



# I NUOVI IMPIANTI E SISTEMI DI BORDO, MECCATRONICA E SISTEMI DI MISSIONE E CONTROLLO

## EVOLUZIONE SISTEMI DI CONTROLLO AMBIENTALE



III Ciclo - 3° Incontro - Napoli, 22 Ottobre 2016

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base  
Piazzale V. Tecchio 80, 80125 Napoli

## **Sergio Barbarito – Socio Aeropolis**

- **Laurea in Ingegneria Meccanica Politecnico di Napoli; in Alenia Aermacchi dal 1981 al 2012.**
- **Topics di carriera: Chief Program Engineer velivoli missioni speciali, Responsabile Ingegneria Sistemi Generali velivoli civili e militari.**
- **Programmi: C27J, ATR42/72, R92/122, Anfibio, Supersonico, AirJet Family, Airbus, Boeing, SSJ100, NTP.**
- **Programmi di ricerca: Innovazione e Supercomputing.**

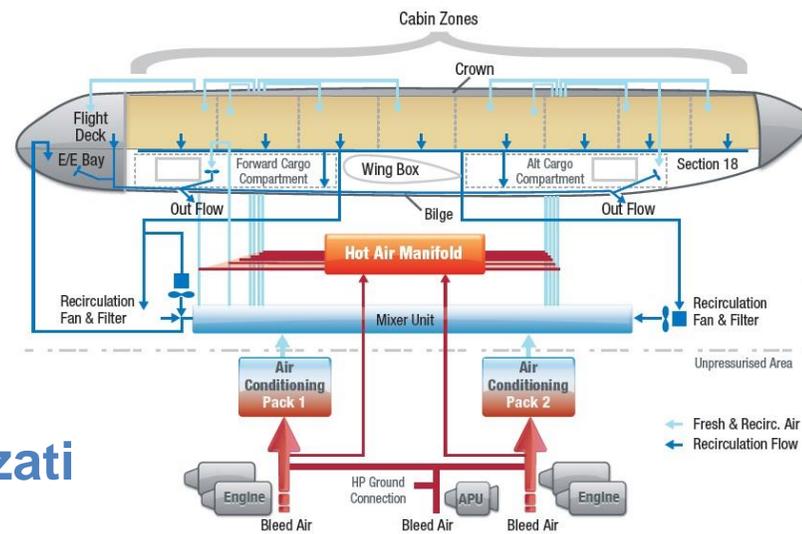
## INDICE ARGOMENTI

- **FISIOLOGIA DEL CORPO UMANO**
- **ATTIVITA' INTEGRATORE VELIVOLISTA E FORNITORE SISTEMA**
- **REQUISITI PROGETTAZIONE/CERTIFICAZIONE**
- **TIPOLOGIA IMPIANTI**
- **ECS & MEA**
- **PROBLEMI ECS/CPCS COMUNI IN UN PROGRAMMA VELIVOLISTICO**
- **VARIE**

# EVOLUZIONE SISTEMI DI CONTROLLO AMBIENTALE

Il termine Sistema di Controllo Ambientale è riferito, in senso ampio, ad una serie di Sistemi utilizzati per :

- Fornire aria al pacco di condizionamento
- Rilevare perdite di aria calda
- Condizionare l'aria
- Raffreddare gli apparati elettrici/avionici
- Rilevare condizioni di fumo
- Impedire la propagazione di incendi
- Controllare termicamente i vani pressurizzati
- Pressurizzare i vani abitati ed i bagagliai
- Fornire ossigeno in caso di incendio o perdita di pressione



