



CORSO LUIGI EINAUDI, 55/B - TORINO

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: **2594A**

ANNO: 2025

APPUNTI

STUDENTE: Andrea Forno

MATERIA: Sistemi Aerospaziali - Parte Aeronautica - Prof. Viola

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti. Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTI E NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.

Indice

Indice	2
Introduzione	5
Communication System	9
Safety e non safety related.....	9
Aviation communication domain.....	9
Voice, ATS, AOC, AAC and APC	11
Radio Frequency Spectrum	11
Radio communication system.....	12
Functional Tree	13
System Overview.....	13
Antennae location.....	14
Acars.....	14
Satcom	18
HF communications.....	22
Future Trends.....	22
A320/A330 vs A350/A380	25
Es A380	25
Navigation System	26
Navigation Methods	26
Standard e Area Navigation.....	28
Lateral e vertical navigation	29
Principles of Flight Management System	30
Navigation: State of Art.....	34
Navigation: Future Trend	35
Flight control system	40
Air data system	40
Inertial reference unit	41
Autopilota	42
Fly By Wire e fly control computer.....	44
Display	50
Primary Flight Display	51
Head Up Display	52
Navigation Display	53
Ecam Display – System Display	54
Ecam Display – Engine/Warning Display	54

Multifunction Display	55
Architetture.....	55
Surveillance&Identification System	57
Current control structure.....	57
Current ATM functional structure.....	58
PSR & SSR.....	59
TCAS.....	61
TCAS, MODE S, ACARS/ATN/ATSU AND FMS	63
Future trends.....	63
Riassumendo.....	65
ADS-B vs Tcas	66
Albero funzionale	66
.....	66
Aviazione sostenibile-Velivolo a idrogeno.....	67
Idrogeno.....	69
Configurazioni	71
Esempio Numerico	75
Osservazioni	76
Fuel System	78
Design Drivers.....	78
Fuel Drop-In	79
Cryogenic Fuel	80
Fuel comparison	80
Architettura.....	81
Funzioni.....	82
Fuel Storage.....	82
Feeding System	83
Sizing.....	84
.....	84
Fuel transfer.....	84
Rifornimento.....	85
Pressurizzazione	85
Environmental Control System (ECS).....	86
Funzioni.....	87
Architetture.....	87
AirCycle	88
Caso caldo o caso freddo.....	89
Dimensionamento.....	90

ECS: velivolo a idrogeno.....	92
Electric Power System.....	96
Schemi Reali.....	96
More electric aircraft	97
Generatore	98
B767 vs B787	100
A380	101
B787	102
Velivoli militari.....	103
Collegamento col sistema propulsivo.....	104
Future trends.....	104
Safety.....	104

Introduzione

Per capire perché vogliamo progettare un velivolo abbiamo bisogno di sapere i bisogni di mercato (NEEDS) e come questi si interfacciano con l'ambiente (SCENARIO). Questo definisce la MISSIONE che è la cosa più importante da definire prima del progetto di un velivolo.

La MISSIONE non può essere modifica e tutti i requisiti di progetto sono in funzione di essa.

Es Requisiti:

N. Passeggeri, Velocità, Distanza massima

Es. Scenario:

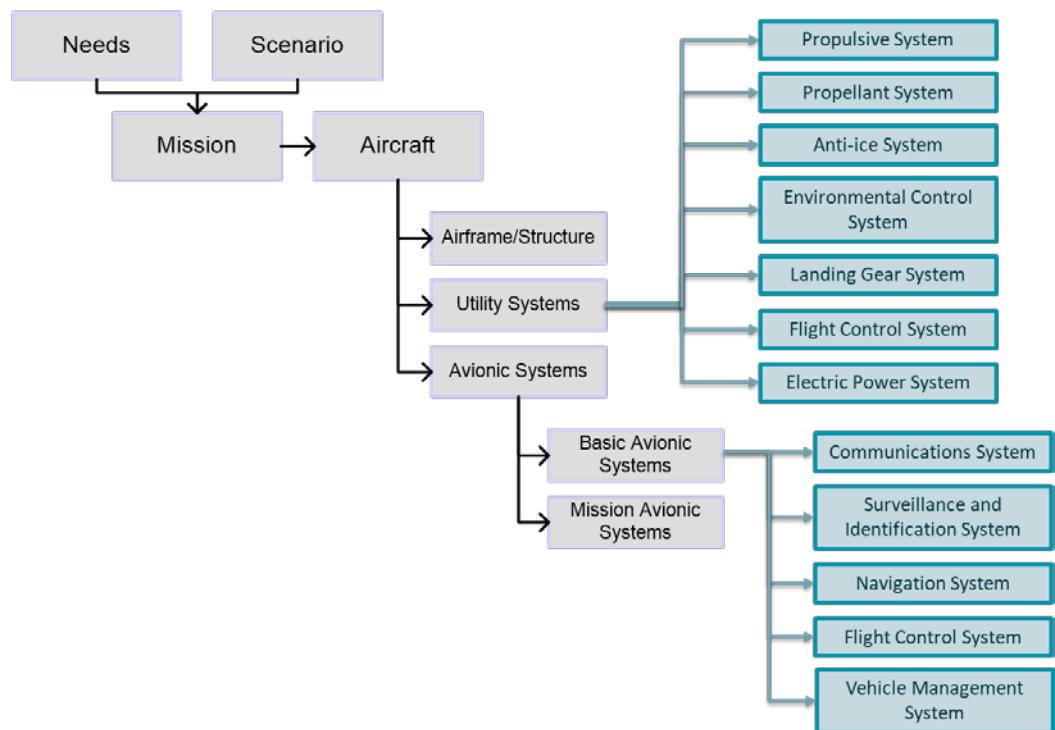
Ambiente esterno (Temperatura, quota...)

Il velivolo è poi costruito attorno ai requisiti del PAYLOAD come nell'ambiente spaziale e può essere diviso in:

- Struttura
- Sistemi avionici → si dividono in Basic (velivolo civile) e Mission (velivolo militare)
- Sistemi non avionici

Questa è una divisione storica perché prima il velivolo era solo struttura e poi è stata aggiunta l'avionica per volare meglio.

Uno schema più generale può essere:



Esistono fortissime relazioni tra le varie parti del velivolo. Per esempio AIRFRAME e STRUCTURE sono legate perché l'aerodinamica deve tenere conto dei carichi sulla struttura e viceversa.

Non possiamo ragionare in compartmenti stagni tra struttura, aerodinamica e sistemi.

ES.

Un velivolo cargo avrà l'ala alta perché la sua funzione principale è di trasportare merci e per rendere più facile il carico bisogna avere l'accesso vicino al terreno.

Questo fa sì che il carrello si ritrarrà sicuramente in fusoliera e l'ala sarà alta.

Questo in genere peggiorerà l'aerodinamica perché ci saranno delle bozze in fusoliera per il carrello e anche la struttura sarà peggiorata a causa dell'apertura ma è necessario farlo.

In genere sono presenti moltissimi collegamenti tra le varie parti del velivolo:

UTILITY SISTEM è collegato internamente tipicamente da collegamenti meccanici, fluidici o elettrici mentre AVIONIC SYSTEM è collegato tramite cavi elettrici al Data Bus dove passano tutte le informazioni del velivolo. Il Data Bus si è sviluppato man mano che la complessità del velivolo aumentava e non era più possibile avere collegamenti Point To Point, avere un unico Bus in cui passano tutte le informazioni semplifica molto i collegamenti ma rende più complicata la gestione delle informazioni.

UTILITY e AVIONIC SYSTEM sono poi connessi tra di loro perché quello che succede nell' UTILITY SYSTEM è controllato dall' AVIONIC SYSTEM che fa accendere luci/segnali se qualcosa non va. Inoltre tutte le manutenzioni si basano su dati presi dall' AVIONIC SYSTEM riferiti alla STRUCTURE e all'UTILITY SYSTEM che sono direttamente mandati a terra ai centri di manutenzione.

Il AVIONIC SYSTEM è poi strettamente legato ai sistemi NON AVIONICI perché da essi deve prendere la potenza elettrica ma anche dissipare il proprio carico termico.

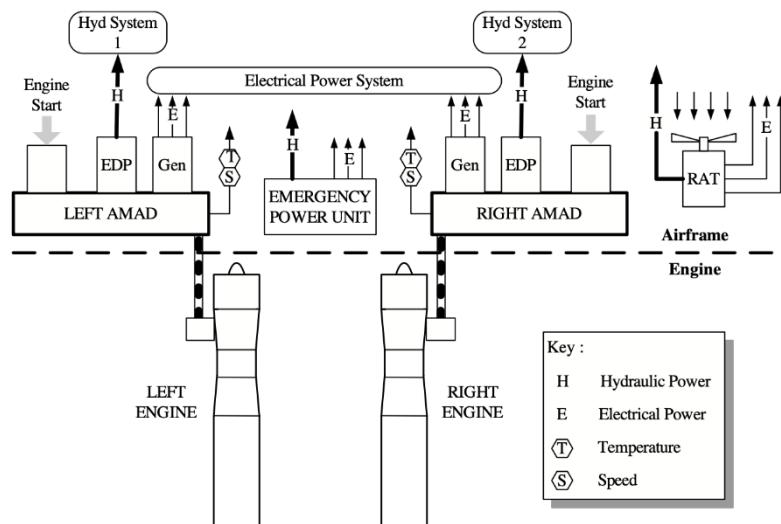
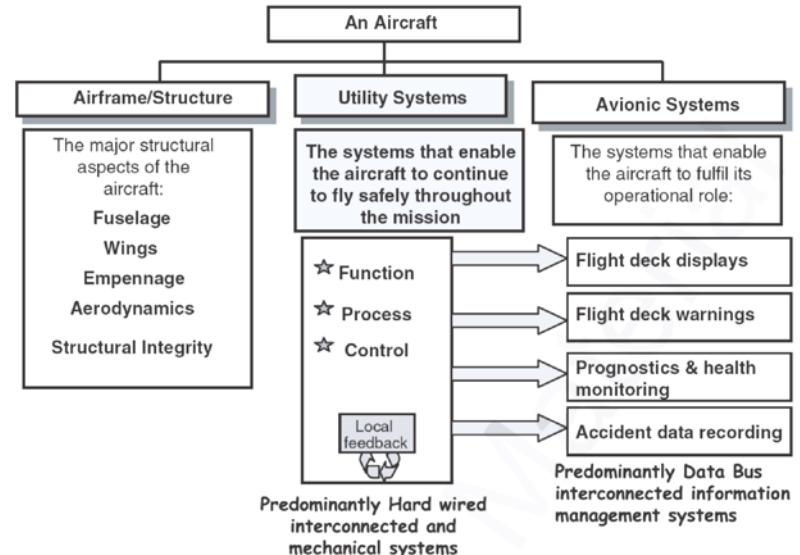
Possiamo vedere alcuni esempi di collegamenti in sistemi già trattati:

Il sistema PROPULSIVO è collegato con altri sistemi tramite:

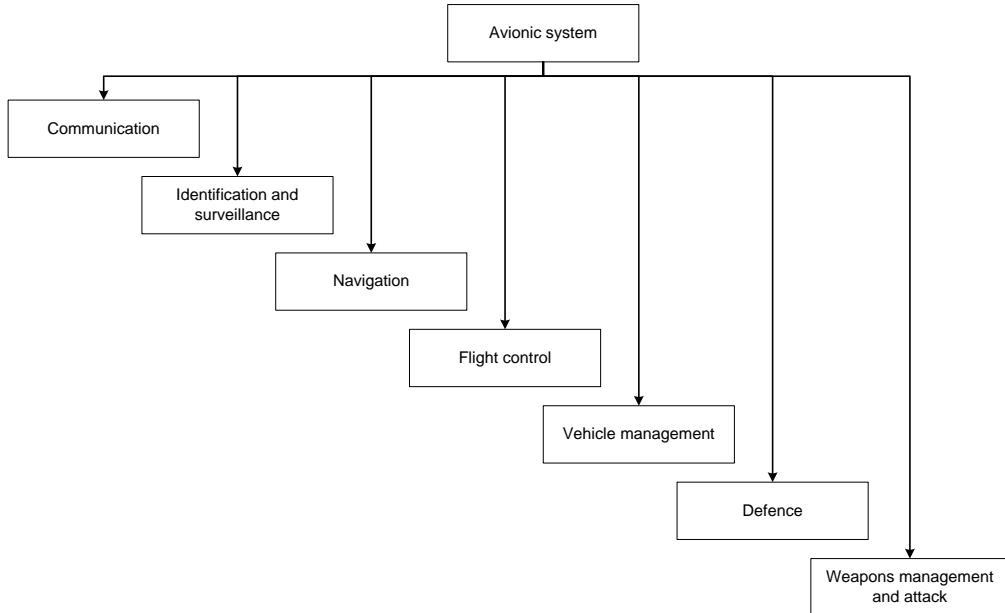
EDP → è una pompa che trasmette la potenza meccanica del motore in potenza idraulica

GEN → è un generatore elettrico che trasforma la potenza meccanica del motore in potenza elettrica

ENGINE START → è una turbina pneumatica (classica) o un motore elettrico (moderno) che permette di avviare il motore



Le funzioni svolte dal SISTEMA AVIONICO sono 5 per i velivoli civili e sono riassunte dal seguente schema:



Esse sono:

- **Communication:** è la capacità di comunicare a voce o via data link con altri velivoli (air to air) o stazioni di terra (air to ground).
- **Surveillance e identification:** è la capacità di controllare lo spazio attorno al velivolo e identificare altri velivoli o altri fattori, Identification è la capacità di identificare altri velivolo o fattori assumendo dati o facendo assumere alle stazioni di terra dati su se stessi. Nel caso civile e militare l'identificazione da terra è fatta con sistemi radar che funzionano anche se il velivolo è passivo perché la sua posizione dipende sostanzialmente dal fatto che ha una dimensione.
- **Navigation:** E' la capacità di determinare il vettore posizione e velocità del velivolo, in questo caso il velivolo è considerato un punto materiale.
- **Flight control:** E' la capacità di determinare l'assetto del velivolo, i dati atmosferici esterni e controllare le manovre per arrivare ad una destinazione. In questo caso il velivolo è un oggetto 3D.
- **Vehicle Management:** E' la capacità di gestire tutti i sistemi presenti nel velivolo, garantire il processamento e lo scambio dei dati e conservare tutte le informazioni.

Determinate le funzioni per capire come è fatto il SISTEMA AVIONICO e arrivare a definirne gli equipaggiamenti si farà l'analisi funzionale in cui il primo passo è la definizione dell'**albero delle funzioni** che racchiude tutte le funzioni base che derivano direttamente dai requisiti e che sono scomposte in funzioni sempre di più basso livello fino ad arrivare ad una funzione che un singolo equipaggiamento può svolgere.

Per salire nell'albero bisogna farsi la domanda COME?.

ACD

All'interno sono presenti tutte le funzioni SAFETY CRITICAL.

Esse possono essere riassunte nella seguente tabella in cui sono indicati il tipo di servizio da soddisfare, i requisiti che questo servizio deve soddisfare per essere fatto al meglio e quali caratteristiche il sistema deve avere per soddisfare i requisiti.

