO (*)

(*) DITAG – Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie, Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino. – (horea.bendea, sergio.dequal, davide.marenchino)@polito.it
(**) ITHACA, Information Technology for Humanitarian Assistance Cooperation and Action
Via Pier Carlo Boggio 61, 10138 Torino. – (piero.boccardo, fabio.giuliotonolo) @ithaca.polito.it
(***) DIASP – Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale, Politecnico di Torino
C.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino. – giorgio.guglieri@polito.it

Riassunto

L'associazione ITHACA *(Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action)* coordina alcuni progetti di ricerca finalizzati a fornire supporto alle attività del WFP (*World Food Programme*), la più grande agenzia operativa delle Nazioni Unite, nelle fasi di previsione (*Early warning*) e valutazione (*Early impact*) delle conseguenze di un evento catastrofico. Uno dei progetti principali consiste nella realizzazione di un prototipo di aereo radiocomandato (UAV, *Unmanned Aerial Vehicle*) con capacità di volo autonomo ed equipaggiato con strumentazione idonea al rilievo di dati territoriali e ambientali. Recentemente il velivolo è stato dotato di una scheda autopilota Micropilot, con ricevitore GPS e sensori inerziali, che consente alla piattaforma di volare autonomamente in funzione di un piano di volo prestabilito, ad eccezione, per il momento, delle fasi di decollo e atterraggio. È stato inoltre previsto il collegamento del *payload* all'autopilota in modo da automatizzare anche la fase di acquisizione dei fotogrammi. Nel presente contributo sono descritti i risultati delle prove di volo autonomo effettuate e le prossime fasi del progetto, che prevedono l'utilizzo, durante le operazioni di orientamento dei fotogrammi acquisiti, dei dati di posizione e di assetto forniti dalla scheda autopilota.

Abstract

The Information Technology for Humanitarian Assistance Cooperation and Action (ITHACA) Organization, founded by Politecnico di Torino and SiTI (Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione,) coordinates several projects with the main goal of providing technological support to the United Nations World Food Programme (WFP), the largest agency of the United Nations, in the field of emergency preparedness and management.One of the main projects deals with the manufacturing of a UAV prototype (Unmanned Aerial Vehicle) capable of autonomous flight and equipped with instrumentation suitable for imaging surveys. A Micropilot autopilot has been recently installed, allowing the aerial platform to fly according to a predefined flight plan (except for landing and take-off operations, up to the present). The payload has been connected to the autopilot in order to automatically control the acquisition of the images.

In this paper the results of autonomous test flights are shown. Further developments concern the exploitation of attitude and position data in order to test a direct georeferencing approach.

INTRODUZIONE

ITHACA *(Information Technology for Humanitarian Assistance, Cooperation and Action)* è un'associazione che vede come soci fondatori il Politecnico di Torino e il SiTI (Istituto Superiore sui Sistemi Territoriali per l'Innovazione) ed ha lo scopo di condurre attività operative e di ricerca nel settore della geomatica per l'analisi, la valutazione e la mitigazione dei danni nei casi di emergenze ambientali.

Uno dei principali progetti in corso è lo sviluppo di un prototipo di velivolo senza pilota a bordo (UAV = Unmanned Aerial Vehicle) con capacità di volo autonomo ed equipaggiato con strumentazione idonea al rilievo di dati territoriali e ambientali.

Il progetto, denominato "Pelican", rientra in una delle principali attività di ricerca a supporto del WFP (*World Food Programme*), la più grande agenzia operativa delle Nazioni Unite. La finalità del progetto è infatti di predisporre una flotta di velivoli autonomi dotati di opportuni sistemi di acquisizione ed elaborazione dei dati, che consentano di realizzare cartografie speditive per la valutazione delle conseguenze di un evento catastrofico (*Early impact*).