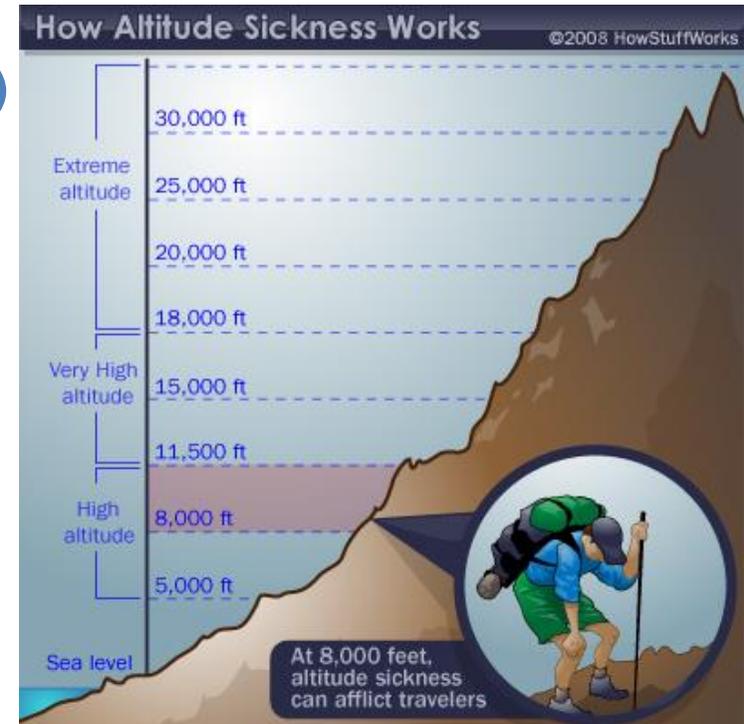
Ultimamente si tende ad includere anche i sistemi pneumatici di protezione dal ghiaccio

DI SEGUITO VERRANNO FOCALIZZATI SOLO I SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO AMBIENTALE E DI PRESSURIZZAZIONE

# FISIOLOGIA DEL CORPO UMANO

## LE CONDIZIONI AMBIENTALI ALLE COMUNI QUOTE DI VOLO (25 - 40 KFT) NON SONO COMPATIBILI CON IL CORPO UMANO :

- temperatura : -35 °C / -56 °C
- pressione : 5,46 / 2,73 Psia (rif. S.L. 14,7 Psia)
- umidità molto bassa (< 5%)
- rarefazione dell'aria e quindi dell'ossigeno (invariata la % tra ossigeno e azoto, ma con pressione ridotta, per cui meno ossigeno è introdotto e assorbito dal sangue )
- presenza di ozono (procura dolore al petto, tosse, mancanza di respiro, affaticamento, mal di testa, congestione nasale e irritazione agli occhi).



## ANCHE AL SUOLO SI POSSONO TROVARE CONDIZIONI ESTREME :

- Temperatura :(-30 / +50 °C)
- Umidità relativa : fino al 100 %

# FISIOLOGIA DEL CORPO UMANO

## CONDIZIONE DI COMFORT PER IL PASSEGGERO:

- circa 6/7 litri/minuto di aria (@14,7 psia ) (x3 per ogni membro dell'equipaggio)
- smaltimento dell'anidride carbonica prodotta dalla respirazione
- umidità relativa intorno al 50 %
- stabilità della temperatura (evitando sbalzi e gradienti) tra 20 e 24 °C (fino a 27°C in giorni caldi)
- pressione minima di cabina non inferiore a 8000 Ft equivalenti (per permettere la saturazione dell'ossigeno nel sangue)
- variazioni di pressione tra -300 e +500 ft/min equivalenti
- purezza dell'aria da batteri e contaminanti quali polveri o oli
- assenza di ozono (consentito 0,1 ppm in volume)



# IMPORTANZA DELLA PRESSURIZZAZIONE

## PERCHÉ BISOGNA VOLARE PRESSURIZZATI? PERCHÉ NON SI VOLA A QUOTE BASSE?

Si può certamente volare al di sotto di 8.000 Ft, dove la pressione atmosferica è più confortevole, ma ciò procura alcuni svantaggi:

- E 'difficile attraversare una catena montuosa .
- La maggior parte del maltempo è a bassa quota.
- I motori turbofan sono molto inefficienti a bassa quota.
- La velocità di un aereo è inferiore a quote più basse.