Notiamo che nonostante il trend sia aumentare la comunicazione via Data Link la comunicazione vocale sarà sempre presente perché è Safety Critical in quanto in condizioni di emergenza è quella che viene utilizzata.

La richiesta di ridondanza è presente siccome sono tutte funzioni safety critical e si vorrebbe che essa sia fatta con tecnologie differenti.

AISD

All'interno di questo dominio non ci sono funzioni Safety Critical a solo alcune Safety Related perché compaiono tutte le informazioni che vengono scambiate con la compagnia aerea.

Una delle caratteristiche che il sistema deve soddisfare è quella di avere un elevato BandWidth che in questo caso non è l'ampiezza della banda di segnale che il sistema può ricevere ma si riferisce alla velocità del segnale quindi al DataRate o BitRate.

ES Un esempio di funzionalità svolta riguarda il Radar Meteo che è presente sul velivolo ma normalmente è di tipo 2D quindi non fornisce informazioni complete e va aiutato dalle informazioni meteo fornite dalla compagnia aerea. Attualmente il pilota deve richiedere le informazioni meteo da terra che gliela autorizza o meno e questo causa delle perdite di tempo. Nei velivoli moderni si utilizzano già radar meteo 3D e più potenti in modo da evitare questo problema e fare sì che il velivolo sia indipendente.

PIESD

Sono tutte funzioni NON Safety Related perché riguardano la connettività in cabina e le comunicazioni con i passeggeri.

Aeronautical Service	Requirements	Main impact as system driver
Cockpit voice	<ul style="list-style-type: none"> ○ Safety, reliability, availability 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Low latency (time delay, hundreds of msec or less) ○ Redundancy
ATS: safety and time critical (examples: CPDLC, ADS-C)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Safety, reliability, availability, integrity ○ Segregation/prioritization ○ Stringent latency performance requirements ○ Low/medium data-rate 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Redundancy ○ Global system to ensure continuity ○ Secured system ○ Low latency
AOC/ACD: regularity of flight	<ul style="list-style-type: none"> ○ Integrity, reliability ○ No latency performance requirements ○ Medium/high data rate 	<ul style="list-style-type: none"> ○ [Secured system]

Aeronautical Service	Requirements	Main impact as system driver
AOC/AISD Not safety-critical but safety-related Examples: weather info, fuel data, engine data, pilot reports, electronic flight bag	<ul style="list-style-type: none"> ○ Medium/high data rate ○ Lower integrity requirements with respect to ATS ○ Lower availability requirements if compared to ATS comms 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bandwidth and high capacity ○ Latency: not critical

Aeronautical Service	Requirements	Main impact as system driver
PIESD Non safety-critical and non safety-related Examples: web browsing, messaging, video streaming, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ○ High data rate ○ Low integrity requirements ○ Lower availability requirements if compared to ATS comms 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Latency: not critical ○ Bandwidth and high capacity

Notiamo che tutte le funzioni NON SAFETY CRITICAL hanno una latenza che può essere anche alta ma richiedono un elevato BitRate o DataRate perché dovranno scambiare molti dati mentre quelle SAFETY CRITICAL richiedono solitamente una bassa latenza ma la velocità non è in genere importante.

Le VHF sono comunicazioni che avvengono solamente in linea di vista ma sono più efficienti di quelle a più bassa frequenza quindi sono molto utilizzate. I segnali percorrono centinaia di Km.

Le bande al di sotto dei 30KHz venivano utilizzate all'inizio dell'aviazione perché sono in grado di seguire l'olografia del terreno e quindi di propagarsi oltre la Linea di Vista ma hanno efficienze nel trasportare il segnale molto basse. I segnali possono percorrere anche migliaia di Km.

Un caso a parte sono le bande HF che sono onde Sky Wave e sono in grado di propagarsi oltre la linea di vista perché rimbalzano contro gli strati alti dell'atmosfera (ionosfera).

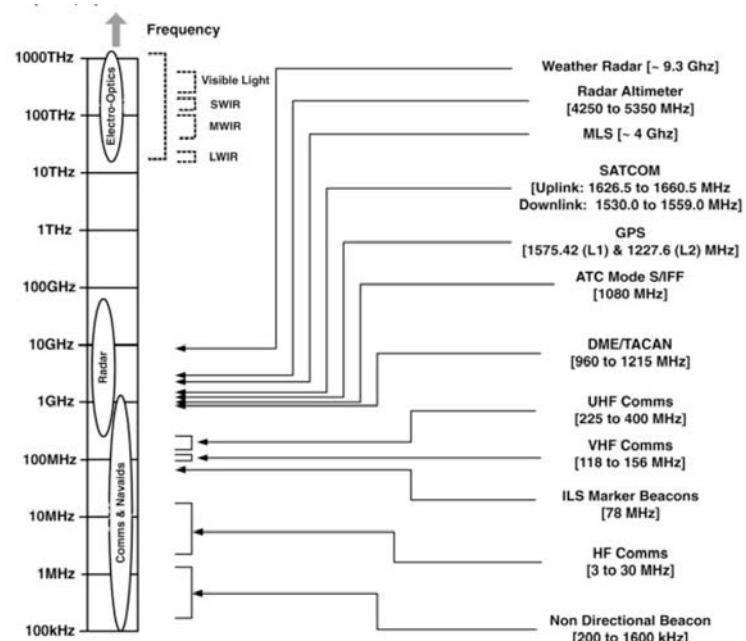
Le UHF si utilizzano poi nel militare.

Ci sono poi le SATELLITE COMMUNICATION che sono fatte usando onde che lavorano in linea di vista ma con un satellite che fa da ponte tra la stazione di terra e il velivolo che fa sì che si possa cominciare anche se velivolo e stazione di terra non sono in linea di vista.

Lo spettro effettivamente utilizzato è poi:

Qua notiamo che:

- I radar lavorano nella frequenza dei GHz, in particolare i radar altimetri lavoreranno a 20/30 GHz mentre i radar dei sistemi di arma come i missili lavorano a circa 100 GHz.
- Le comunicazioni in VHF in verità avvengono su una banda molto ristretta che è la parte dello spettro VHF che l'aeronautica può utilizzare essendo essa una banda molto utilizzata per le comunicazioni.

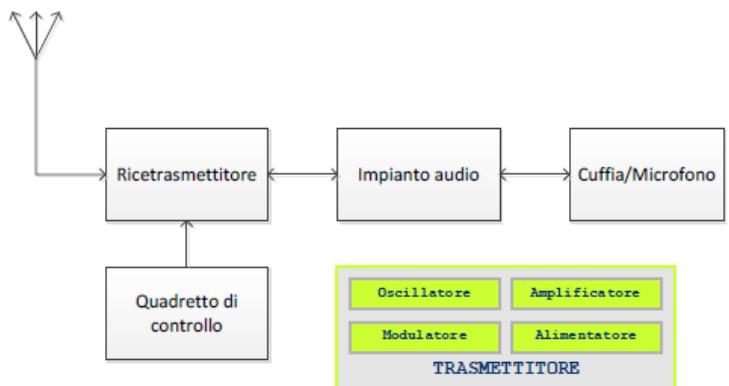


Radio communication system

Il sistema radio è di comunicazione è poi organizzato secondo la figura:

Sarà quindi composto in:

- Antenna che deve trasmettere e ricevere le onde elettromagnetiche
- Transceiver che si occupa di mandare e ricevere il segnale.
- Impianto audio che deve fare ascoltare il segnale ai piloti tramite le cuffie o prendere il segnale tramite microfoni.
- Il quadretto di controllo che è integrato nel Cockpit e si occupa di selezionare automaticamente la frequenza adatta per collegarsi alla stazione di terra voluta. Questo perché conoscendo la traiettoria del velivolo e la posizione delle stazioni di terra il sistema conoscerà sempre quale è in linea di vista e si setta sulla frequenza di comunicazione, sempre in banda VHF, caratteristica di quella stazione.



In questo grafico abbiamo tutti gli elementi del sistema di comunicazione che lavorano in tutte le bande di frequenza con associate anche le comunicazioni interne. Sono indicate infatti le comunicazioni VHF, HF, SATCOM e per ogni banda ci sono il numero di antenne usate (ridondanza tripla per VHF, doppia per HF).

Notiamo la presenza dell'ACARS che è collegato al FMS e a tutto in modo bidirezionale perché esso è il router a bordo velivolo che si occupa di indirizzare l'informazione da trasmettere all'elemento di comunicazione adeguato sulla banda adeguata.

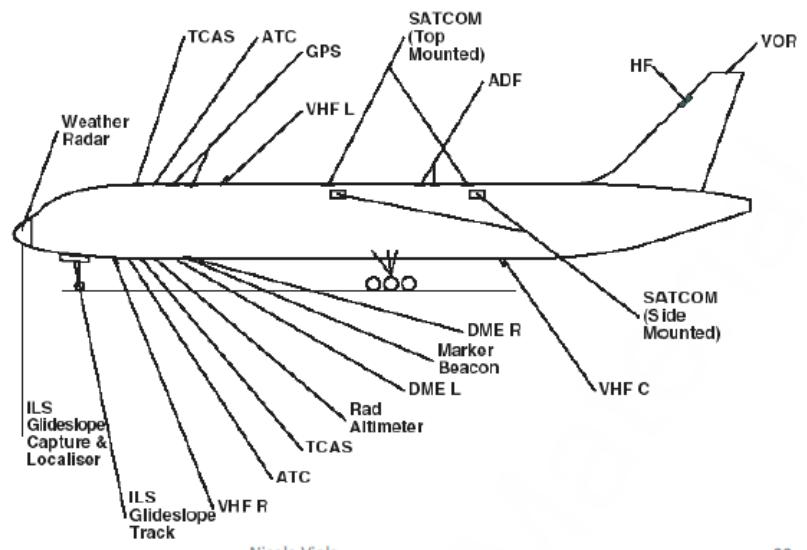
Vediamo che tutti sono Input del pannello del Cockpit a cui, oltre al sistema di comunicazione, sono collegati tutti gli altri sistemi. Notiamo che tutti i legami con il sistema di comunicazione sono Bidirezionali ma quelle con gli altri sistemi (in questo caso rappresentati dal Navigation System) sono monodirezionali. Questo perché tutti gli elementi del sistema di comunicazione devono poter lavorare sia in Uplink che in Downlink mentre gli altri sistemi comunicano con il pannello del cockpit solo mandando il proprio stato di salute e comunicando dei problemi con segnali audio di emergenza.

Antennae location

Il numero di antenne presenti su un velivolo per usare tutti i sistemi di comunicazione e navigazione è considerevole questo è anche dovuto al fatto che alcuni componenti possano essere duplicati o triplicati.

Il posizionamento delle antenne dipende dalla tipologia di velivolo, dalla funziona svolta e dalla sua direzionalità. Se consideriamo un grande velivolo trasporto passeggeri le antenne si troveranno indicativamente sul ventre se dovrà dialogare con terra e sul dorso se dovrà dialogare con i satelliti.

Ci sono poi casi particolari per antenne che svolgono funzioni Safety Critical come quella legata all'Air Traffic Control che si trova sia sul dorso che sul ventre perché deve funzionare anche in condizioni non nominali in quanto in qualsiasi assetto si trovi il velivolo deve essere sempre possibile comunicare.



L'antenna per il ILS = Instrumental Landing System è particolarmente importante perché permette di atterrare in condizioni di scarsa visibilità.

Acars

E' un sistema che nasce per gestire le comunicazioni tramite data link o vocali in banda VHF ma si è evoluto con il tempo anche per le comunicazioni HF e Satcom.

In genere i velivoli civili hanno 3 radio:

- 2 radio sono per le comunicazioni Vocali di ATC
- 1 radio si occupa di tutte le comunicazioni Data Link tramite ACARS

Nel futuro si pensa di arrivare ad avere una sola radio per le comunicazioni vocali.

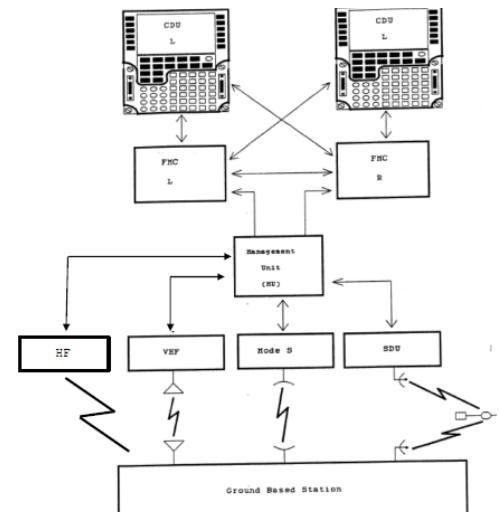
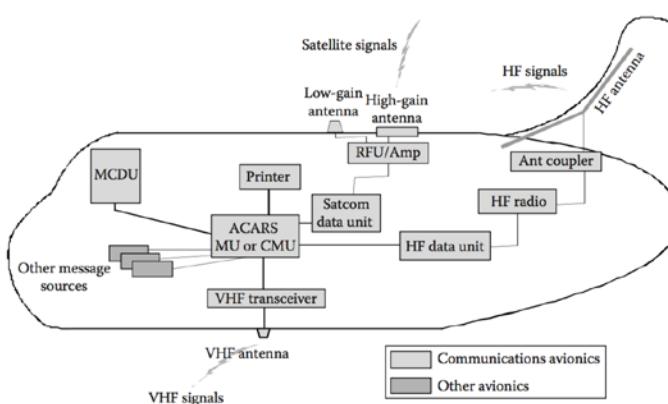
L'ACARS nasce su iniziativa di privati per avere una comunicazione real time dei dati del velivolo per motivi di manutenzione e di organizzazione in quanto comunicare i dati del velivolo con Data Link fa sì che il pilota non debba continuamente comunicare alle compagnie aeree i dati di salute del velivolo, task che

Attualmente il sistema ACARS permette una copertura globale di comunicazione tramite Data-Link e funziona in 5 rami della comunicazione:

- Comunicazione VHF originale
- Comunicazione Satcom tramite satelliti Inmarsat, che è attualmente l'unica costellazione usata in ambito civile perché era già presente per la comunicazioni navali quando ACARS è cominciato ad essere usato MA trattandosi di satelliti GEO non offrono una copertura sopra gli 80° di latitudine questo è un problema perché nelle regioni polari l'unica metodo per comunicare oltre la linea di vista saranno le comunicazioni HF.
- HF Data Link
- VDL Mode 2
- Comunicazione Satcom tramite Satelliti Iridium che sono una costellazione in LEO che quindi non ha problemi per le orbite polari. Attualmente non è ancora utilizzata.

E' importante che oltre al sistema ACARS a bordo velivolo ci sia anche un'infrastruttura di terra soddisfacente.

