PROGETTO DI UN SISTEMA AVIONICO

Abbiamo passato in rassegna molte delle funzioni demandate ad un sistema avionico, descrivendo caratteristiche e principi di funzionamento degli equipaggiamenti che lo compongono. Riteniamo utile illustrare brevemente le diverse attività che portano, partendo dai requisiti iniziali, alla realizzazione, sperimentazione e qualificazione in volo di un sistema avionico; ciò al fine di render noto al lettore quali sono le attività svolte nell'ambito di un'industria aeronautica da chi si occupa di sistemi avionici.

Quanto segue è frutto dell'esperienza maturata dallo scrivente ed è quindi peculiare della progettazione di velivoli militari, siano essi da combattimento che da addestramento: tuttavia l'iter progettativo è uguale anche in campo civile, dove sono solo diversi i requisiti e la normativa applicabile. Il progetto di un sistema avionico prende le mosse dai requisiti funzionali, cioè dalla specifica, del velivolo sul quale esso dovrà essere imbarcato; è vero che ogni aereo dovrà essere in grado di navigare in un'aerovia, comunicare con terra o con altri aerei in volo, essere identificabile e così via: tuttavia molte funzioni richieste ad un sistema avionico, come pure il livello di prestazioni con cui alcune funzioni sono svolte, dipendono dal ruolo del velivolo. Cerchiamo di spiegarci meglio con degli esempi: un radar multimodo e sofisticate contromisure elettroniche sono d'obbligo sia su un intercettore che su un aereo da appoggio tattico, ma non su un velivolo da addestramento. Un velivolo che deve individuare e distruggere un ponte necessita di un sistema di navigazione inerziale estremamente preciso; un velivolo da addestramento può essere dotato di un navigatore inerziale per abituare l'allievo pilota all'uso di questo, ma il livello di precisione ad esso richiesto può naturalmente essere inferiore rispetto al caso precedente con un notevole risparmio in denaro. Volendo fare un esempio un po' più sottile potremmo dire che tutti i velivoli militari hanno la necessità di comunicare sia in gamma UHF (tipicamente militare) che in gamma VHF-AM (per il controllo civile del traffico aereo); ma solo un velivolo da appoggio tattico ravvicinato (in inglese la denominazione è "Close Air Support") deve poter comunicare

con le truppe di terra, e utilizzare quindi la gamma di frequenza 30-88 MHz (VHF-FM). Il passo successivo consiste nella definizione dell'architettura del sistema avionico, in particolare scegliendo fra la soluzione che prevede di concentrare l'"intelligenza" in un unico computer centrale o di decentrarne una parte nei sensori. Non esistono ovviamente regole precise: la scelta è frutto di un'attenta valutazione che deve tener conto non solo delle prestazioni del sistema ma anche di costi degli equipaggiamenti, loro peso e volume, affidabilità etc. Possiamo dire che attualmente, grazie all'enorme aumento delle capacità dei computer nonostante le loro ridotte dimensioni, vi è una certa tendenza a concentrare la maggior parte delle funzioni di calcolo in un computer centrale quasi sempre affiancato da un secondo, identico, per ottenere adeguati livelli di affidabilità e di sicurezza; rifacendoci a quanto descritto nel capitolo precedente, l'architettura dei sistemi avionici è oggigiorno quasi esclusivamente di tipo integrato.

La scelta dello standard di trasmissione dati per un velivolo militare è al giorno d'oggi praticamente obbligata: nel mondo occidentale viene quasi universalmente utilizzato lo standard MIL-STD-1553B, una cui variante è utilizzata anche in Russia.

Praticamente tutti gli equipaggiamenti avionici militari realizzati nel mondo occidentale sono dotati di interfaccia dedicata a questo standard, per cui ogni diversa scelta comporterebbe una modifica a detti equipaggiamenti con conseguente aumento dei costi. In alternativa è pensabile di utilizzare lo standard civile ARINC 429, ma ciò viene fatto in casi molto particolari.

Il sistema avionico viene quindi suddiviso in sottosistemi, a ciascuno dei quali è demandata una particolare funzione. Ad onor del vero, a causa dell'elevata integrazione, questa suddivisione non è al giorno d'oggi né facile né sempre univoca, specialmente quando in essa sono coinvolti i computer centrali che elaborano dati per la navigazione, per l'attacco, fungono da bus controller etc. In questo caso si considera un sottosistema di calcolo, di cui fanno parte i diversi computer, mentre i sensori vengono suddivisi a seconda della funzione cui sono dedicati (comunicazione, navigazione...). Senza complicare troppo le cose, prendiamo come esempio un sottosistema di comunicazione e vediamo di descrivere con

un certo dettaglio le fasi della sua progettazione; con i necessari adattamenti, quanto detto sarà valido anche per gli altri sottosistemi.