**SE SI DESIDERA UN AEREO VELOCE, EFFICIENTE E CHE POSSA  
VOLARE SOPRA UNA CATENA MONTUOSA, ABBIAMO BISOGNO  
DI PRESSURIZZARE!**

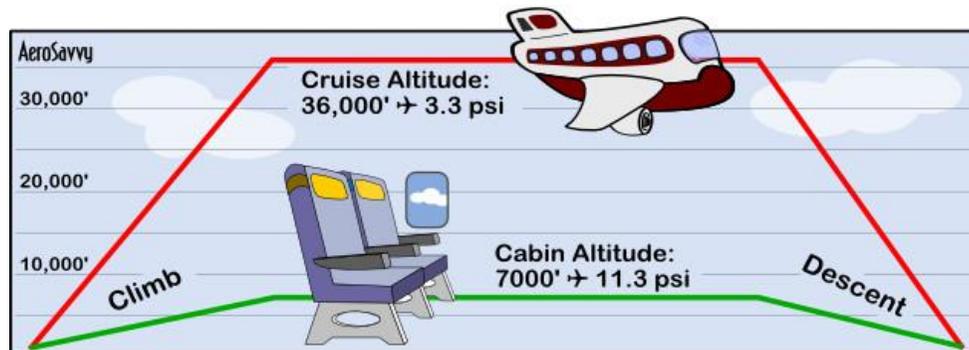
# IMPORTANZA DELLA PRESSURIZZAZIONE

**PERCHÉ NON MANTENERE LA CABINA A 14,7 PSI PER SIMULARE LA PRESSIONE A LIVELLO DEL MARE E MASSIMIZZARE IL COMFORT?**

Il velivolo deve essere progettato per resistere alla pressione differenziale, tra la pressione dell'aria all'interno e all'esterno .

Maggiore è la pressione differenziale, più robusto (e più pesante e meno efficiente) deve essere costruito il velivolo.

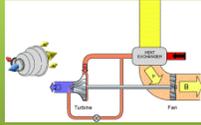
Le attuali tecnologie in composito (v. 787 Dreamliner) permettono però di utilizzare pressioni differenziali più alte , con maggior comfort di cabina.



***SE SI DESIDERA UN AEREO EFFICIENTE E CON UNA STRUTTURA ADEGUATA, ABBIAMO BISOGNO DI PRESSURIZZARE !***

# ATTIVITA' INTEGRATORE VELIVOLISTA E FORNITORE SISTEMA

## FORNITORE



**Sviluppare i componenti considerando requisiti:**

- interni (budget, analisi di mercato, concorrenza, ecc.)
- provenienti dai costruttori di velivoli
- di certificazione/qualificazione (a livello sistema e componenti)

Il sistema viene fornito con parti sciolte, anche se l'attuale tendenza è quella di "pallettizzarlo" il più possibile, per facilitarne l'installazione

Prototipi di nuova concezione sono di solito sviluppati in ambito ricerca con la partecipazione di vari Enti (Costruttori, Università, ecc.)

Fondamentale è la modularità interna del sistema per permettere l'applicazione su velivoli diversi (per es. il sizing degli scambiatori di calore) e su famiglie di velivoli.