Allo stato attuale il velivolo è dotato di una scheda autopilota che consente l'esecuzione autonoma di piani di volo prestabiliti ad esclusione, per il momento, delle operazioni di decollo e di atterraggio. L'attenzione del lavoro di ricerca è quindi focalizzata sul settaggio dei parametri di controllo del velivolo, al fine di garantire l'esecuzione delle rotte con caratteristiche idonee agli scopi fotogrammetrici.

L'UAV "Pelican"

L'UAV Pelican è un prototipo di velivolo dotato di un autopilota ed equipaggiato con una camera digitale ad uso fotogrammetrico. Il velivolo è quindi in grado di compiere voli autonomi seguendo rotte pre-programmate, e di eseguire acquisizioni digitali controllate dall'autopilota stesso. La piattaforma (MH 2000, figura 1) è stata sviluppata e brevettata dal gruppo di ricerca guidato dai Proff. F. Quagliotti e G. Guglieri del Dipartimento di Ingegneria Spaziale (DIASP) del Politecnico di Torino. Esso presenta un'apertura alare di 2000 mm, un peso massimo al decollo di 10 Kg, ed è equipaggiato con un motore elettrico, alimentato a batterie ai polimeri di litio in grado di garantire un'autonomia di circa un'ora. La configurazione è a tutt'ala, con fusoliera integrata in vetroresina. Il massimo carico utile (*payload*) è di 2.5 Kg. E' attualmente in fase di completamento una versione in fibra di carbonio che non solo migliorerà le caratteristiche strutturali del velivolo ma consentirà anche di aumentare la capacità di carico al decollo.

