

Guida, Navigazione e Controllo: il punto in volo con le stelle

di Fabrizio Bernardini

Nella cultura generale il volo degli aeroplani non ha particolari misteri: c'è la bussola, la barra di comando, la barra della manetta, l'altimetro e l'indicatore di velocità. Questo modello, peraltro applicabile con successo all'aviazione sportiva, non è soddisfacente per descrivere il mondo dell'aviazione professionale, sia essa civile o militare. In questi casi, oltre alle complicazioni aggiunte dai sistemi di bordo, il volo è basato su una realtà "strumentale" nella quale sensori di bordo, radioassistenze di terra e computers interagiscono con il pilota in maniera complessa, ma non impossibile a comprendersi, anche per gli estranei al settore (vedi il grande successo dei programmi di simulazione del volo).

Un aspetto poco conosciuto è però quello della navigazione astronomica applicata al volo, e fino agli anni 70 (ed oltre in caso di emergenza nei velivoli militari) è stato il metodo di navigazione fondamentale per voli a lungo raggio sopra zone non abitate (oceani, deserti, calotte polari). Oggi la navigazione astronomica non è più usata a bordo degli aeroplani, ed è stata soppiantata dalle tecniche di posizionamento satellitare ed inerziale. L'argomento rimane però sufficientemente affascinante da meritare, riteniamo, l'approfondimento.

Nel termine composito di Guida, Navigazione e Controllo (Guidance, Navigation and Control, o GN&C) è racchiusa l'essenza stessa del problema antico come l'uomo del gestire lo spostamento di un veicolo da un luogo ad un altro. In questa moderna interpretazione il problema viene diviso in tre parti: la Navigazione (per determinare dove ci si trova e che percorso seguire), la Guida (per determinare le azioni necessarie a seguire il percorso stabilito) ed il Controllo (per mettere in pratica le decisioni di guida). In un sistema tecnologico queste tre parti operano concorrentemente e continuamente fino al raggiungimento della meta. In questa breve serie ospitata da "Terra e Spazio" vogliamo descrivere per sommi capi alcuni aspetti di Guida, Navigazione e Controllo relativi a diverse esigenze di "trasporto" concentrandoci soprattutto sulla parte di Navigazione.

Introduzione

Il termine "sestante" viene sempre associato al mondo nautico e ancora oggi nel nome di qualche agenzia di viaggi, il sestante richiama significati legati al romanticismo dei viaggi in mare. In realtà il "sestante" esiste anche per gli aeroplani, ma non si tratta più di uno strumento facilmente maneggiabile perché si è trasformato nel "sestante periscopico" il quale, mediante apposite aperture sulla fusoliera, permette al navigatore di esplorare il cielo senza esporsi all'ambiente ostile di alta quota.

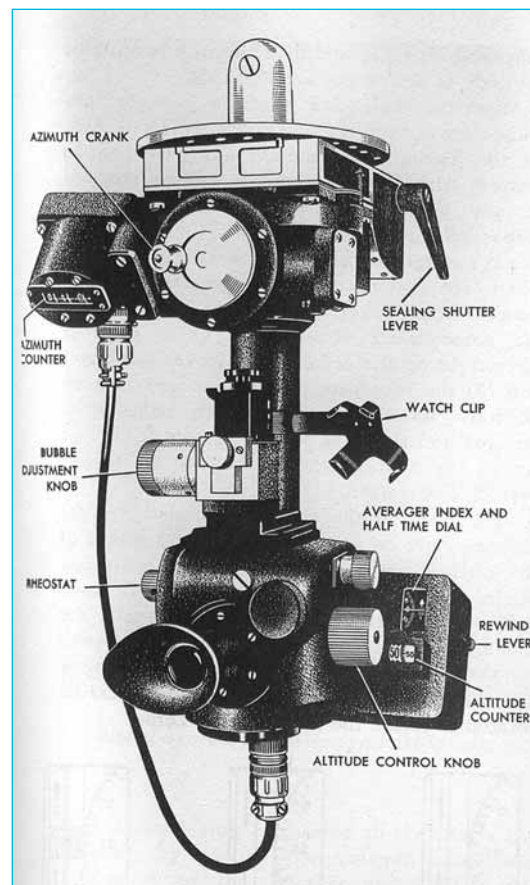
Il sestante permette di misurare la cosiddetta "altezza" di un astro dall'orizzonte, ovvero l'angolo tra l'orizzonte e la visuale che il navigatore ha dell'astro. Ma mentre sul mare l'orizzonte è in pratica sempre disponibile, in volo questo avviene di rado. Per questo motivo il sestante aeronautico deve anche fornire un riferimento di orizzonte. Questo riferimento è tipicamente costituito da una livella a bolla, o da altro sistema, la cui immagine può essere sovrimposta a quella di un astro per poterne misurare l'altezza.