L'ACARS a bordo velivolo sarà collegato a tutti i sistemi di comunicazione in quanto dovrà gestire le comunicazioni in tutte le bande di frequenza quindi avremo:



Dalla figura a fianco possiamo notare che il sistema ACARS non si collega unicamente alle comunicazioni in banda HF, VHF, Satcom (SDU) ma anche al Mode S che è un Trasponder usato dal sistema di sorveglianza e identificazione per dialogare con le stazioni radar di terra via Data Link per identificare il velivolo.

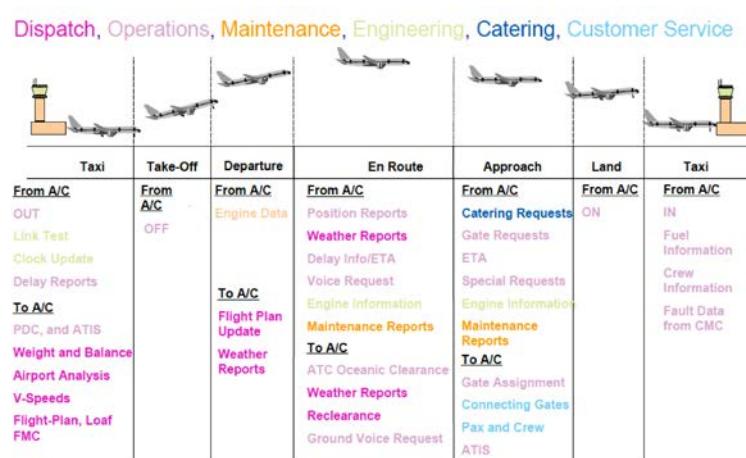
Quindi il sistema ACARS ha un interfaccia con il sistema di comunicazione ma anche con quello di sorveglianza e identificazione.

Acars for AOC

Il sistema ACARS si usa in tutte le fasi di volo in tutte le bande di frequenza per comunicare con la compagnia aerea.

I primi messaggi che sono stati mandati dal sistema ACARS sono quelli di Out, Off, On, In che indicano unicamente la fase di volo in cui ci si trova.

Poi attualmente si mandano anche le informazioni meteo.



Sommario di ATC e AOC

Evolution of AOC (Aeronautical Operation Control) communications between aircraft and AOC centers

1. Step
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM
2. Step
 - o Data link: VHF ACARS
 - The datalink has been used for the first time for aircraft communications over VHF range in continental airspace with high-density traffic to improve the communications links efficiency*
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM
3. Step
 - o Data-link: VHF, HF and SATCOM ACARS (for routine communications)
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM (for emergency communications)

Evolution of ATC Communications

1. Step
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM
2. Step
 - o Data link: SATCOM ACARS (controller-pilot data link communications, CPDLC)
 - The datalink has been used for the first time for ATC communications over SATCOM range in oceanic airspace, where voice messages were previously the only possible communications link for ATC*
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM
3. Step
 - o Data-link: HF and SATCOM ACARS, and ATN (respectively in oceanic airspace and in continental airspace for routine communications)
 - o Voice communications: VHF, HF and SATCOM (for emergency communications)

Attualmente siamo allo Step 3 in cui per ATC si usa ACARS tramite Data Link per applicazioni Safety Critical (ATC) solo nelle tratte oceaniche mentre sulle tratte continentali è stato sviluppato un nuovo protocollo che si aggiunge alle stazioni radar e permette di usare le comunicazioni via Data Link, questo protocollo si chiama ATN.

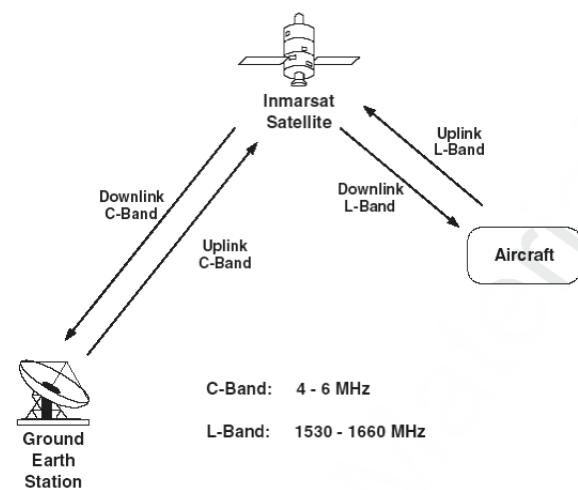
Satcom

E' un sistema di comunicazione che lavora a frequenze molto più alte ovvero di 4 o 6 GHz. Di per sé è una comunicazione in linea di vista, e infatti coinvolge bande di frequenze che funzionano in linea di vista, tra oggetti che non sono in linea di vista perché il satellite e il velivolo sono in linea di vista, il satellite e la stazione di terra anche ma il velivolo e la stazione di terra no. Grazie all'architettura del sistema velivolo e stazione di terra possono comunicare.

L'unica costellazione usata è quella Inmarsat che è Geostazionaria e quindi come tale ha problemi a latitudini elevate.

Questo è un problema perché nelle regioni polari l'unico metodo di comunicazione è la banda HF ma non ho nessun tipo di ridondanza e non va bene.

Si sta studiando di usare altre costellazioni in MEO o LEO per ovviare a questo problema e avere una copertura globale.



Trattandosi di fenomeni naturali variano in funzione di altitudine, latitudine e cambiamenti climatici.

Per mandare messaggi SATCOM ma anche nelle altre bande di frequenza vogliamo utilizzare antenne più piccole possibili e con un guadagno il più alto possibile.

Per ogni tipologia di antenna c'è una relazione che lega guadagno, dimensione caratteristica e frequenza alla quale opera.

Per esempio per la parabola vale che:

$$G = \left(\frac{\pi \cdot D^2 \cdot \eta}{4} \right) \cdot \left(\frac{4 \cdot \pi}{\lambda^2} \right) = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \eta}{\lambda^2}$$

Questa formula mi indica che:

- $G \propto D^2$ quindi più l'antenna è grande a frequenza costante e più elevato sarà il guadagno
- $G \propto 1/\lambda$ quindi più la frequenza del segnale è alta a dimensione costante e più è alto il guadagno

Quindi per avere G elevati cerchiamo di fare antenne grandi che lavorano con segnali a frequenza elevata.

Possiamo fare un confronto tra un antenna ad alto G e una a basso G e vediamo che definendo θ come l'ampiezza del lobo di irradiazione dell'antenna ovvero il volume di spazio in cui avviene la ricezione e la trasmissione del segnale allora:

- Antenna ad alto guadagno avranno θ piccolo e quindi saranno ALTAMENTE DIRETTIVE perché concentrano il segnale in una zone molto piccola e ben precisa, hanno quindi bisogno di un'elevata accuratezza di puntamento.
- Antenne a basso guadagno avranno θ grande e quindi saranno POCO DIRETTIVE e non bisognose di un'accuratezza di puntamento così elevata.

Quindi lo **svantaggio** di usare antenne ad alto G e che necessitano di accuratezze di puntamento elevate che diventano dei requisiti fondamentali per il progetto.

MA hanno il grande **vantaggio** che a parità di potenza trasmessa le antenne ad alto G richiedono potenze molto più piccole.

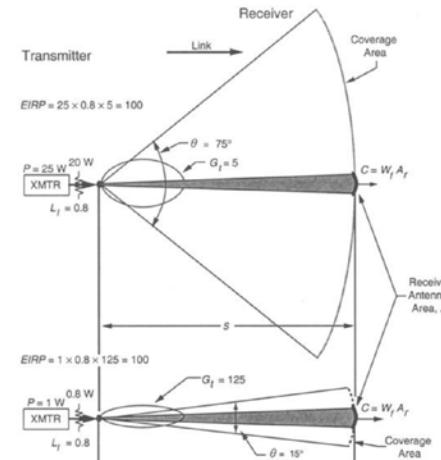
Questo è calcolato dalla formulazione:

$$EIRP = P_{in} \cdot \eta \cdot G$$

vediamo che se G è alto allora anche a fronte di una piccola potenza di ingresso la potenza di trasmissione sarà elevata.

La frequenza, oltre ad avere un effetto importante sul guadagno delle antenne ha altri effetti sulla Capacità che possono essere visti in tabella:

Charact.	VHF	L-Band (UHF, 1-2 GHz)	C-Band (SHF, 4-8 GHz)	Ku (12-18 GHz)/Ka (27-40 GHz) Band
Capacity (number of comms. channels)	Capacity increases moving from lower to higher frequency bands because there are more bandwidths available.			



- MCDU → interfaccia uomo macchina del FMS

HF communications

Sono comunicazioni che avvengono in banda di frequenza tra i 3 e i 30 MHz e permettono di avere una comunicazione oltre la linea di vista per migliaia di Km.

Questo perché la banda HF subisce le riflessioni di diversi strati dell'atmosfera che sono ionizzati per una vasta regione dell'atmosfera e quindi, essendo carichi di particelle cariche, riflettono le bande HF.

La presenza e lo spessore di questi strati però, trattandosi di eventi naturali dipende da:

- Stagione dell'anno
- Alternanza del di e della notte
- Anni

Questo perché la loro presenza è legata all'attività solare quindi in genere le densità maggiori di elettroni le abbiamo di giorno o di estate mentre quelle minori di notte o di inverno.

Questa variabilità fa sì la comunicazione HF non sia agevole perché ogni strato riflette comunicazioni a frequenze diverse.

Questa continuo cambiamento di frequenze a seconda si stagione, anno e periodo del giorno, per adeguarsi alla presenza o meno di un determinato strato rende questo tipo di comunicazione molto meno stabile di quelle a banda VHF inoltre la richiesta di potenza per una comunicazione in banda HF è molto maggiore (circa 5 volte) a causa del range che è più elevato e del fatto che il segnale è assorbito in parte dall'atmosfera in quanto non tutto viene riflesso.

Future Trends

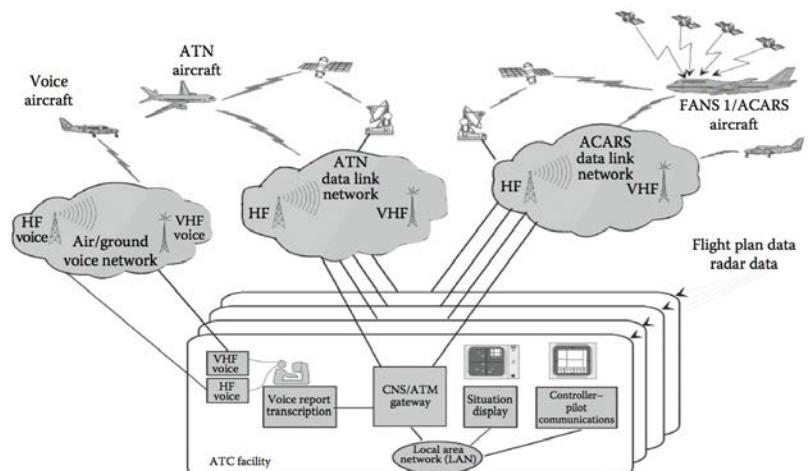
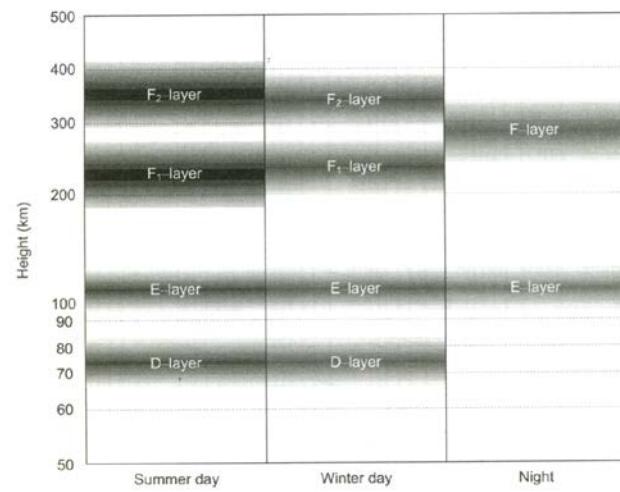
Attualmente i sistemi di comunicazione che i diversi velivolo dispongono sono vari e non tutti i velivoli dispongono di sistemi di avionica di ultima generazione quindi lo scenario è molto variegato.

Questo fa sì che le stazioni e le facilities di ATC devono controllare uno scenario complesso e devono essere in grado di dialogare con tutte le tipologie di velivoli al fine di poter garantire una separazione verticale e laterale corretta per garantire la sicurezza.

Questo perché la separazione tra velivoli dipende dall'accuratezza dei dati di posizione del velivolo e dal tipo di velivolo così come anche le procedure di navigazione che possono essere utilizzate dipendono dal tipo di velivolo.

Nello specifico i tipi di velivoli che si possono avere sono:

- Velivoli Base che per comunicare usano solo Voce in banda VHF e HF senza i sistemi Data Link
- Velivoli FANS1/ACARS che scambiano le informazioni via Data Link grazie al sistema ACARS ma possono farlo solo per le informazioni alla compagnia aerea (AOC), che sono solo Safety Related, e



Poi abbiamo:

- Parti Grigie: sono i communications means ovvero le vie di comunicazione che il velivolo può utilizzare, essi sono dei veri e propri equipaggiamenti avionici
- Parti Blu: è il Router, anche esso è un equipaggiamento avionico
- Parti Rosse: sono le Procedure e i Protocolli che vengono importati da altri equipaggiamenti
- Parti Gialle: sono alcuni elementi del CockPit con cui si interagisce

Notiamo poi la presenza di sistemi FANS A e FANS B con all'interno degli elementi che sono:

- AFN (Air Facilities Notification) che è una procedura/task da svolgere prima di iniziare ogni comunicazione Data Link
- CPDLC (Controller To Pilot Data Link Connection) che è la capacità del velivolo di rendersi identificabile con i sistemi di terra, questo viene fatto in vari modi e uno di questi è quello di utilizzare la comunicazione Data Link. Questa è svolta dal sistema di comunicazione ma coinvolge anche il sistema di Sorveglianza e Identificazione.
Il velivolo di SX potrà usarlo solo in aree oceaniche per ATC usando bande HF o Satcom.
- ARS-C che è un metodo nuovo per rendere nota la propria posizione.

Il sistema è collegato ad altri elementi esterni che sono: CVR (Cockpit Voice Recorder), FMS e RMP... che rappresentano delle possibili interfacce con il pilota, un'altra interfaccia, non indicata, potrebbe essere il AEES (Aircraft Environmental Surveillance System) che è un sistema di sorveglianza per quanto riguarda il tempo atmosferico e il traffico aereo che mette assieme i risultati di sensori diversi.

Le differenze tra le architetture FANS A e FANS B dell'AirBus sono:

	FANS A+ using ACARS over oceanic and remote areas		FANS B+ using ATN over continental areas
	Optional	Basic	Optional
Aircraft	A320	A330/A340	A320
FANS applications			
Communication: CPDLC	X	X	X
Surveillance: ADS-C	X	X	-
ATS 623 applications			using ACARS
Digital ATIS - D-ATIS	X	X	X
Departure Clearance - DCL	X	X	X
Oceanic Clearance - OCL	X	X	-
Medias			
SATCOM	Option	Basic	Option (AOC only)
VDL-Mode A	Basic	Basic	Basic (AOC only)
VDL-Mode 2	Option	Option	Basic
HFDL	Option	Option	Option (AOC only)

A partire dal 1998 poi il sistema ACARS dell'AirBus è stato integrato con ATN e si è cominciato a chiamare sistema ATSU.