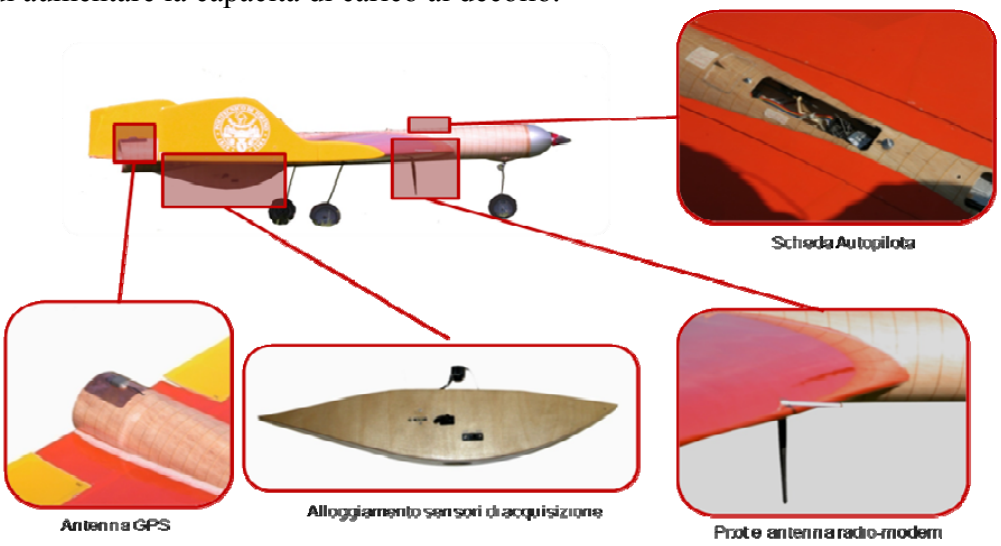

Figura 1 - Equipaggiamenti principali della piattaforma aerea

L'autopilota installato a bordo è il MP2128[g] della ditta canadese Micropilot. Il sistema è costituito da una scheda con funzioni GNC (*Guidance, Navigation and Control*), montata in centro fusoliera ed una GCS (*Ground Control Station*), costituita da un PC con software *Horizon*, in grado di gestire tutte le funzioni di "comunicazione" tra operatore a terra e autopilota. La scheda ha il peso di soli 28g ed è costituita da un ricevitore GPS, giroscopi sui 3 assi, accelerometri, sensori di velocità (tubo di Pitot) e di quota (barometrico). Il sistema è in grado di controllare in automatico fino a 24 servocomandi. La frequenza di *feedback* dei sensori è di 5 Hz, mentre la frequenza di acquisizione del GPS è di 1 Hz. L'antenna ricevente attualmente installata permette di effettuare posizionamento assoluto cinematico con misure di codice. Il ricevitore GPS del MP2128[g] può comunque essere sostituito con un ricevitore "*Ublox*" a frequenza di acquisizione di 4 Hz, in grado di accettare le correzioni differenziali per un DGPS con misure di codice. La comunicazione con la GCS è garantita da un radio-modem con frequenza di comunicazione 2.4 GHz.
Il software *Horizon* (Figura 2) è un'interfaccia per la comunicazione con l'autopilota. La principale funzione del software è quella di monitoraggio e interazione in tempo reale con il velivolo durante le fasi di volo. Inoltre è possibile creare o importare piani di volo predefiniti (con un massimo di 1000 *waypoints*) ed eventualmente apporre delle modifiche durante le fasi di volo, nonchè configurare e controllare i servocomandi dedicati a motore, alettoni e vari sensori installati sul velivolo. Consente inoltre di settare i guadagni aerodinamici del velivolo anche in fase di volo e di simulare voli in funzione delle specifiche assegnate. È infine possibile effettuare il *download* in telemetria dei parametri di volo, i quali possono essere analizzati mediante il software *Logviewe*r, che permette di convertire i dati grezzi acquisiti dall'autopilota nel sistema metrico e di visualizzarli sia in formato tabellare che grafico (Figura 3), con una frequenza di campionamento di 5 Hz.