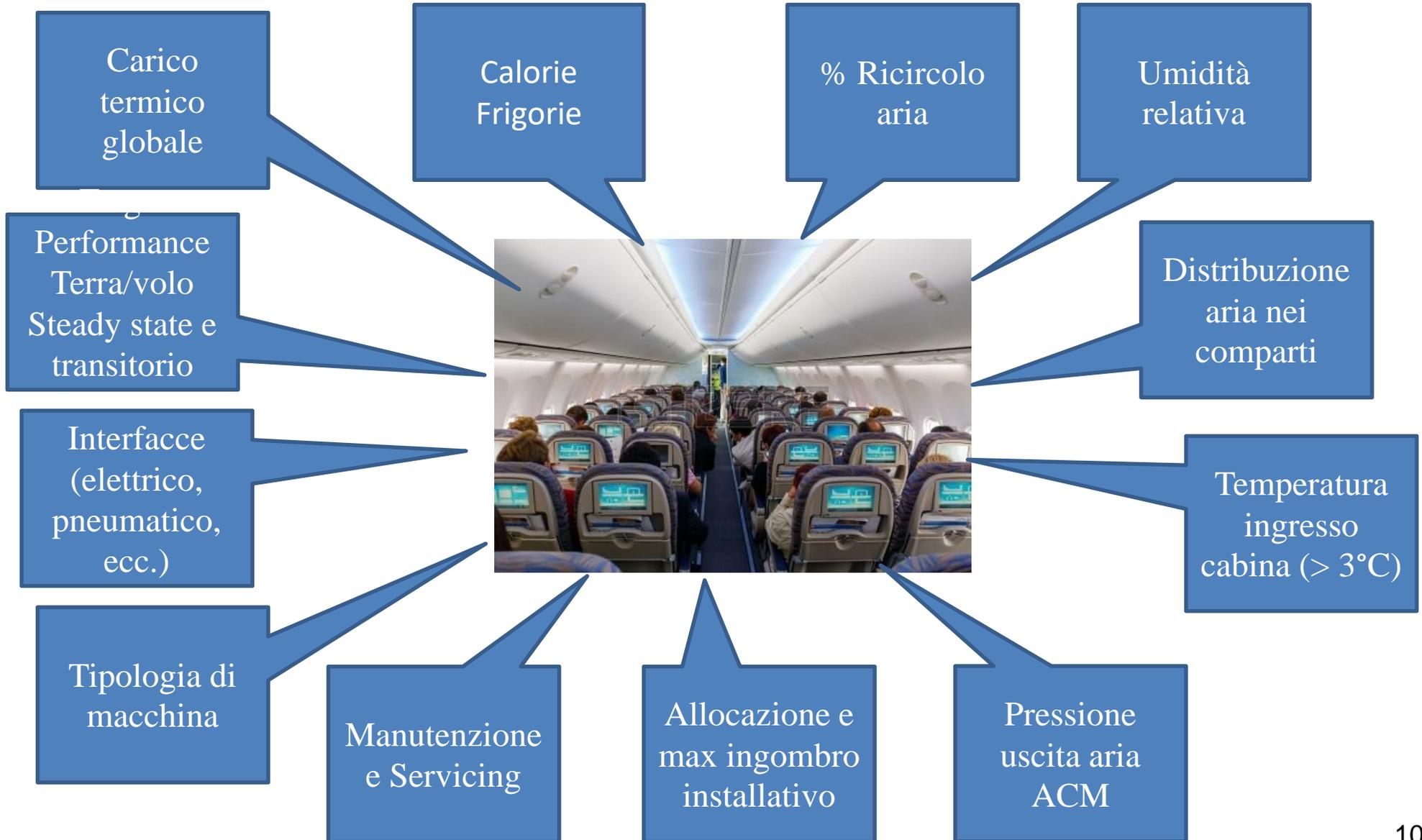
## INTEGRATORE



- Fornire al costruttore i requisiti per il proprio velivolo, interagendo per la messa a punto del sistema
- Integrare il sistema sul proprio velivolo considerando requisiti:
  - provenienti dalle compagnie aeree
  - particolari di clienti (jet privati, materiali non standard, extra funzionalità, ecc.)
  - militari
  - di certificazione/qualificazione (a livello velivolo)
  - di mercato (nel caso di nuovi sviluppi)
  - interni provenienti da altri settori aziendali
  - di programma (budget, tempi, manutenzione, durata, intercambiabilità, capacità di crescita, , ecc.)

# REQUISITI SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO

## PROGETTAZIONE



# REQUISITI SISTEMA DI CONDIZIONAMENTO

## CERTIFICAZIONE

Contaminanti  
(ozono, oli,  
ecc.)

Controlli, comandi  
e warning



Azioni e ridondanze  
conseguenti condizioni di  
guasto (ram air, limite  
operativo, ecc.)