Navigation System

Nel sistema di navigazione il velivolo è considerato un punto nello spazio e di lui ci interessa la sua traccia sul piano orizzontale.

La FUNZIONE principale di questo sistema è di manovrare il velivolo da un punto iniziale conosciuto alla destinazione usando una varietà di sensori e aiuti alla navigazione e passando per un determinato numero di waypoint che sono in genere definiti in base a latitudine, longitudine e dal tempo.

I sensori si distinguono dagli aiuti alla navigazione perché i primi sono equipaggiamenti che NON dialogano con terra mentre i secondi SI.

La rotta sarà quindi divisa in diversi Waypoint, il percorso tra un waypoint e il successivo viene chiamato Flight Leg.

La velocità del velivolo lungo il suo asse è chiamata True Air Speed ma a causa della presenza del vento (Windspeed) questa non sarà la velocità del velivolo rispetto al suolo (GroundSpeed).

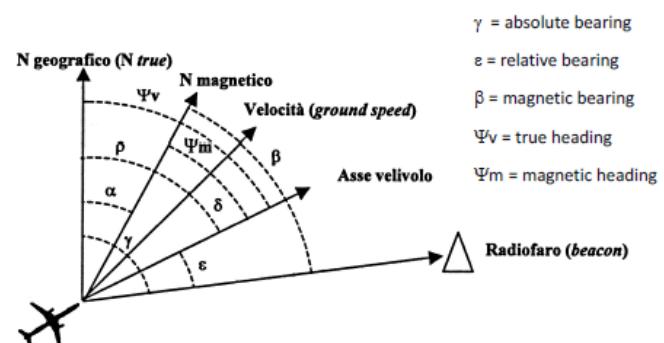
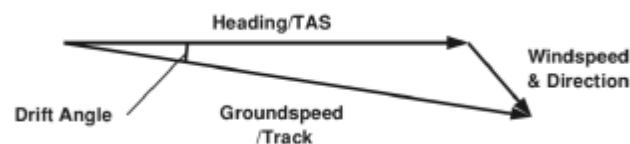
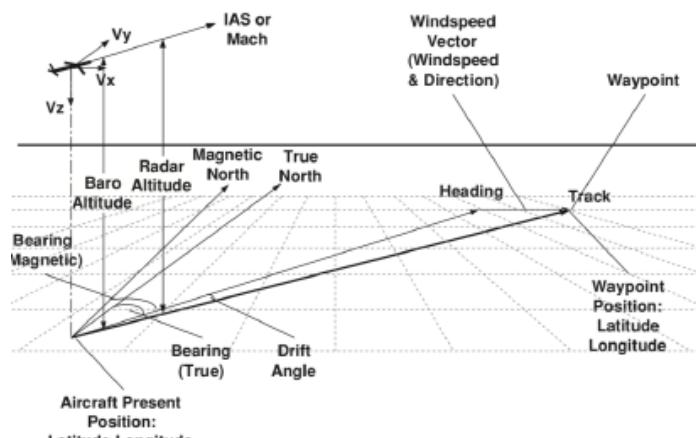
Le velocità sono poi calcolate in funzione del riferimento a cui si riferiscono. Possono riferirsi a:

- Nord Magnetico → Magnetic Bearing
- Nord Geografico → Absolte Bearing

Calcoleremo poi gli angoli anche tra la direzione dell'asse del velivolo e il nord magnetico e geografico che saranno:

- Nord Magnetico → Magnetic Heading
- Nord Geografico → True Heading

Notiamo che quindi gli angoli di Bearing sono calcolati rispetto alla destinazione mentre gli angoli di Heading sono calcolati rispetto all'asse del velivolo.



Navigation Methods

1. Dead-Reckoning System

E' il primo metodo di navigazione utilizzato in cui si utilizzavano come strumenti: sensori dell'aria, una bussola magnetica, dei giroscopi inerziali e un orologio. Conoscendo la posizione iniziale possiamo calcolare la distanza percorsa conoscendo un'informazione di tempo e velocità.

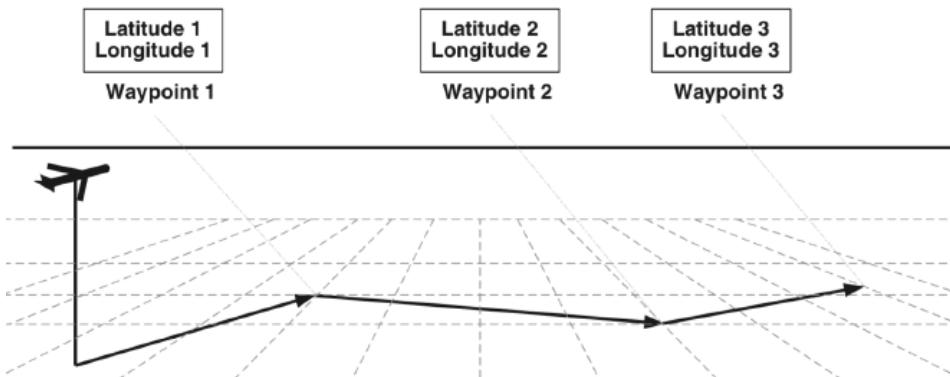
Per il vettore velocità conosceremo il modulo grazie ai sensori aria, la direzione grazie ai giroscopi e alla bussola magnetica che vengono usate in coppia perché i giroscopi hanno una elevata accuratezza per lunghi periodi ma scarsa su piccoli periodi mentre la bussola è molto accurata su brevi periodi ma perde di efficacia su lunghi periodi.

Questo permette al velivolo di avere i sistemi VOR/DME come backup e controllo quando si trova sulla terraferma e utilizzare la navigazione inerziale nei tratti oceanici o in cui le stazioni di terra non sono in vista aumentando la precisione della navigazione.

La piattaforma inerziale è composta da giroscopi e accelerometri che sono utilizzati per:

- Giroscopi: misurano la l'assetto del velivolo
- Accelerometri: misurano l'accelerazione che integrata due volte mi darà la posizione del velivolo, questa velocità sarà la TAS ma conoscendo i dati aria saprò la Ground Speed al suolo.

Con questo metodo ci sarà però un accumulo di errore, soprattutto sulle aree oceaniche in cui non possiamo controllare la posizione reale per l'assenza di VOR/DME.



4. Navigazione Usando Il Global Navigation Satellite System

In questo caso grazie al fatto che il velivolo ha un ricevitore satellitare può determinare autonomamente la sua posizione senza il bisogno di utilizzare altri metodi, solitamente viene anche integrato il sistema inerziale come backup.

Inizialmente, nel 1990, il sistema GNSS veniva utilizzato solo per controllare la posizione data dalla Piattaforma Inerziale.

Adesso si può equipaggiare il velivolo con una piattaforma GNSS in vari modi:

- Multichannel global satellite system
- Ricevitore GPS integrato in una unità multifunzione chiamata Multi-Mode Receiver (MMR) dove il GPS è integrato anche con i ricevitori VOR e ILS (Instant Landing System)

Standard e Area Navigation

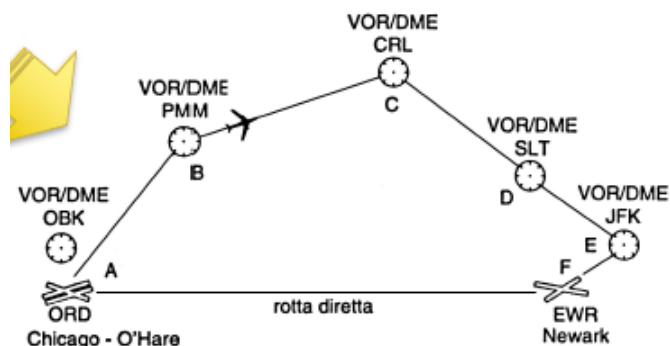
Dobbiamo adesso vedere quali sono i diversi approcci alla navigazione che possono essere usati e che useranno i 4 diversi metodi visti fino ad adesso.

STANDARD NAVIGATION

I waypoint sono rappresentati dalle stazioni di terra e sono collocati con esse.

Questo ha vantaggi e svantaggi:

- Vantaggi: il velivolo ottiene le informazioni molto facilmente perché è tutto trasmesso dalle stazioni VOR/DME e lui deve solo raggiungerle. Non ci sarà bisogno di un avionica complicata



Questi possono avere valori accettabili secondo normativa:

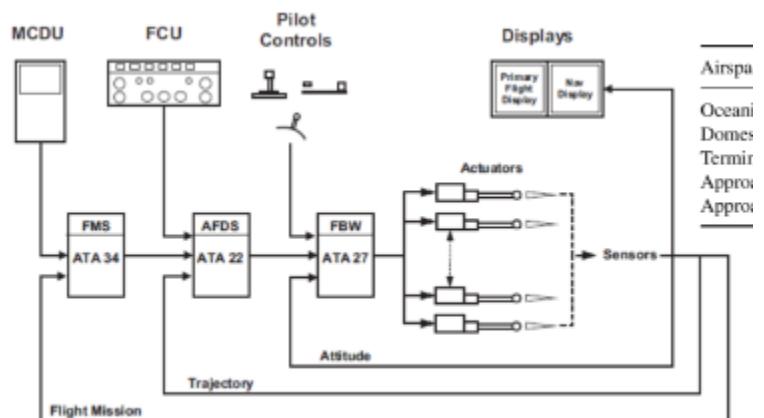
Airspace/operation	Accuracy (95%)	FTE
Oceanic/en-route remote	± 3.8 nm	± 1.0 nm
Domestic en-route	± 2.8 nm	± 1.0 nm
Terminal	± 1.7 nm	± 0.5 nm
Approach – VOR/DME	± 0.5 nm	± 0.125 nm
Approach – multisensor	± 0.3 nm	± 0.125 nm

ES Area OCEANICA

Il velivolo deve avere un errore massimo di ± 3.8 miglia nautiche combinando l'errore sulle X e sulle Y, rispetto alla traiettoria desiderata per almeno il 95% del volo e un errore di ± 1 miglia nautica determinato dagli strumenti.

Avremo 3 loop di controllo per controllare questi errori:

- Flight Mission: è legato al Path-Definition-Error ed è controllato dal Flight Management System
- Trajectory: è legato al Path-Steering-Error e se ne occupa l'autopilota
- Attitude: è legato a Position-Estimation-Error e se ne occupano i sensori

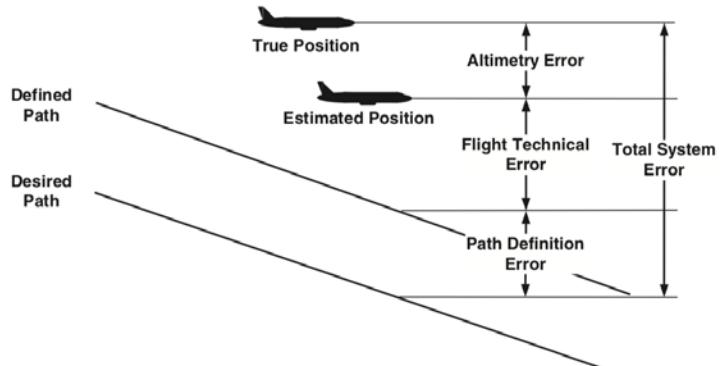


2. NAVIGAZIONE VERTICALE

La navigazione verticale è nata per ottimizzare le performance del velivolo per ridurre i costi operativi.

Quando si compie una navigazione di questo tipo si possono compiere errori in 3 aree:

- Path Definition Error: è la differenza tra la traiettoria desiderata e quella attuale, è un errore legato ai sensori e riguarda la definizione della rotta
- Path Steering Error: misura l'abilità del pilota o dell'autopilota di conformarsi al piano di volo definito, è un errore che riguarda la guida del velivolo.
- Position Estimation Error: misura l'abilità del Sistema di Navigazione nello stimare la posizione ed è legato ai sensori.



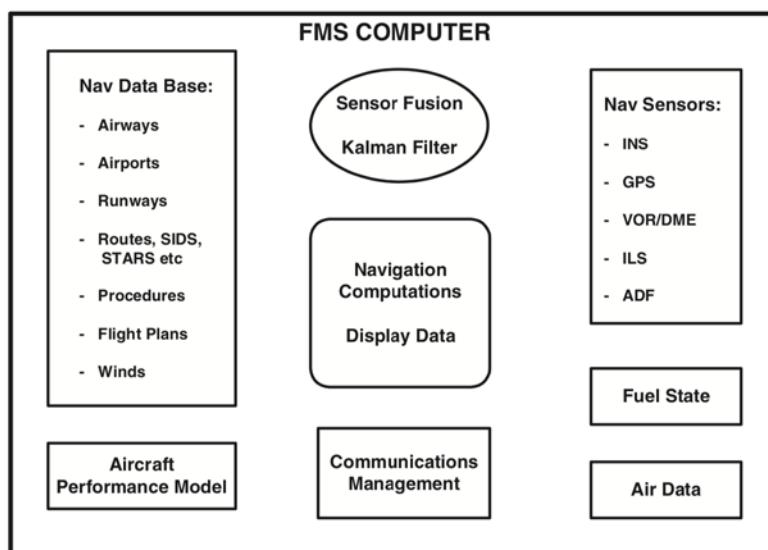
Principles of Flight Management System

Il Flight Management System è creato dal Computer + l'interfaccia uomo-macchina e può essere quindi schematizzato, considerando Input e Output secondo la figura seguente:

Le funzioni del FMS sono quindi:

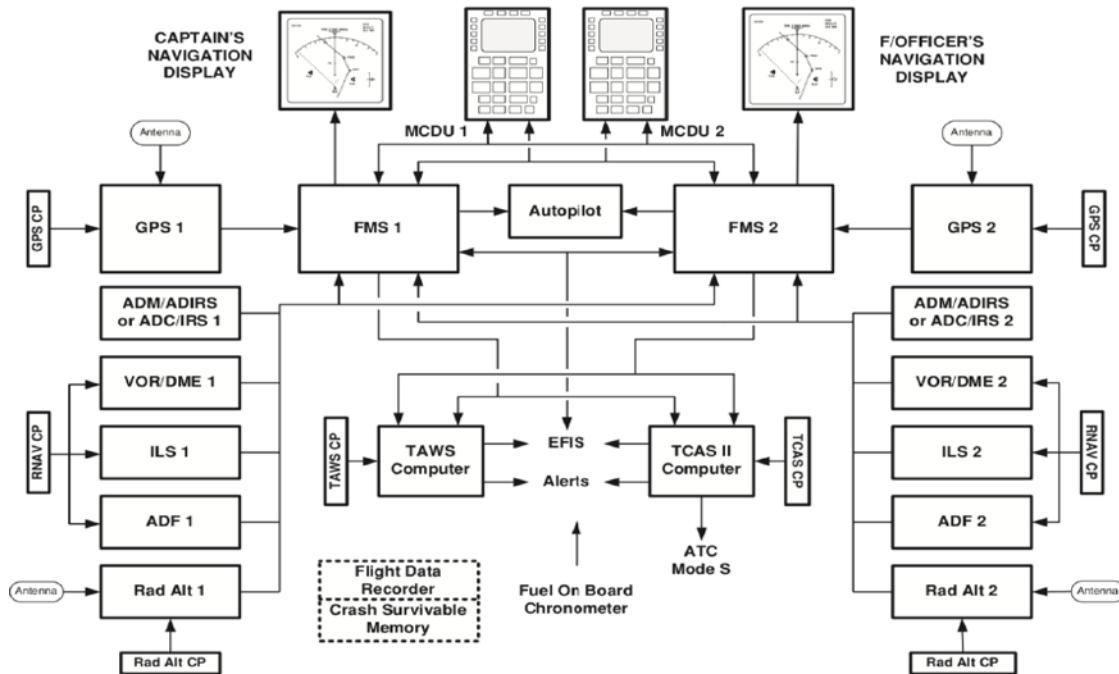
- **Navigation Computation e display data** ovvero la capacità di tracciare la rotta sul piano sia verticale che orizzontale seguendo l'evoluzione nel tempo del punto in coordinate (x,y,z).
- **Navigation Sensors** ovvero la capacità di usare aiuti alla navigazione come i sensori INS, GPS, VOR, ILS, ADF, TACAN per la navigazione laterale.
- **Air Data** ovvero la capacità di ottenere dati aria molto accurati dai sensori ADC o ADIRS da utilizzare nei calcoli di navigazione, questo è molto importante per la navigazione verticale.
- **Fuel State** ovvero la capacità di conoscere la quantità di carburante presente nei serbatoi e il flusso di combustibile nel motore, il calcolo dell'uso del carburante e il consumo totale sono due parametri usati per definire la performance del motore durante il volo. Quando questi due dati sono usati assieme ad un modello completo delle performance del velivolo allora si può ottimizzare la guida per avere il minimo consumo di combustibile. Questa funzione è molto importante per la navigazione verticale.
- **Sensors Fusion e filtro di Kalman** ovvero la capacità di utilizzare un algoritmo complesso che elaborando più dati in ingresso che indicano la posizione del velivolo che quindi lega le informazioni ricevute dai sensori VOR, DME, GPS, ... è in grado di dare in uscita una posizione più precisa rispetto a quella ricevuta dal singolo sensore.
- **Communication Management** ovvero la capacità di passare le informazioni al sistema di comunicazione che decide il canale di comunicazione da usare per ricevere o dare informazioni di navigazione o altre.
- **Navigation Database** ovvero contenere una grande quantità di dati che sono rilevanti per il calcolo della rotta e dei vari pezzi di rotta tra un waypoint e il successivo che il velivolo dovrà percorrere. Questo database è continuamente aggiornato e manutenuto e contiene informazioni rispetto a: Aeroporti, Aerovie, Piste di atterraggio con annessi livelli di atterraggio permessi, Rotte nominali e deviazioni standard dalle stesse, Piani di volo, dati vento presenti e previsione future.
- **Aircraft Performance Model** ovvero l'unione di un modello di performance del velivolo alla capacità del sistema di usare profili di missione 4D (x,y,z,t) al fine di fare un ottimizzazione dell'utilizzo dell'energia del velivolo e minimizzare il consumo di combustibile per minimizzare i costi.

Queste funzionalità sono riassunte nel diagramma:



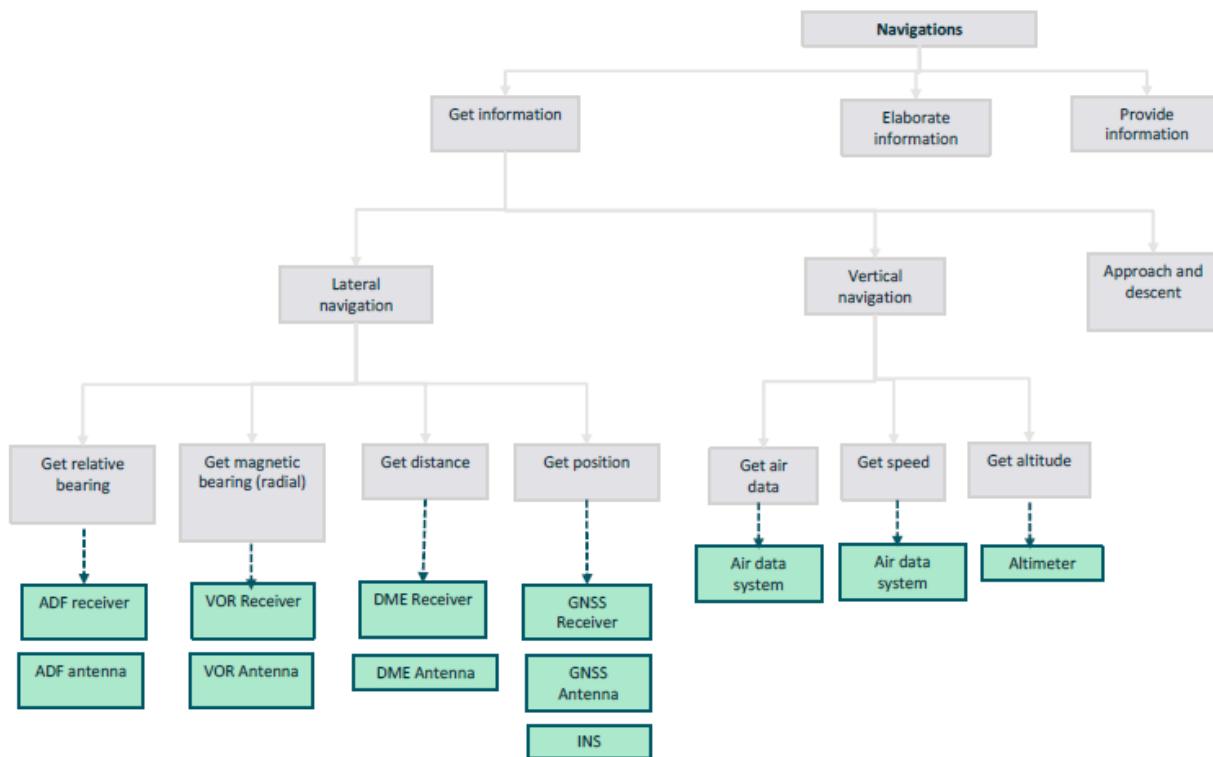
Il FMS si è evoluto nel tempo e ha aumentato le proprie funzionalità come possiamo vedere dalla tabella sottostante:

differenza tra i due sta nel fatto che il TCAS attua manovre evasive per evitare l'impatto mentre il TAWS manda unicamente segnali di warning ai piloti.



Navigation: State of Art

Possiamo scrivere l'albero funzionale del sistema avionico e dei suoi prodotti legati:



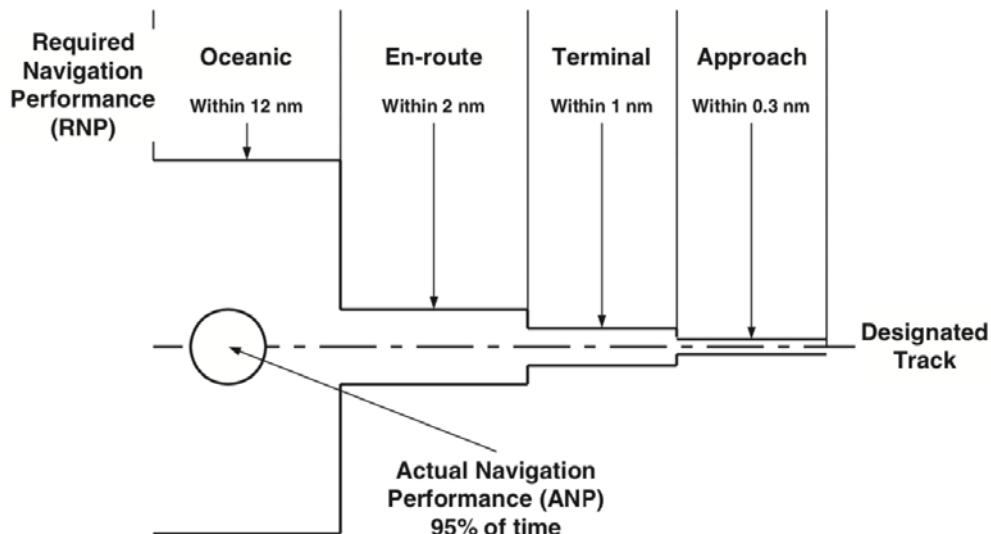
Le aree in cui sono stati fatti dei miglioramenti sono:

- Riduzione della separazione verticale tra velivoli
 - Utilizzo di sistemi GPS per integrare i dati di navigazione già presenti e migliorarne l'accuratezza. Si parla di Augmentation System ogni volta che questo viene fatto.
- Possiamo avere:
- Aircraft-Based Augmentation System (ABAS)
 - Ground-Based Augmentation System (GBAS)
 - Satellite-Based Augmentation System (SBAS)
- Utilizzo del Microwave Landing System (MLS) per fare gli atterraggi

A partire da fine anni 90 è stato introdotto il concetto di Required Navigation Performance (RNP) per definire l'accuratezza necessaria per fare una specifica aerovia o specifiche procedure.

Si utilizza quindi la Performance Based Navigation a partire da quel momento in cui la navigazione è per area ma con dei requisiti di prestazione in base a dove la navigazione sta avvenendo.

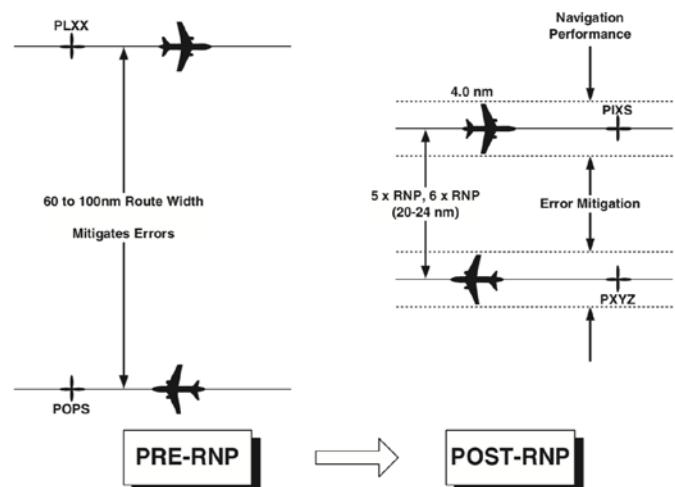
I requisiti richiesti sono:



Notiamo che attualmente per il 95% del volo il velivolo è in linea con i requisiti richiesti.

Se poi subentra qualche failure ci saranno delle diverse procedure di navigazione da utilizzare come per esempio l'aumento dello spacing tra velivoli.

L'applicazione delle RNP ha fatto sì che si passasse da spacing da 60 a 100 miglia ovvero valori enormi dovuti a dover mitigare gli errori combinati sulle performance del sistema di navigazione, sulla densità del traffico, sulla sorveglianza, sulle comunicazioni e del controllo del traffico aereo, a spacing che viene calcolato come un multiplo delle performance RNP richieste. Solitamente lo spacing è di 5/6 volte la performance RNP in quella parte di rotta.



I tre modi per ottenere un aumento della precisione del segnale sono:

- ABAS (Aircraft Based)
- GBAS (Ground Based)
- SBAS (Satellite Based)

In particolare avremo:

1. ABAS

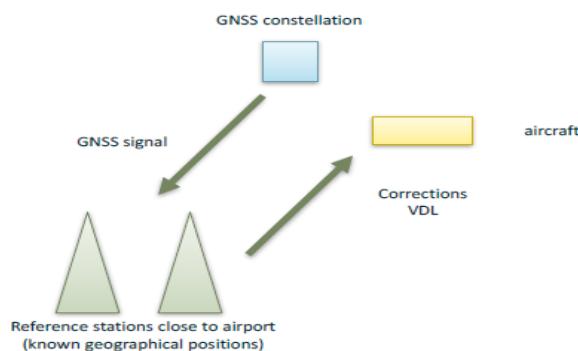
In questo caso i metodi sono due.

Il primo è il Receiver Autonomous Integrity Monitoring (RAIM) e si basa sull'utilizzo di più di 4 satelliti per determinare la posizione del velivolo, l'utilizzo di più satelliti permette di avere più dati e quindi una precisione maggiore.

Il secondo metodo si chiama Aircraft Autonomous Integrity Monitoring (AAIM) e si basa sull'utilizzo della piattaforma inerziale e dell'altimetro per migliorare i dati ricevuti dal GPS.

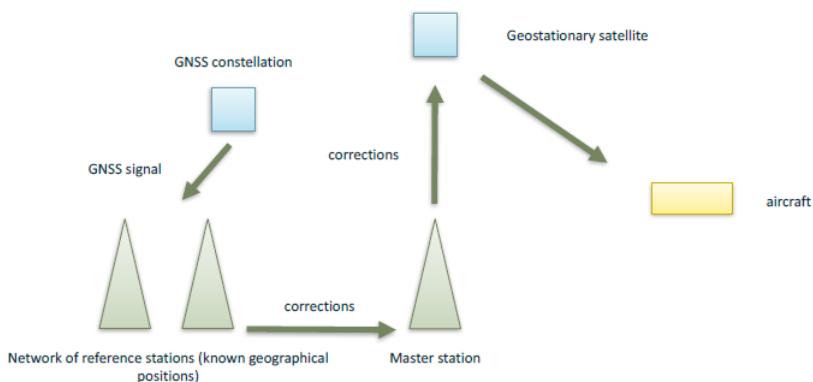
2. GBAS

Questo è molto utile e utilizzato in fase di atterraggio per ottenere la precisione di 0.3 nm richiesta. Si basa sull'utilizzo della costellazione di satelliti GPS che mandano il segnale di posizione ad una stazione di terra situata nelle vicinanze dell'aeroporto, questa stazione conosce la propria posizione nello spazio e la confronta con quella che è arrivata dal satellite determinando un errore, questo errore viene comunicato al velivolo via Data Link che corregge con esso l'informazione ricevuta dal GNSS. In questo modo si riesce ad atterrare con la precisione richiesta usando solo il sistema GNSS.