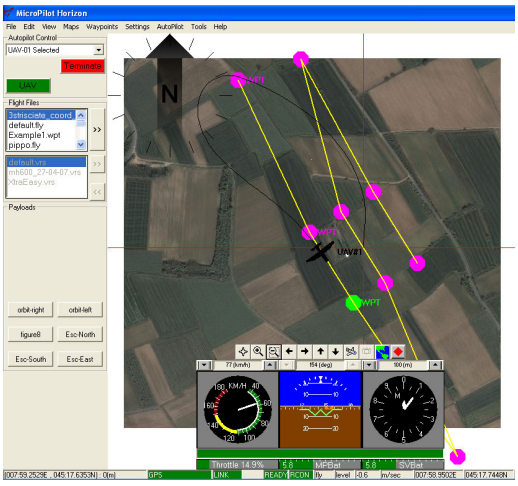

Figura 2 – Software di navigazione Horizon

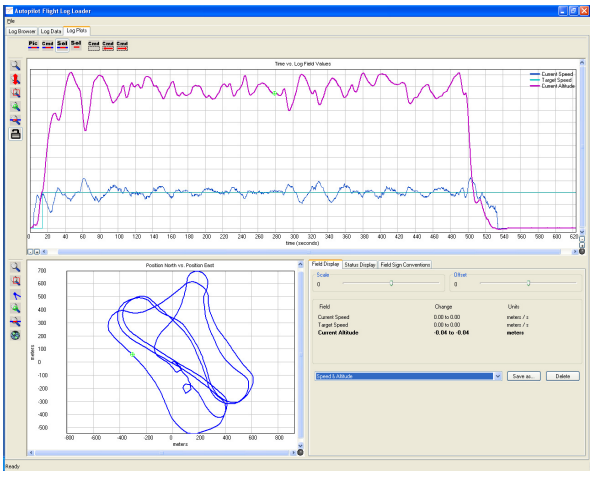

Figura 3 – Software dedicato alla telemetria

Allo stato attuale l'UAV è equipaggiato con un sistema di acquisizione di immagini costituito da una camera fotografica e da una video-camera. Questi sensori sono montati e integrati in un alloggiamento dedicato *(pod)* che può essere facilmente montato nella parte sottostante la fusoliera. La camera è attualmente una RICOCH GR digitale con risoluzione di 8 Mpixel e focale (no zoom) di 5.9 mm. Il peso è di 200g, comprese le batterie. Date le dimensioni ridotte (107 x 58 x 54 mm) è stato possibile montare la camera nel *pod* trasversalmente all'asse fusoliera, in modo da aumentare l'abbracciamento laterale. All'interno del *pod* è inoltre installata una telecamera che inquadra il monitor LCD della camera fotografica e invia un segnale video a terra (via radio, con portata proporzionale alla potenza di trasmissione, variabile a seconda della normativa nazionale). In questo modo è possibile avere una visione in tempo reale delle zone sorvolate, unitamente al controllo sullo stato di funzionamento della camera digitale.

Pianificazione ed esecuzione delle prove di volo

Allo stato attuale sono in corso di svolgimento numerose prove di volo presso il campo volo di Villareggia (To), al fine di settare correttamente i parametri di controllo dell'UAV e di testare le potenzialità e i limiti della scheda autopilota nella navigazione automatica. Un'ulteriore finalità dei test è di verificare il corretto collegamento tra scheda autopilota e camera fotografica per lo scatto in automatico delle immagini. Le prove sono state organizzate in funzione di differenti piani di volo; nel presente articolo si farà riferimento unicamente al piano di volo *"Grid 1"* riportato in figura 4.

Nome	Numero strisciate	Lungh. Strisciate (m)	Interasse (m)		
			1-2	2-3	3-4
Grid1	4	800	200	100	300

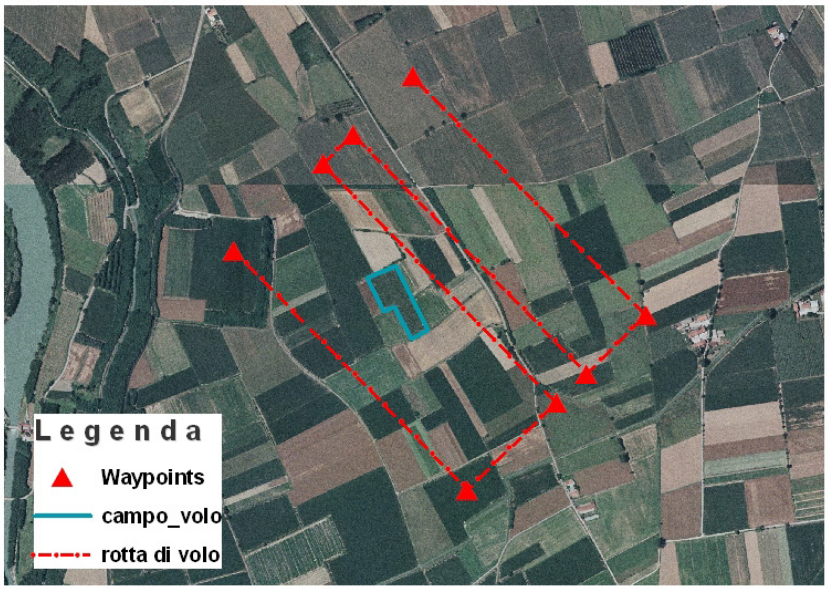

Figura 4 – Piano di volo "Grid1"

Gli interassi tra le strisciate sono stati opportunamente definiti in funzione delle possibili applicazioni fotogrammetriche. La quota di volo prevista per le prove effettuate è di 120 m. Il piano di volo è redatto a tavolino e memorizzato in un apposito file (*.fly*) secondo le specifiche proprie del software Horizon.