Portata d'aria "fresca" da  
introdurre in cabina (10 CFM  
per pax + 30 CFM per crew in  
volo)

# REQUISITI SISTEMA DI PRESSURIZZAZIONE

## PROGETTAZIONE

Foro  
equivalente  
del velivolo

Schedule di  
volo  
(climb, cruise,  
descent)

Interfacce  
(elettrico,  
pneumatico,  
ecc)

Manutenzione  
e Servicing

Max pressione  
differenziale



Pressione e  
Portata aria  
disponibile

Tipologia di  
sistema

Allocazione e  
max ingombro  
installativo

# REQUISITI SISTEMA DI PRESURIZZAZIONE

## CERTIFICAZIONE

Max ratei di pressurizzazione in climb e descent (+500/-300 Ft/min)

Controlli, comandi e warning



Azioni e ridondanze conseguenti condizioni di guasto (ram air, limite operativo, ecc.)

Max quota cabina (<8,000 Ft )

# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## VELIVOLI COMMERCIALI PER AVIAZIONE GENERALE

### CONDIZIONATORE PORTATILE

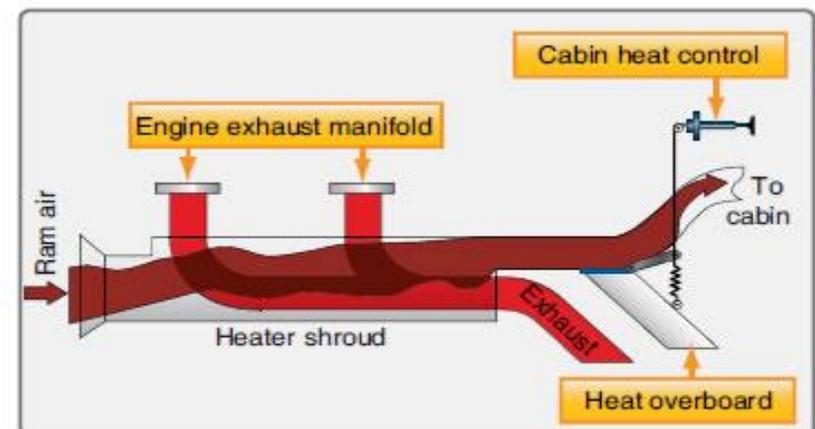
Molto economico, utilizzato su piccoli velivoli monoposto/biposto non pressurizzati

Raffredda l'aria mediante uno scambiatore caricato con ghiaccio e la soffia in cabina



### RISCALDAMENTO CON GAS DI SCARICO (EXHAUST HEATING SYSTEM)

E' il sistema più semplice di tutti ed utilizza degli scambiatori di calore tra aria esterna presa in dinamica che attraversa un condotto anulare coassiale agli scarichi di un motore a pistoncini (in genere). Il sistema è utilizzato nei piccoli velivoli di aviazione generale.



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

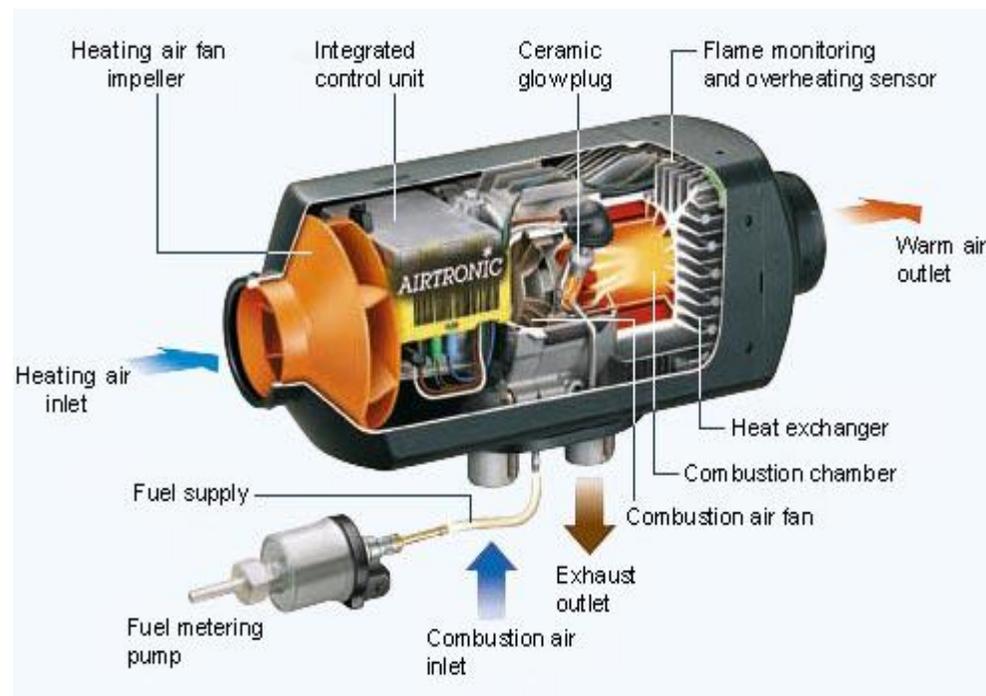
## VELIVOLI COMMERCIALI PER AVIAZIONE GENERALE