La specifica di sottosistema ne definisce i requisiti: bande di frequenza da utilizzare, copertura d'antenna, installazione dei singoli equipaggiamenti nei vari scomparti del velivolo, livello di affidabilità complessivo richiesto, portata delle radiocomunicazioni e così via. Poiché un ricetrasmettitore è generalmente installato lontano dalla sua antenna, vi sono delle normative che stabiliscono il livello massimo di attenuazione consentito al segnale nel suo tragitto dall'antenna alla radio e viceversa: il rispetto di tale normativa influenza la scelta del percorso dei cablaggi all'interno del velivolo, il tipo ed il diametro del cavo. Tutto ciò deve essere riportato nella specifica di sottosistema. Abbiamo accennato all'impiego di normativa: nel mondo occidentale sono normalmente utilizzate le norme militari americane, denominate MIL; ad esempio, il già citato standard MIL-STD1553B è un "Military Standard", numero progressivo 1553, edizione B. Queste normative coprono praticamente ogni aspetto tecnologico in campo militare, non solo avionico ovviamente. Definiti requisiti e funzioni del sottosistema, si procede con la stesura delle specifiche tecniche dei singoli equipaggiamenti che lo compongono: la prima versione è una specifica definita di "tendering", cioè destinata ad essere trasmessa a diversi produttori per ottenere delle proposte.

La stesura della specifica tecnica non richiede di saper progettare l'equipaggiamento in oggetto: di esso ovviamente bisogna avere una buona conoscenza, ma è molto più importante avere una mentalità da sistemista. Infatti nell'esecuzione di tale lavoro devono essere tenute in considerazione non solo le prestazioni e le caratteristiche tecniche dell'apparato, ma anche che esso dovrà operare a bordo di un velivolo e quindi in condizioni ambientali non sempre favorevoli.

Ecco dunque che l'autore della specifica tecnica deve essere a conoscenza delle condizioni di temperatura, umidità, vibrazioni (anche quelle dovute allo sparo del cannone in caso di velivolo militare), accelerazioni etc. che l'equipaggiamento incontrerà quando installato a bordo; deve quindi conoscere la normativa applicabile e richiedere che l'equipaggiamento sia progettato conformemente ad essa e qualificato di conseguenza, sia cioè assoggettato a prove (anch'esse descritte da una

specifica normativa) che attestino la rispondenza ai requisiti. Salvo casi eccezionali le prestazioni richieste devono essere tali da poter essere soddisfatte dalla tecnologia corrente, in modo da evitare soluzioni uniche (che porterebbero ad un aumento dei costi) o altamente innovative (e quindi non sperimentate a sufficienza con la conseguenza di possibili malfunzionamenti e di costose messe a punto). Naturalmente si deve anche tener conto che l'equipaggiamento dovrà restare in servizio per un tempo dell'ordine di una decina d'anni (o anche più) e quindi non può nascere già vecchio. Anche in questo caso ci si trova di fronte alla necessità di un compromesso. Un errore che chi scrive una specifica tecnica deve assolutamente evitare è l'over design, cioè la richiesta di prestazioni, da parte dell'equipaggiamento, eccessive rispetto ai compiti ad esso demandati: questo infatti comporta un inutile aumento della complessità dell'apparato, con conseguente aumento dei costi di acquisizione e di manutenzione e, in genere, diminuzione di affidabilità.

Nel momento in cui le diverse ditte costruttrici cui è stata trasmessa la specifica di "tendering" inviano le loro proposte, al progettista avionico spetta il compito di esaminarle e di confrontarle. La sua valutazione deve essere, in parte, anche di tipo economico: non spetta a lui stipulare contratti, ma solo lui può giudicare con competenza se il prodotto offerto vale, da un punto di vista tecnico, la cifra richiesta, soprattutto in confronto a quanto offerto da altri potenziali fornitori. Scelto l'equipaggiamento ritenuto più idoneo, nel caso del nostro sottosistema di comunicazione supponiamo sia un ricetrasmettitore, iniziano le prove di laboratorio; tecnici specializzati verificano la rispondenza dell'equipaggiamento ai requisiti della specifica tecnica, evidenziando le eventuali deviazioni. Anche in questo caso non spetta al sistemista avionico la conduzione delle prove, ma è comunque lui che, conoscendo i requisiti globali dell'intero sottosistema, può giudicare quali manchevolezze possono essere comunque accettate e su quali invece non è consentito derogare. Dall'attività di prova in laboratorio derivano spesso delle modifiche o delle messe a punto dell'equipaggiamento, che andranno inglobate nella specifica di "tendering" per arrivare così alla "specifica contrattuale", il documento cioè cui farà riferimento il contratto d'acquisto dell'equipaggiamento selezionato.