Mediante opportuni codici di comando è possibile definire le operazioni di navigazione del velivolo nonché identificare geometricamente il piano di volo attraverso l'inserimento di *waypoints*. I "*waypoints*" sono punti geometrici che stabiliscono la rotta del velivolo e che possono essere espressi in coordinate geografiche (Datum WGS84) oppure in un sistema euleriano con origine nel punto in cui è posizionato il velivolo al momento in cui il GPS viene attivato. Il comando "*FlyTo*" consente la navigazione automatica del velivolo in prossimità del *waypoint*. L'autopilota considera il *waypoint* raggiunto se viene soddisfatta una delle seguenti condizioni (Figura 5):

- la traiettoria del velivolo interseca la retta passante per il *waypoint* ed ortogonale alla retta passante per il punto stesso ed il *waypoint* precedente;
- la traiettoria del velivolo intercetta un'area quadrata il cui lato è pari al doppio del diametro di un intorno circolare del *waypoint*, valore che può essere definito a discrezione dell'utente.

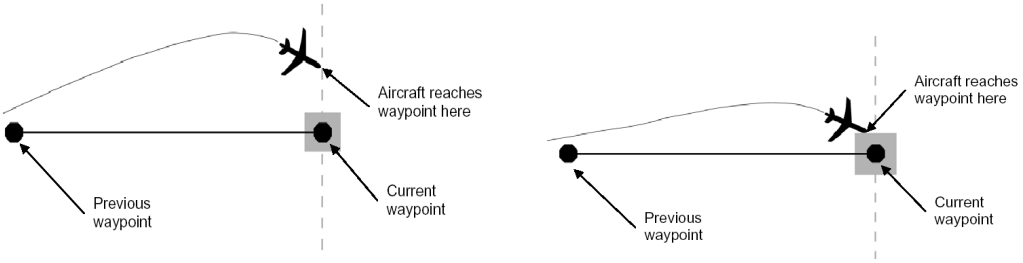

Figura 5 – Condizioni per il raggiungimento del waypoint (figura tratta dalla manualistica Micropilot)

Queste condizioni non pongono alcun vincolo sulla traiettoria che il velivolo può compiere tra due punti. A tal fine è necessario utilizzare un'altra stringa di comando denominata "*FromTo",* la quale permette al velivolo di seguire la rotta rettilinea tra un punto origine ed un punto destinazione, mantenendo velocità e quota di volo costanti. Ne consegue che per le applicazioni fotogrammetriche sia fondamentale l'utilizzo del comando *FromTo* tra i *waypoint* che delimitano le singole strisciate.
L'autopilota controlla anche il sistema di acquisizione mediante l'invio di un idoneo segnale alla camera. Durante i test sperimentali le immagini sono state acquisite lungo l'asse di ogni strisciata ad intervalli di tempo regolari definiti nel file *.fly*. Sono stati eseguiti voli con differenti intervalli di scatto, rispettivamente di 5-3-2 secondi al fine di verificare il funzionamento della procedura ed i limiti tecnici della camera utilizzata. Questi valori sono del tutto consoni con gli intervalli di scatto richiesti per piani di volo con ricoprimenti longitudinali del 60%, velocità del velivolo di 15 m/s e quote di volo variabili tra 100 m (intervallo di 2.4 s) e 200 m (intervallo di 4.8 s). Le operazioni di scatto temporizzato vengono avviate e concluse dall'autopilota nel momento in cui l'UAV attraversa il primo e l'ultimo *waypoint* delle 4 strisciate. Quest'operazione può essere facilmente implementata nel codice di HORIZON introducendo una variabile Booleana su un servo virtuale (servo 11) che cambia valore in prossimità dei *waypoint* di inizio e fine strisciata. Si prevede che, in futuro, ogni singolo scatto corrisponda a un waypoint e che, pertanto, venga comandato direttamente dall'autopilota in posizioni predeterminate.