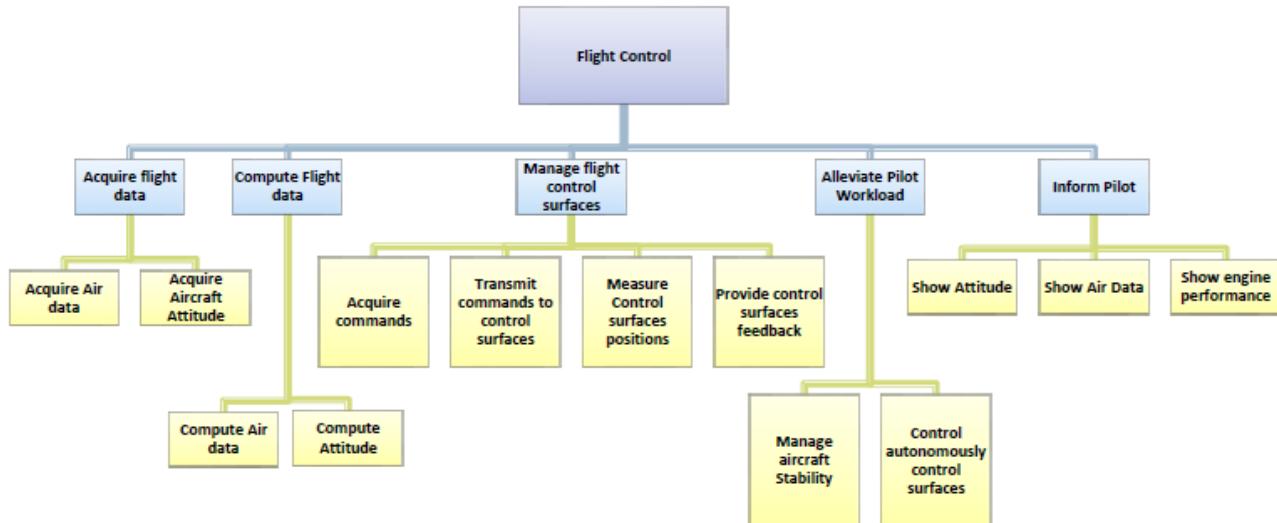
3. SBAS

Questo Augmentation System viene utilizzato in crociera e permette di migliorare il posizionamento del velivolo utilizzando le stazioni di terra che il velivolo utilizza per definire la sua rotta allo stesso modo del metodo precedente. Quindi viene inviato il segnale di posizione dai satelliti GNSS alla stazione di terra che si trova vicino al velivolo, essa la confronta con la sua reale posizione e determina un errore che sarà inviato al velivolo ed utilizzato per correggere l'informazione che arriva dal GPS del velivolo. Questo permette di passare da accuratezze di 20m ad accuratezze di 1,5m sia nella navigazione verticale che orizzontale.



Flight control system

Partiamo dall'albero funzionale come in tutti gli altri sistemi trattati:



Vediamo che le funzioni principali del Flight Control System sono:

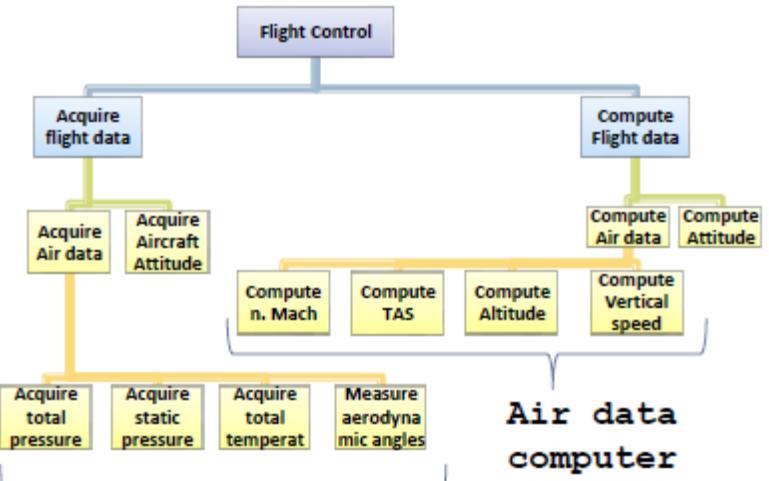
- Acquisire i dati aria che permettono di calcolare velocità e altitudine tramite dei calcoli svolti dallo stesso sistema
- Muovere le superfici di controllo mandando dei segnali alle superfici di controllo da cui in genere ci si aspetta un feedback di ritorno
- Informare il pilota su angoli di assetto, dati aria...
- Togliere carico di lavoro al pilota

Air data system

Questo sistema si occupa di acquisire anche i dati aria che sono molto importanti perché permettono di valutare:

- Pressione totale
- Pressione statica
- Temperatura totale
- Angoli aerodinamici

Queste grandezze sono fondamentali per il calcolo delle velocità e per la quota del velivolo che grazie all'informazione della densità permette il calcolo della forza aerodinamica sviluppata con il movimento di una data superficie mobile e quindi permette di valutare quanto deve essere la sua deflessione.

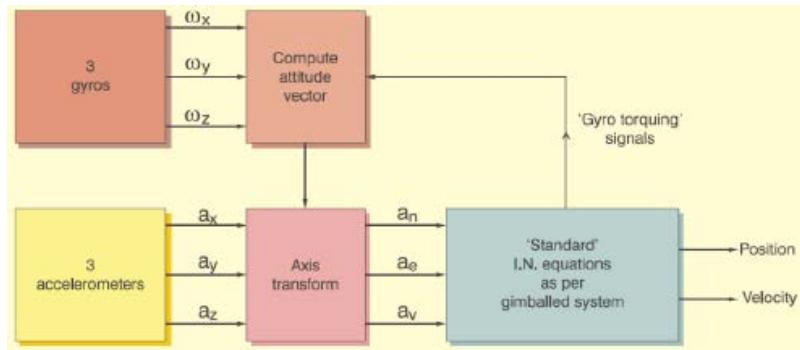


Per fare questo utilizza degli equipaggiamenti che sono il tubo di pitot, la sonda di pressione totale, di pressione statica e sonde per angoli aerodinamici, esse sono ridondate in genere tre volte e possono trovarsi

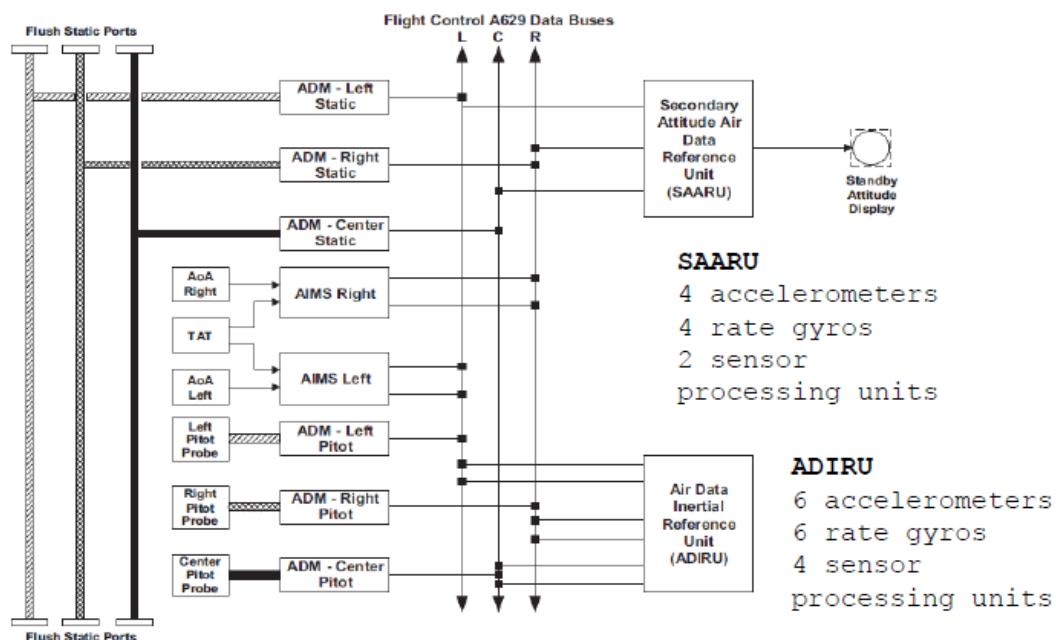
Notiamo che i dati di navigazione sono legati alle accelerazioni e alle velocità mentre il controllo del volo alle velocità e alle posizioni però sono elementi molto legati tra di loro.

Le piattaforme inerziali utilizzate sono di tipo StrapDown in cui gli accelerometri sono lungo gli assi del velivolo, il calcolo lungo gli assi terrestri viene fatto tramite il computer ADIRU che usa le informazioni dei giroscopi per calcolare gli angoli e calcolare la differenza tra gli assi.

Funziona che 3 accelerometri misurano la accelerazione sugli assi, 3 giroscopi misurano le velocità angolari e quindi le accelerazioni angolari e gli angoli di assetto, da questi vengono calcolate le accelerazioni sui assi NEV (North East Vertical) che permettono di conoscere posizione e velocità del velivolo.



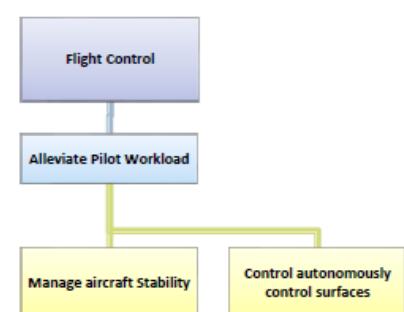
Su un velivolo moderno normalmente è tutto integrato:



Abbiamo quindi 3 prese di pressione statica e altri sensori che trasferiscono le informazioni sul BUS ridondati 3 volte. L'ADIRU e il SAARU, che sono i due computer che definiscono l'assetto, prendono i dati da lì e li integrano con i giroscopi e gli accelerometri che hanno integrati per ottenere le informazioni di cui abbiamo bisogno. Il SAARU è in generale meno potente, è in grado di compiere tutto da solo ma viene usato come backup.

Autopilota

Le funzioni dell'autopilota sono di alleviare il pilota dal suo carico di lavoro e di migliorare la stabilità del velivolo tramite l'utilizzo delle superfici di controllo.



Nella parte superiore dello schermo dell'autopilota ce l'FCU che è l'interfaccia tra pilota e autopilota e serve per variare gli obiettivi in termini di quota, velocità e posizione che devono essere mantenute dal sistema.

I modi dell'autopilota sono:

- **Attitude Modes** che permette al pilota di mantenere costanti degli angoli di assetto. Sono i primi modi che si sono sviluppati e permettono di mantenere il velivolo in assetto di crociera o di salita/discesa. Attualmente non sono più usati perché più del mantenimento dell'assetto al pilota interessa mantenere una data quota o velocità.
- **Datum Modes** che permettono di mantenere una data velocità o altitudine, sono perciò più complessi dei precedenti in quanto l'autopilota deve agire sull'assetto e sulla spinta man mano che il carburante si consuma o se ci sono raffiche.
- **Acquire /Capture Modes** che permettono di raggiungere un obiettivo che può essere il mantenimento di una data velocità o l'inseguire un dato segnale ILS o VOR. Gli viene fornito un valore di velocità o quota da seguire e lui lo farà nel modo più efficiente possibile.

Oltre ad essi sono stati inseriti, nei moderni autopiloti, dei modi che permettono un atterraggio automatico.

Essi si dividono in varie categorie in base alla quota minima alla quale bisogna prendere la decisione di atterrare perché c'è una visibilità della pista e quindi ridare il controllo al pilota per effettuare l'atterraggio.

Avremo quindi diverse categorie di atterraggio secondo la tabella che si differiscono per la quota di decisione e la visibilità minima ammissibile.

Dalla CAT1 alla CAT3C diminuisce sempre la quota di decisione e l'autopilota si preoccupa di fasi sempre più corpose dell'avvicinamento fino ad arrivare alla CAT3C in cui si occupa in toto dell'atterraggio.

Le categorie sono assegnate sia alla pista che al velivolo in base alla presenza e alla precisione dei sistemi a radiofrequenze per l'atterraggio automatico e alla sofisticatezza del sistema di controllo del velivolo.

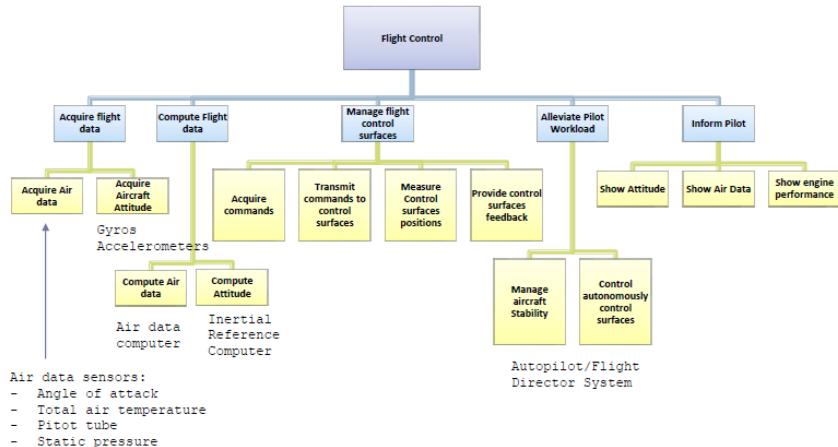
La categoria di atterraggio che sarà svolta sarà il livello più basso tra la pista e il velivolo.

Category of Operation	Decision Height (DH)	Runway Visual Range (RVR)	Visibility not less than
CAT I	not lower than 60 m (200 ft)	not less than 550 m	800m
CAT II	lower than 60 m (200 ft), but not lower than 30 m (100 ft)	not less than 350 m	
CAT IIIA	lower than 30 m (100 ft) or no DH	not less than 200 m	
CAT IIIB	lower than 15 m (50 ft) or no DH	less than 200 m but not less than 50 m	
CAT IIIC	no DH	no RVR limitation	

L'autopilota nello svolgere la sua funzione riceverà i dati dal FMS o dal AFS perché è tutto collegato quindi sarà a conoscenza del piano di volo, di conseguenza sarebbe in grado di svolgere la missione teoricamente tutta da solo.

Fly By Wire e fly control computer

Parliamo delle attuazioni delle superfici mobili, funzione che viene svolta dal Flight Control Computer usando il sistema Fly By Wire.



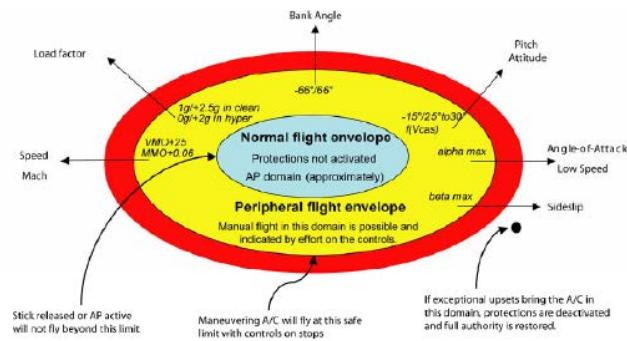
Leggi di controllo

Le leggi di controllo che possono essere implementate con il sistema Fly By Wire si basano sul dare sempre più autonomia al pilota man mano che ci sono più guasti e quindi il sistema di controllo non può garantire l'assoluta sicurezza:

- **Normal Laws** che sono usate in condizioni nominali e sono presenti tutti i controlli sulla deflessione graduale delle superfici, sulla protezione dell'inviluppo di volo e così via. Vengono utilizzate fino a quando è presente un solo guasto identificato.
- **Alternate Laws** che sono usate quando sono presenti 2 guasti identificati o 1 non identificato e in cui vengono tolti tutti i sistemi di ottimizzazione di consumo come la deflessione graduale delle superfici.
- **Direct Laws** che si utilizzano quando ci sono più di 3 guasti identificati o 2 non identificati in cui vengono tolti tutti i sistemi di controllo, anche quello di inviluppo di volo, e il pilota agisce direttamente sull'Actuator Control Electronic. Da questo tipo di pilotaggio il pilota può passare alle alternate laws se lo ritiene opportuno.
- **Mechanical reversion** che si utilizza in casi estremi e permette di usare i comandi di trim per compiere un avvicinamento graduale e un atterraggio il quanto più sicuro possibile MA NON si usa praticamente mai.