ALCUNE DEFINIZIONI

Navigazione: sistema in grado di determinare la posizione e la velocità attuali e di mantenerne aggiornata la conoscenza per mezzo di diversi sensori.

Guida: sistema che genera i comandi necessari per passare dalla posizione (e velocità) attuali alla posizione (e velocità) desiderate.

Controllo: sistema che interpreta i comandi di guida e agisce sugli organi di moto del veicolo per effettuare le variazioni di moto comandate.



Il punto della situazione

Per sommi capi, si può immaginare che ad ogni punto della volta celeste corrisponda un punto sulla superficie della Terra. Questa corrispondenza è continuamente variabile poiché la Terra ruota, ma dato un istante di tempo è possibile conoscere precisamente il punto della superficie sottostante ad una precisa stella (ovvero il punto per cui la stella si trova precisamente allo zenith).

Misurando con il sestante l'altezza della stella è possibile determinare la distanza dell'osservatore dal punto sulla superficie terrestre corrispondente alla posizione della stella in questo momento. Con questa posizione è allora possibile tracciare un cerchio intorno a tale posizione, cerchio che definisce il luogo dei punti dove può trovarsi l'osservatore in quell'istante. Il cerchio è una Linea di Posizione (il perché del termine Linea sarà chiaro più avanti).

È lecito ora domandarsi se non sia sufficiente determinare la direzione in cui si vede la stella per poter stabilire in quale punto del cerchio ci si trovi. Il problema è che il rilevamento di direzione risente di errori fino al singolo grado, tali da indurre errori di diverse decine di miglia nautiche.

È più preciso invece calcolare la Linea di Posizione rispetto ad un'altra stella e tracciarne il corrispondente cerchio. L'intersezione tra i cerchi

produce due punti, uno dei quali verrà scelto in base anche a conoscenze precedenti di posizione.

Questa in sostanza la teoria. Ma la pratica?

La pratica del punto

Uno dei problemi nel quale incorrono i velivoli è quello della velocità di spostamento. È impossibile in un velivolo eseguire due rilievi stellari e supporre che lo spostamento del mezzo sia inferiore all'errore tipicamente commesso. Un altro problema è quello vero e proprio del tracciamento su una carta delle linee di posizione che di solito hanno raggi anche dell'ordine delle migliaia di miglia nautiche. Occorre allora trovare il metodo adatto.

Il metodo più usato (o, almeno, insegnato) prevede che il navigatore inizi il calcolo da una propria posizione stimata. Usando il sestante viene rilevata l'altezza della stella in un preciso istante di tempo.