Analisi dei risultati forniti dalle prove di volo

Dall'analisi della telemetria di volo risulta evidente la capacità della piattaforma di raggiungere i *waypoint* indicati, sebbene si riscontri una sostanziale difficoltà dell'UAV a mantenere le rotte rettilinee imposte con il comando *FromTo*, probabilmente anche a causa della lunghezza limitata delle strisciate stesse. Decisamente migliori sono le prestazioni del velivolo in termini di stabilità di volo, requisito sostanziale per eseguire prese fotogrammetriche in condizioni pseudo-normali. Dall'analisi del file *".log"* (Figura 6) si può notare che lungo le strisciate la quota di volo risulta variabile in un *range* di ± 5 m dalla quota di riferimento. Il grafico evidenzia anche che il velivolo presenta problemi di mantenimento di quota in corrispondenza delle virate a seguito delle tipiche variazioni di fattore di carico con valori massimi di 20 m.

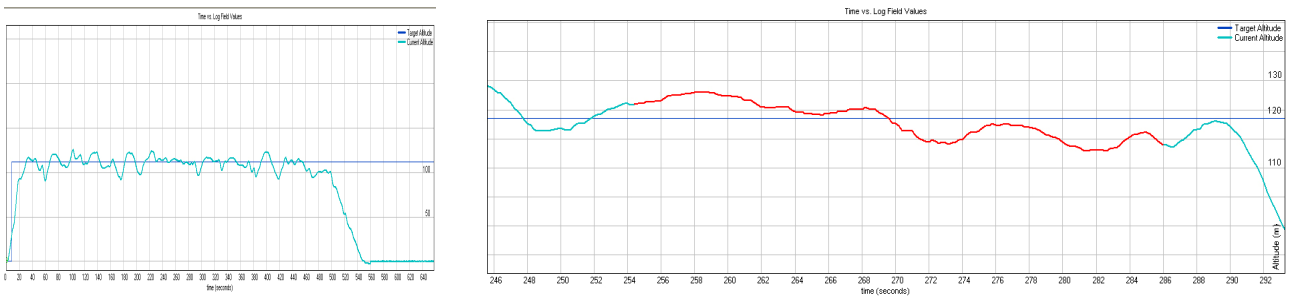

Figura 6 – Grafico di quota completo (sinistra) e lungo una strisciata (destra)

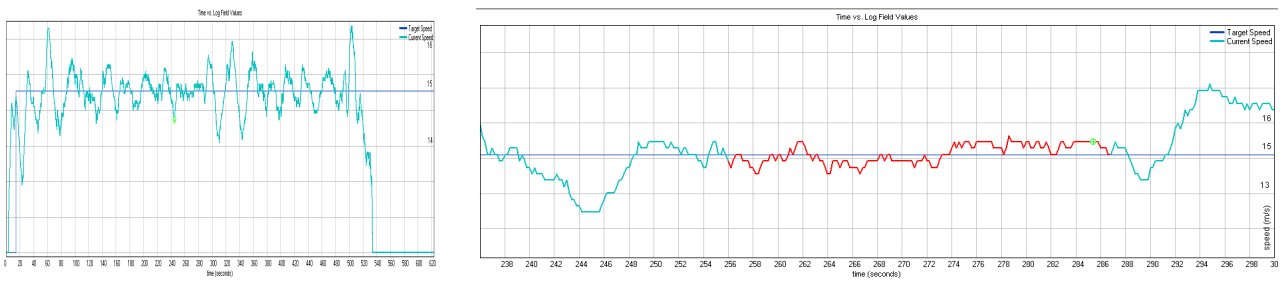

Figura 7 – Grafico di velocità completo (sinistra) e lungo una strisciata (destra)

Le velocità del velivolo risulta stabile, come riportato in figura 7: lungo le strisciate il *range* di variazione rispetto alla velocità *target* (15 m/s) è inferiore a 2 m/s. Per quanto riguarda gli angoli di assetto vi sono ancora dei problemi nel controllo del rollio (Figura 8). Il velivolo subisce infatti variazioni degli angoli di rollio (± 10°) in ragione della turbolenza atmosferica, che provocano problemi nell'acquisizione delle immagini. Questo aspetto comporta problemi non solo sulla geometria di presa, ma anche sulla qualità delle immagini, che possono in alcuni casi subire effetti di trascinamento.