Vediamo la differenza con questo piccolo schema:

Il pilota sta normalmente nel giallo per essere nell'inviluppo di volo, l'autopilota lavora nel verde

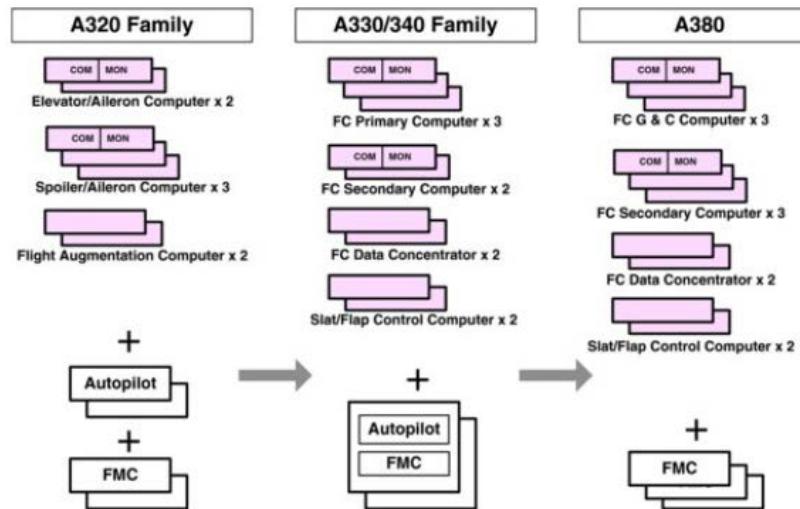


Possono essere riassunte con la seguente tabella:

	Normal Law	Alternate Law	Direct Law
Longitudinal Control Law	Pitch normal law	Pitch normal law (less efficient)	Pitch direct law
Lateral Control Law	Lateral normal law	Depending on failures: Lateral normal law (less efficient) or Roll direct / Yaw alternate law	<ul style="list-style-type: none"> • Roll direct law • Yaw alternate law
Protections	All active	Most protections lost	No
Autopilot	All modes available	Available depending on failures	No

Quando sono attivate le **Direct Laws** lo stesso controllo del velivolo diventa diverso perché gli input che devono essere dati al controllo di volo per muovere il velivolo devono diventare continui e durare tutta la manovra come se stessimo pilotando con comandi tradizionali, questo non avveniva con i comandi Fly By Wire in cui invece per fare la manovra bastava un input a inizio manovra per modificare l'assetto e uno alla fine per riportarsi alla condizione di volo livellato, poi era il computer associato agli attuatori che manteneva l'assetto costante durante tutta la durata della manovra, questo permetteva al pilota di diminuire il proprio carico di lavoro e non stare sempre alla cloche.

facendo dei viaggi lunghi, non possono atterrare se si trovano in mezzo all'oceano o non vorrebbero farlo se si trovano lontani dall'aeroporto di arrivo.



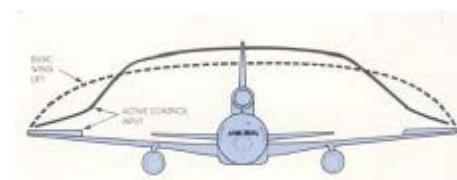
Sensibilità Artificiale

Su velivoli tradizionali con comandi di volo reversibili il pilota è in grado di avere percezione della velocità alla quale sta volando, della densità dell'aria, delle condizioni di prestallo sugli alettoni dallo sforzo che sente sulla barra. Questo è molto utile al pilota perché permette di avere un'idea della velocità del velivolo e di capire se sta uscendo o meno dall'inviluppo di volo. MA se sono presenti attuatori questo non avviene più perché tutto lo sforzo è compiuto dall'attuatore, si cerca di riprodurre il feedback al pilota con un sistema di sensibilità artificiale con molle e attuatori dedicati.

Comandi di volo

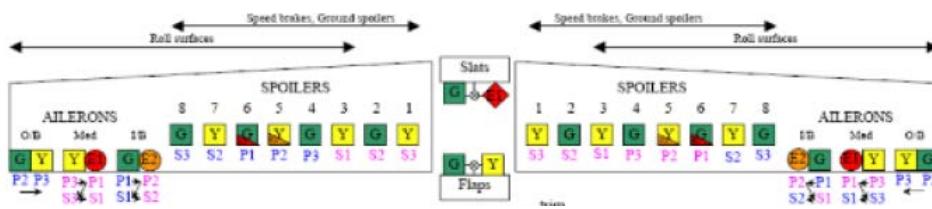
Con il Fly By Wire alcuni comandi di volo assumono un'importanza diversa e modificano le proprie funzioni:

- **Spoiler** inizialmente venivano usati dal pilota unicamente per fermare il velivolo in fase di atterraggio aumentando il D e diminuendo L per frenare più efficacemente, adesso con il sistema FBW si usano quando bisogna compiere delle manovre a basse velocità per cui gli alettoni hanno un'autorità di controllo molto inferiore e grazie all'aiuto degli spoiler inclinati di angoli piccoli si aumenta la resistenza su un'ala e si velocizza il rollio.
- **Alettoni** vengono usati, oltre che per compiere le manovre, per ridurre i vortici al tip dell'ala diminuendo L al tip usando gli alettoni in modo simmetrico.



Alcuni esempi di ridondanze sono:

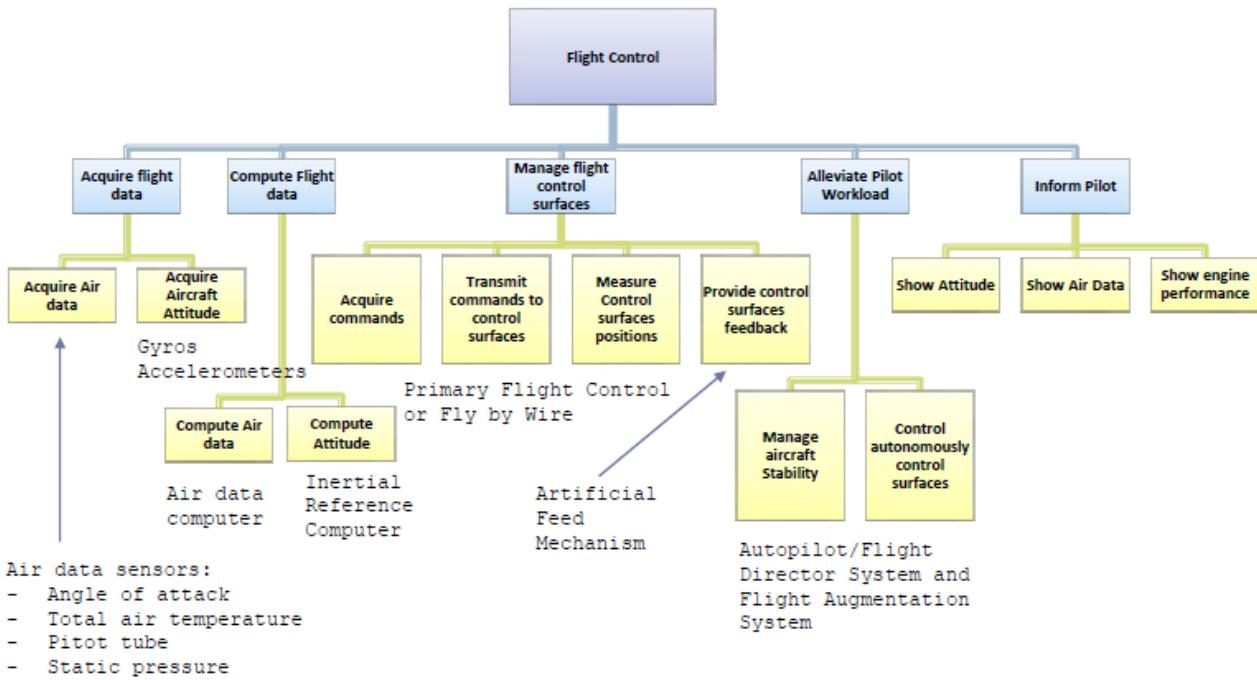
- A380 sono state aggiunte due linee elettriche (E1 e E2) assieme alle due linee idrauliche quindi ci sono motori elettrici di backup e più superfici di controllo.



Display

Il sistema di Display permette di completare l'albero funzionale che abbiamo visto per il Flight Control System perché integra la funzione di informare il pilota su diversi parametri come il controllo dell'assetto, i dati aria e le performance del propulsore.

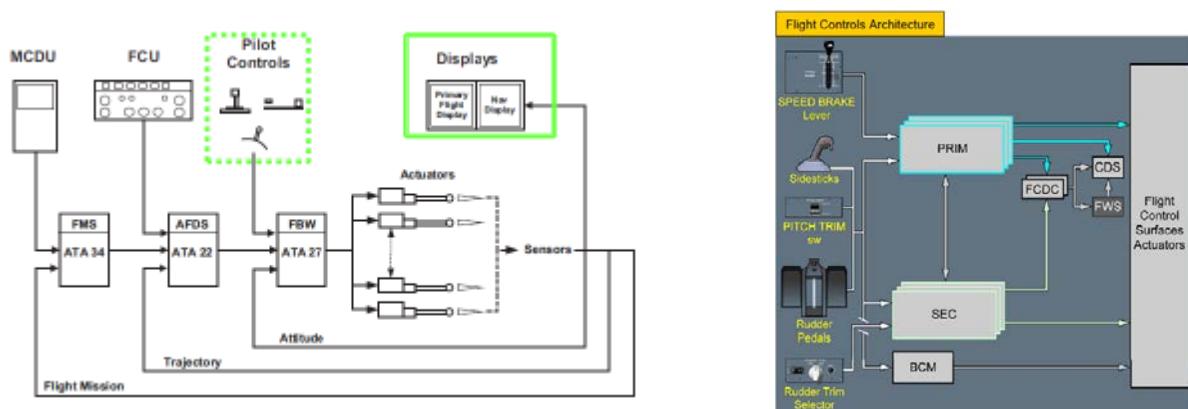
I Display poi forniranno anche informazioni relative a tutti gli altri sottosistemi del velivolo, non solo sul controllo di volo.



Dal punto di vista del sistema Fly By Wire i Display servono per chiudere il loop di controllo e fornire informazioni al pilota.

Vediamo che nell'A380, sono presenti due computer di controllo di volo, Primary e Secondary ed entrambi sono collegati al sistema Fly By Wire ma anche ai Display perché notiamo nello schema il collegamento con il CDS (Control Display System) che a sua volta è collegato con i FWS (Flight Warning System) perché la condizioni di pericolo, oltre che con i segnali acustici sono visualizzate anche sui display.

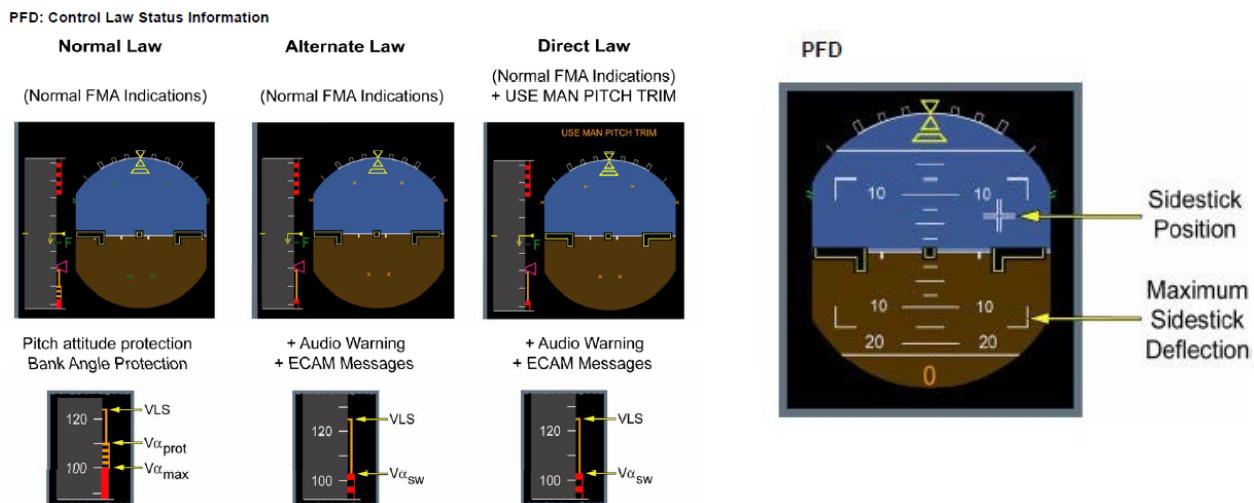
Notiamo nello schema anche il FDC (Flight Data Concentrator) che si occupa di selezionare solo i dati che arrivano dai sensori che sono veramente utili per il pilota in modo che al pilota non arrivi ogni secondo l'informazione di tutti i sensori del velivolo.



IN BASSO viene indicata la direzione del velivolo rispetto al Nord magnetico e dove è presente il prossimo Waypoint rispetto ad esso, in verità queste sono informazioni di navigazione che sono anche presenti nel ND ma sono visualizzate in modo sintetico anche su questo display perché quando il pilota fa una manovra guarda quello ed è utile conoscere dove sta andando rispetto al piano di volo voluto.

L'indicazione dell'orizzonte artificiale e dell'anemometro cambiano in base alle leggi di controllo diverse utilizzate dal sistema di navigazione.

Possiamo notare che sull'orizzonte artificiale è indicata anche la posizione dello stick.



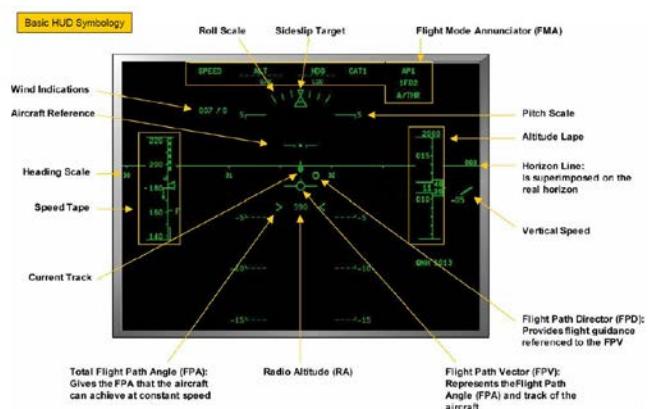
Head Up Display

E' in genere posizionato davanti al parabrezza del velivolo e permette di vedere alcune informazioni semplicemente guardando all'esterno. Nei velivoli militari è sempre presente perché permette di visualizzare sia le indicazioni di volo ma anche dei sistemi d'arma in modo veloce e intuitivo mentre nei velivoli civili è considerato un Optional.