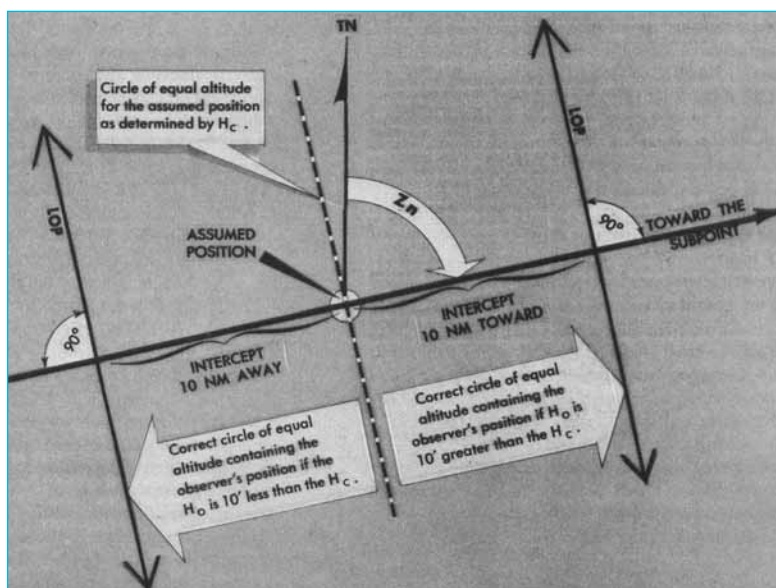
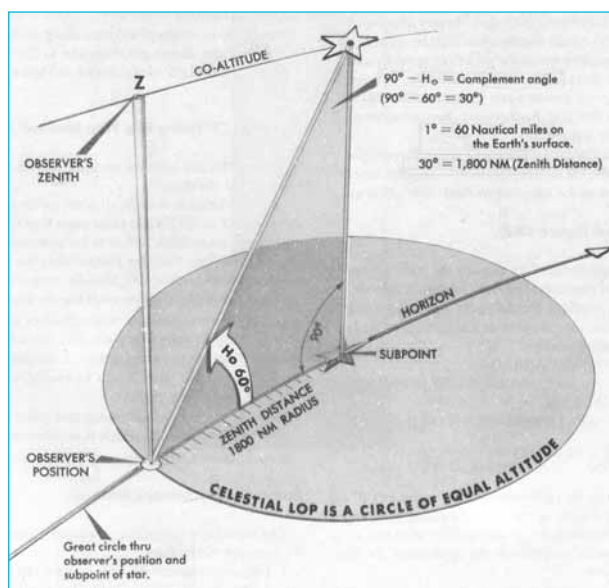
A questo punto entrano in gioco le Tavole presenti nell'Almanacco Nautico, con le quali è possibile determinare i valori teorici di azimuth (direzione) ed altezza della stella (o di un altro corpo celeste principale) nella posizione stimata e nello stesso istante di tempo. La differenza che c'è tra l'altezza misurata e quella desunta dalle Tavole permette di ricavare lo scostamento X della Linea di Posizione

dalla posizione stimata.

In pratica allora il navigatore traccia dalla posizione stimata una retta nella direzione dell'azimuth e una linea perpendicolare distante X dalla posizione. Questa retta (che può essere disegnata in questo modo per via della grande distanza dal punto sottostante la stella) sarà la Linea di Posizione da usare come rilevamento.

Un ulteriore rilevamento, per esempio ottenuto rispetto ad un altro corpo celeste, come un pianeta, la Luna o anche il Sole, permette di rilevare una seconda Linea di Posizione; tuttavia, a causa del moto del velivolo, non è possibile usare la prima Linea se prima non la si trasla (nel senso di moto e parallelamente a sé stessa) in funzione del tempo trascorso dal rilevamento.

Due, o più rilevamenti, uniti alla tecnica di tracciamento che permette di disegnare Linee di Posizione su carte di dimensioni adeguate, permettono di ricavare la posizione dell'osservatore con precisione dipendente dai "soliti errori". Se la scelta di operare con solo due stelle (a circa 90° una dall'altra) permette di avere un 'fix' in meno tempo, usando tre stelle (poste approssimativamente in triangolo, a circa 60° una dall'altra) è almeno possibile ridurre gli effetti di un errore dovuto allo strumento (perché la nuova posizione è sempre al centro del triangolo di Linee di Posizione che viene a formarsi).



Il punto reale

Diverse sono le fonti di errore quando si eseguono misure di questo tipo. Gli errori dovuti allo strumento possono talvolta essere dedotti dai calcoli se ripetitivi e calibrati (es. errori nella misura dell'elevazione).

Un errore geometrico che viene spontaneo considerare è quello della parallasse, tenendo conto che le coordinate celesti sono riferite al centro della Terra, mentre un velivolo vola a qualche kilometro di quota sopra la superficie della stessa. Ebbene, nel caso di stelle, del Sole e dei pianeti l'errore di parallasse è trascurabile potendo facilmente sopporre che i raggi che provengono dal corpo celeste siano paralleli. Solo la Luna soffre del problema (perché sensibilmente più vicina alla Terra) ed un'apposita tabella fornisce gli opportuni parametri di correzione.

L'errore dovuto alla rifrazione dell'atmosfera osservando corpi celesti non vicini allo zenith (condizione normale per i rilevamenti) può essere contabilizzato mediante apposite tabelle di compensazione i cui valori dipendono dalla quota di volo.