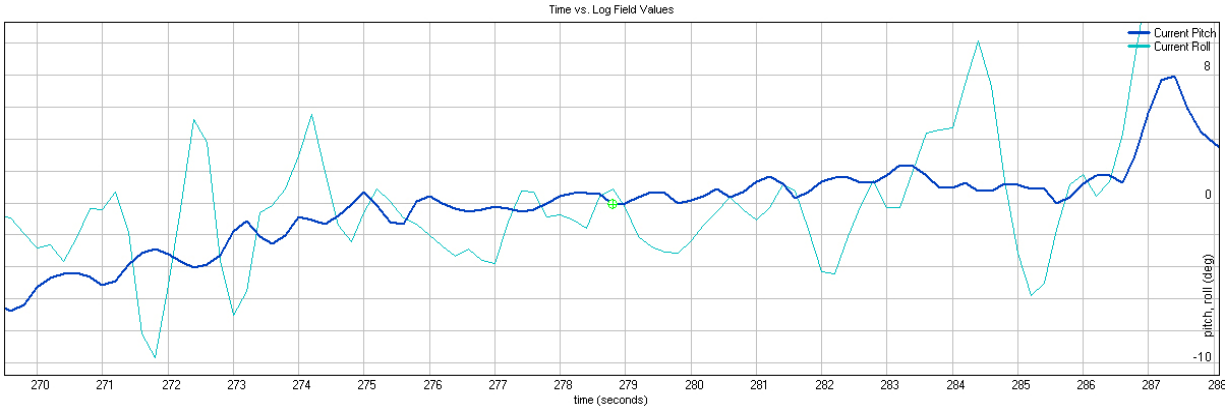

Figura 8 – Grafico di rollio (azzurro) e beccheggio (blu)

Conclusioni e sviluppi futuri

La stretta collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria Spaziale (DIASP) consentirà di affrontare le problematiche correlate al settaggio dei guadagni dell'autopilota, al fine di renderlo idoneo all'esecuzione automatica di piani di volo. In particolare è prevista la modifica degli attuali piani di volo con l'introduzione di due *waypoint* a monte ed a valle di ogni strisciata. Questi punti permetteranno al velivolo di poter eseguire manovre di virata più ampie e quindi di potersi allineare alla rotta prestabilita. Ovviamente gli sbracci di ogni singola strisciata dovranno essere ottimizzati tenendo presente il fattori di autonomia oraria e chilometrica.

Inoltre è stata pianificata l'operazione di *upgrade* del ricevitore GPS, che verrà sostituito con un ricevitore a 4 Hz, in grado di elaborare le correzioni differenziali. Quest'operazione comporterà dei notevoli vantaggi sia nella qualità di controllo automatico del velivolo durante le fasi di volo, sia nella qualità numerica delle elaborazioni di *direct-georeferencing.*

Verrà inoltre migliorato il collegamento tra autopilota e sistema di acquisizione per l'esecuzione automatica degli scatti. L'obiettivo è acquisire le immagini in corrispondenza dei centri di presa opportunamente definiti sul piano di volo, abbandonando l'intervallo di scatto temporizzato che in alcune condizioni può risultare non efficiente. Si intende inoltre studiare una procedura in grado di associare inequivocabilmente le immagini memorizzate con i segnali di scatto inviati dall'autopilota, condizione necessaria per un approccio di elaborazione delle immagini basato sulla georeferenziazione diretta.

Bibliografia

Boccardo P., Dequal S., Giulio Tonolo F., Marenchino D. (2006), "ITHACA: un progetto innovativo per la gestione delle emergenze ambientali", *Conferenza ASITA 2006, Bolzano*

Bendea H., Boccardo P., Dequal S., Giulio Tonolo F., Marenchino D. (2007). "New technologies for mobile mapping" *The 5th international symposium in Mobile Mapping Technology*

Micropilot Inc. (2007), *MicroPilot Autopilot Installation & Operation*