Le informazioni base che sono visualizzate in qualsiasi tipo di velivolo sono:

- Flight Path Director che indica dove deve andare il velivolo
- Flight Path Vector che indica dove sta andando il velivolo
- Linea dell'Orizzonte che deve però allinearsi all'orizzonte reale che esso è in vista

Il sistema è in genere molto costoso perché:



Ecam Display – System Display

Sono i display laterali che si occupano di fornire informazioni rispetto ai sistemi di bordo del velivolo e del sistema propulsivo, di conseguenza avranno molte pagine, una per ogni sistema.

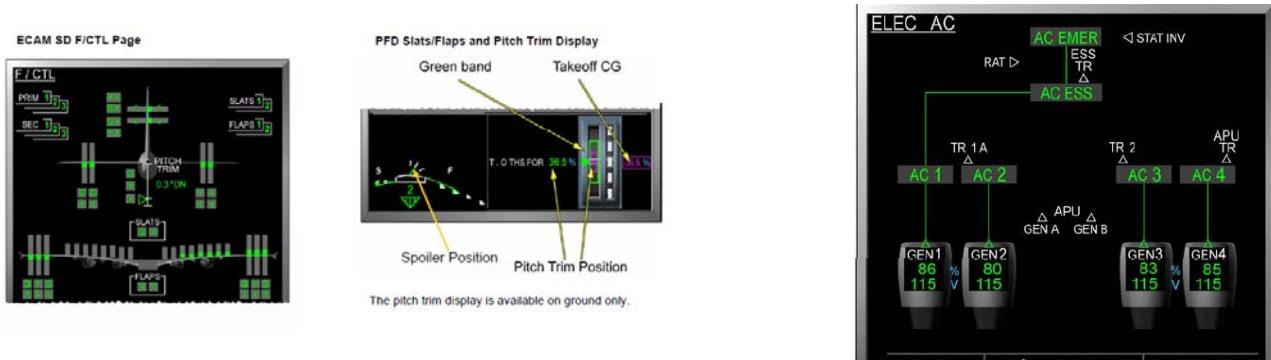
Le indicazioni fornite sono date con **livelli di dettaglio molto elevati** perché, in caso di malfunzionamento, il pilota deve essere in grado di individuare esattamente dove è presente il guasto.

Il display fornisce diverse schermate a seconda del sistema di bordo che si vuole analizzare.

ES.

COMANDI DI VOLO: viene indicata per ogni superficie mobile se i sistemi idraulici di alimentazione funzionano (Sistemi G,Y,B) e di quanto esse sono mosse.

ELETTRICO: viene indicato lo stato di salute dei vari generatori e la loro percentuale di utilizzo, questo è molto importante in caso di malfunzionamento di uno per capire come ripartire la potenza persa.

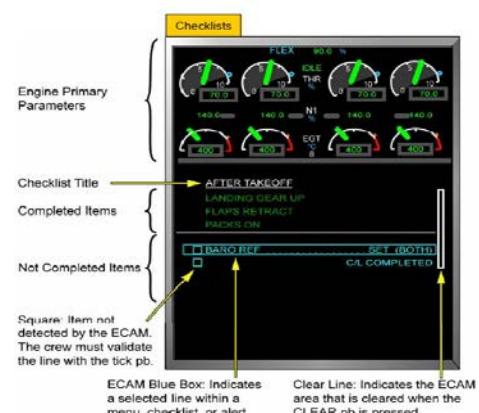


Ecam Display – Engine/Warning Display

C'è una pagina dedicata unicamente al sistema propulsivo del velivolo in cui viene data la spinta del propulsore, il numero di giri dell'albero di alta pressione e la temperatura di uscita turbina, queste informazioni permettono di avere indicazioni sullo stato di salute del propulsore.

Se qualche valore è fuori scala viene indicato con il colore rosso.

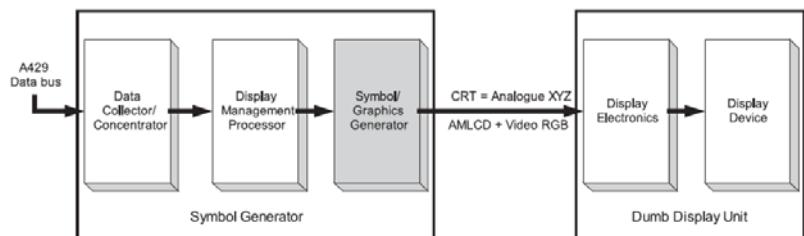
Nella parte bassa dei display ECAM si può anche visualizzare lo stato di salute del sistema considerato e come esso sta funzionando



Dumb Display

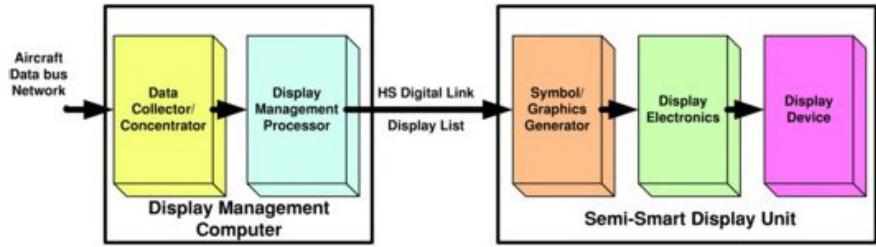
In questo caso si integrano le funzioni di Data Collector e di Scheda Grafica in un'unica unità che sarà collegata all'unità Display che comprende solo il display e l'elettronica con un cavo RGB. Questa è un'evoluzione rispetto al caso precedente perché c'è più integrazione ma c'è il problema che il cavo RGB pesa molto e non è ridondato.

Questa architettura inoltre non permette di avere alcun tipo di ridondanza nel sistema display.



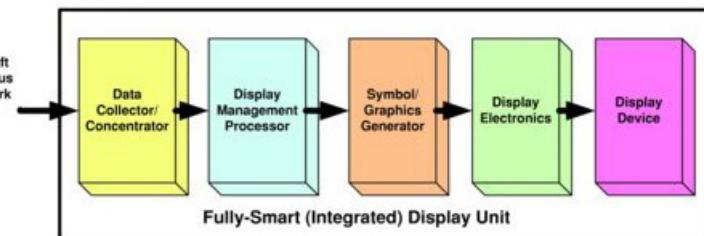
A330-A340 Semismart Display

In questo caso le funzioni di Data Collector e di Display Management sono integrate in un'unica unità e il display vero e proprio comprende al suo interno anche la Scheda Grafica. Questo fa sì che si possa usare come collegamento un Data Link di tipo seriale e siccome ogni display avrà la sua scheda grafica se uno si dovesse spegnere il Display Management può mandare le stesse informazioni ad altri display in modo che le visualizzino loro. Diventa quindi molto più semplice fare delle ridondanze.



Fully Smart Display

In questo caso tutte le funzionalità sono integrate in un'unica unità che è il display stesso quindi su un qualsiasi display si possono visualizzare qualsiasi pagina. Inoltre ogni singolo display è in grado di visualizzare più cose contemporaneamente con una visione sintetica di due pagine differenti.



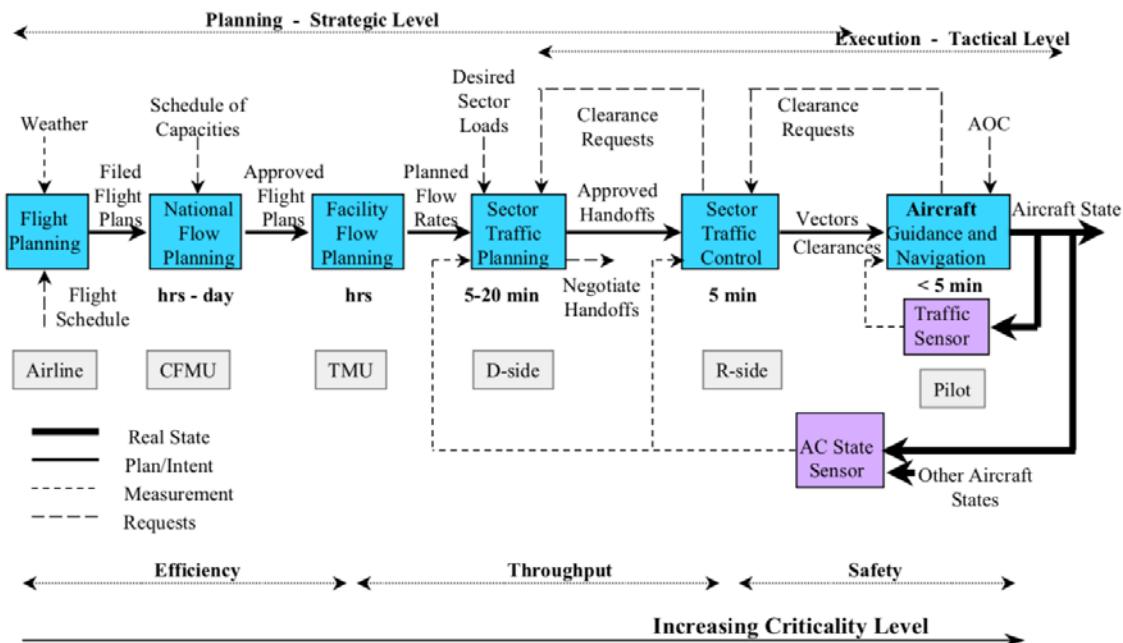
ES. Si spegne il ND, sul Primary Display si può visualizzare in parte il ND e in un'altra parte le informazioni del Primary Display.

In genere poi in presenza di guasto esso si riconfigura automaticamente unicamente schiacciando un pulsante.

Current ATM functional structure

Per rendere il traffico adeguatamente separato e il volo sicuro si utilizzano processi diversi che sono indicati in figura:

- Flight Planning: è fatto a livello velivolo
 - National Flow Planning: è una pianificazione del traffico su scala nazionale
 - Facility Flow Planning: è una pianificazione del traffico in area aeroportuale
 - Sector Traffic Planning
 - Aircraft Guidance e Navigation: a lui sono date le funzionalità di controllo del velivolo in funzione delle informazioni di navigazione



Notiamo che le parti a destra della figura sono parti di Pianificazione per cui il tempo per svolgere quelle funzioni è elevato, man mano che vado a destra poi il tempo per eseguire la data funzione si abbassa e si passa dalla Pianificazione all'Esecuzione vera e propria.

Notiamo che in grigio sono indicati i vari agenti che sono i principali attori della funzione.

Avremo quindi:

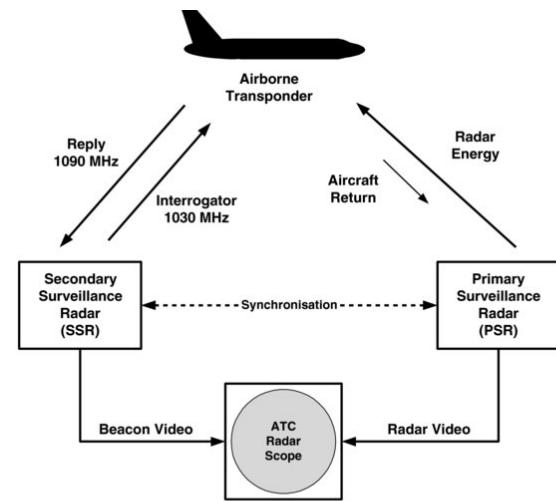
- Flight Planning: è svolto dalle compagnie aeree (**Airline**)
 - Sector Traffic Planning: è legato all'R-side ovvero al Radar che è la tecnologia a terra che permette l'esecuzione di questa funzione
 - Sector Traffic Control: è legato al D-side ovvero al Data Computer che permette di gestire i dati.
 - Aircraft: è legato al pilota

Abbiamo detto che questi processi sono molto importanti per svolgere la funzione di separazione che è una funzione di primaria importanza e per questo motivo è svolta da un team apposito ovvero il Sector Controller Team. Questi svolgono la loro funzione servendosi di tecnologie radar ma attualmente sul velivolo abbiamo anche il TCAS (Collision Avoidance System) che però è un sistema di Backup che viene usato quando abbiamo delle failure del sistema di terra.

Si sta cercando una tecnologia che permetta di dare sempre più autorità al velivolo riguardo la separazione ma questa tecnologia vedremo non essere il TCAS per limiti tecnici.

Abbiamo:

- **Radar Primario** che funziona come un normale radar quindi emette un'onda elettromagnetica di frequenza di GHz, il radar misura il tempo che intercorre tra la trasmissione e la ricezione dell'eco e l'energia dell'onda che ritorna e grazie a questo riesce ad ottenere **il Range ovvero la distanza e il Bearing ovvero l'angolo sotto il quale si trova il velivolo**. Il Bearing riesce a misurarlo perché ruotando e avendo un lobo di irradiazione molto stretto quando incontra un oggetto esso si troverà ad un determinato angolo di rotazione.
- **Radar Secondario** che invia un'interrogazione tramite pochi impulsi alla frequenza di 1030 MHz e riceve una risposta con un treno di impulsi alla frequenza di 1090 MHz, nella risposta c'è un'informazione che dipende dal tipo di trasponder è montato sul velivolo.



Notiamo che il Radar Primario riceverà in risposta un segnale molto più attenuato perché è un segnale riflesso che si disperderà nell'atmosfera.

I trasponder che i velivoli possono montare sono di più tipologie:

- **Mode A**: è il primo trasponder ad essere stato utilizzato, da come indicazioni solo l'identificativo ICAO del velivolo ma non da nessuna informazione rispetto al suo vettore di stato, che contiene normalmente velocità e posizione. La sua posizione si ottiene da terra grazie al radar primario.
- **Mode C**: è un'evoluzione del Mode A e come indicazioni fornisce l'identificativo e la quota, da terra con il radar primario saranno calcolati l'angolo di Bearing e il Range così si riesce a ricostruire la posizione nello spazio 3D.
- **Mode S**: è il trasponder di ultima generazione che fornisce direttamente il vettore di stato del velivolo in quell'istante mi dice quindi la posizione e la velocità del velivolo.

A seconda del tipo di trasponder che viene usato poi sono passate informazioni diverse al trasponder quindi per esempio per un trasponder Mode S servono le informazioni di quota che possono essere date tramite un'altimetro.

Abbiamo detto che i due radar devono essere **sincronizzati e collocati**, questo è importante perché il Radar Primario, misurando solo il segnale riflesso, non è in grado di distinguere tra un qualsiasi oggetto che si può trovare in aria e un velivolo. Il Radar Secondario invece conosce quantomeno l'identificativo ICAO del punto che vede. Se essi sono collocati e sincronizzati allora vedono sempre la stessa porzione di cielo e il radar secondario può associare o meno ad ogni oggetto visto dal radar primario un identificativo ICAO.

Se non lo associa vuol dire che quell'oggetto visto non è un velivolo e quindi sarà cancellato dallo schermo.