Le accelerazioni dell'aeromobile portano ad errori nella definizione dell'orizzonte di riferimento. Gli effetti di piccole oscillazioni, anche dovute a turbolenza, possono essere compensati sia mediante rilevamenti consecutivi della stessa stella, sia con meccanismi che integrano la misura in un intervallo di tempo ragionevole (intorno al minuto). Tuttavia, anche quando il volo è perfettamente stabile e rettilineo la misura è affetta dall'errore indotto dall'accelerazione di Coriolis (dovuta al moto di rotazione della Terra). L'entità di questo errore dipende dalla latitudine e dalla velocità dell'aeromobile e non sempre richiede compensazione. La richiede però sicuramente per voli su rotte polari o a velocità molto elevate.

Tutti questi errori vengono trattati in maniera opportuna per raffinare i rilevamenti effettuati ed aumentare la

precisione del 'fix' ottenuto. Va però considerato che un velivolo che opera ad alta quota spesso percorre qualche miglio nautico al minuto e se le operazioni di rilevamento non vengono fatte rapidamente, allora le Linee di Posizione perdono di efficacia nel tempo.

L'era moderna

Con l'avvento dei calcolatori digitali era destino che le operazioni del navigatore fossero facilitate, soprattutto per quanto riguarda la rapidità dei calcoli per la determinazione del punto dai rilevamenti e per eliminare le ricerche nell'Almanacco Nautico. Tuttavia parallelamente si ebbe anche l'avvento delle piattaforme inerziali che dopo gli anni 60 si imposero fino a costituire il mezzo primario per la navigazione autonoma.

Alle piattaforme inerziali si aggiunse anche il sistema GPS (che però ricordiamo è meno utilizzabile a latitudini polari) fino alla scomparsa dei sestanti a bordo degli aerei intercontinentali e, ovviamente, della figura del navigatore. La navigazione astronomica viene però tuttora insegnata e costituisce un argomento affascinante e stimolante per chiunque.

Forse il trionfo tecnologico della navigazione astronomica è condensato nel sistema di guida e navigazione del più incredibile velivolo mai realizzato, il ricognitore strategico SR-71. Noto anche come 'Blackbird' l'SR-71 è stato il velivolo più veloce del mondo (3 volte la velocità del suono) ed era in grado di operare fino a 80.000 piedi di quota (contro i 40.000 di un aereo di linea). Oltre alla strumentazione di radionavigazione convenzionale, il Blackbird era dotato di un astronavigatore inerziale dalle caratteristiche eccezionali.

In breve, le piattaforme inerziali soffrono in genere dell'accumulo progressivo di errore e devono essere, durante il volo, "ri-calibrate" con riferimenti precisi. Mentre aerei convenzionali usano radioassistenze a

terra per questo scopo, il Blackbird doveva essere invece autonomo ed era dotato di un telescopio automatico (detto 'star tracker') in grado di eseguire rilievi stellari in maniera autonoma ed anche in pieno giorno.

In pratica, una volta avviato il sistema, questo era in grado di determinare la propria posizione in pochi minuti e mantenere nel tempo la piattaforma inerziale allineata per ridurre al minimo gli errori.

Conclusioni

La navigazione astronomica a bordo degli aeroplani ha raggiunto nel dopoguerra livelli elevati di precisione ed affidabilità, soprattutto considerando anche la dinamica dell'ambiente in cui si trova il navigatore.

Oggi è possibile apprezzare queste tecniche, che ripetiamo non sono morte e sepolte, per esempio acquistando un sestante aeronautico in disuso (vedi Riferimenti). Oltre ad essere degli oggetti di squisita manifattura sono anche dei "giocattoli" da veri appassionati.



Riferimenti

AFM 51-40, Air Navigation, US Air Force
 J. Dohm, The American Flight Navigator, Pan American Navigation Service
 SR-71 Flight Manual (reprint), Motorbooks International
<http://www.helmut-singer.de/>
 (cercare nella categoria Avionics il Sestante Smiths MK2A/C)

Autore

FABRIZIO BERNARDINI
 Email: fb@aec2000.it



GLOBO Srl è la società del gruppo IMTeam orientata alla **progettazione** ed alla **realizzazione** di **Sistemi Informativi Geografici** sia per Enti Pubblici che per Aziende private.

Principali ambiti di intervento: **CATASTO, PROTEZIONE CIVILE, URBANISTICA, PATRIMONIO IMMOBILIARE, VERDE URBANO, GEOMARKETING** e molti altri ancora!

Per informazioni: E-mail: globo@imteam.it WEB: www.imteam.it
 Via Sigismondi, 40 – 24018 Villa d'Almè (BG)

Tel 035 636029 Fax 035 638129