Nel caso del sottosistema di comunicazione uno dei requisiti più importanti è garantire al pilota di poter comunicare sia con le stazioni di terra sia con altri velivoli in volo, siano essi a quote superiori o inferiori a quella del suo aereo. E' quindi necessario che le antenne garantiscano una "copertura" quanto più sferica possibile. Il sistemista avionico deve quindi posizionare correttamente le antenne di comunicazione tenendo presente questo requisito ma dovendo fare i conti con la necessità di installare sulla fusoliera del velivolo anche altri tipi di antenne (ad esempio quelle per la radionavigazione). I problemi che gli si pongono consistono sia nel trovare fisicamente posto per le antenne (che al giorno d'oggi sono tante mentre lo spazio su un velivolo militare è sempre ridotto) sia nell'evitare di mettere vicine due antenne che, operando su gamme di frequenza vicine, potrebbero interferire fra loro. Per spiegarci meglio, un'armonica di un trasmettitore UHF potrebbe essere ricevuta da un'antenna TACAN. L'attività di posizionamento delle antenne, come pure di verifica del loro corretto funzionamento e dell'assenza di interferenze, si svolge in due fasi: su un modellino in scala ridotta del velivolo e simulacri in grandezza naturale di parti della fusoliera (questi simulacri si chiamano, con terminologia inglese, "mock-up"). Se il modellino è, per esempio, in scala 1:10, anche le dimensioni delle antenne dovranno rispettare le stesse proporzioni, mentre la frequenza usata dovrà essere dieci volte maggiore di quella reale. Ad esempio, se un'antenna UHF reale opera tra 225 e 400 MHz, la corrispondente antenna in scala 1:10 opererà tra 2.25 e 4.0 GHz.

Le prove sui simulacri di fusoliera servono a verificare come viene distorto il diagramma di radiazione delle antenne: infatti quando si definisce la forma di questo si intende implicitamente che l'antenna sia installata su un piano metallico ("ground plane") di dimensioni che sono funzione della lunghezza d'onda. Purtroppo la fusoliera di un velivolo militare è ben lontana dall'essere piana.

Tale attività può ovviamente condurre, se la "copertura" risultante non è adeguata, alla necessità di modificare la posizione delle antenne.

A questo punto i componenti il sottosistema in prova vengono installati sul velivolo, in genere un prototipo sperimentale. Dapprima si eseguono prove con il velivolo fermo al suolo; si verifica in particolare che

l'installazione sia conforme alla normativa: l'attenuazione dei cavi e dei connettori non deve superare una soglia prefissata, la potenza in ingresso all'antenna deve essere superiore ad una stabilita percentuale di quella all'uscita del trasmettitore e così via.

Le prove in volo devono invece verificare la capacità del sottosistema di comunicare fino all'orizzonte radio anche alla massima quota di volo prevista e che la copertura sia quanto più sferica possibile, a conferma di quanto sperimentato sul mock-up di fusoliera. Per quanto riguarda la prova di portata vengono dapprima effettuate simulazioni al calcolatore, usando modelli matematici del sistema ricetrasmittente, dell'atmosfera etc., al fine di evidenziare eventuali problemi in un modo meno costoso di quanto non sia un volo; successivamente l'aereo percorre delle rotte prestabilite, scelte in modo tale da essere sgombre da ostacoli naturali (ad esempio montagne) che possano mascherare il segnale radio. Giunto al limite teorico dell'orizzonte previsto per una certa quota di volo il velivolo viene portato ad una quota superiore fino a quella massima prevista. Le intensità del segnale ricevuto sia a terra sia a bordo vengono registrate e confrontate con i valori teorici previsti.

Per verificare la forma della copertura, al velivolo vengono fatte eseguire, ad una distanza prefissata dalla stazione di terra, delle particolari figure (la più comune è detta "margherita", perché il profilo è uguale ai petali di questo fiore) al fine di verificare l'intensità del segnale ricevuto sotto diversi angoli di vista (velivolo visto di prua, di coda e sotto angoli intermedi).

La rispondenza, almeno entro certi limiti, dei risultati sperimentali agli obiettivi di progetto permette di qualificare come idoneo alle esigenze del velivolo il sottosistema di comunicazione.

A volte è necessaria un'elaborazione statistica dei dati: nel caso preso come esempio la propagazione delle onde elettromagnetiche è fortemente dipendente dalle condizioni ambientali (giorno/notte, umido/secco...) e quindi si potrà dire che ad una certa distanza dalla stazione di terra l'intensità del segnale sarà, in media, pari ad un certo valore. Analogamente, i tests di un sottosistema di navigazione prevedono il passaggio su numerosi punti geografici (detti "waypoints") di cui si conoscono con precisione le coordinate: ad ogni sorvolo si misura l'errore

commesso dal sistema di navigazione. Elaborando statisticamente un numero sufficiente di dati (il campione deve cioè essere statisticamente significativo) si risale all'errore di navigazione espresso, come abbiamo già visto, in termini di CEP o di valore ad un sigma.