### RISCALDAMENTO CON BRUCIATORI

L'aria in dinamica attraversa uno scambiatore aria/gas nel quale il calore viene ceduto da un secondo flusso di aria presa in dinamica nel quale viene iniettato del combustibile che bruciando riscalda l'aria da mandare in cabina.

Il sistema risulta più potente e rapido nel rispondere alle esigenze di comfort e semplice al tempo stesso.

Viene usato su velivoli, sempre di dimensioni contenute, ma in ogni caso più impegnativi come carico termico.



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## VELIVOLI COMMERCIALI PER AVIAZIONE GENERALE

### RISCALDAMENTO ELETTRICO

Usato a volte quando il velivolo è a terra ed i motori sono spenti.

In genere l'aria prelevata dalla cabina stessa viene riscaldata facendola passare attraverso delle resistenze elettriche calde e poi ricircolata in cabina.

Questo metodo viene usato su velivoli di piccole dimensioni con propulsione turboelica.

Riscaldatori di maggior potenza sono a volte utilizzati sui velivoli di maggior dimensione per risolvere problematiche di riscaldamento locali, non risolvibili col sistema centralizzato



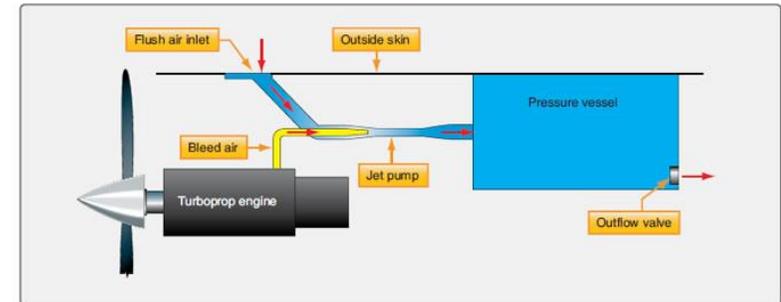
# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## VELIVOLI COMMERCIALI PER AVIAZIONE GENERALE

### RISCALDAMENTO CON ARIA PRELEVATA DAL COMPRESSORE DEL TURBO PROPULSORE

L'aria prelevata mediante apposite valvole da una zona calda del compressore e viene inviata in una camera di miscelazione con altra aria fredda e/o ricircolata dalla cabina stessa e miscelata in proporzioni tali da adattarsi alle necessità specifiche della zona.

Se disponibili sistemi di regolazione computerizzati si ottiene una grande rispondenza al variare delle situazioni operative ed ambientali. Il suo punto critico sta nel fatto che sottrae potenza ai propulsori e quindi deve disporre di una serie di protezioni: evitare temperature troppo alte in cabina in caso di guasto del sistema di miscelazione, essere disattivato al momento dell'avviamento dei motori ed al decollo ed essere escluso in caso di avaria di uno dei propulsori.



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## TRASPORTO PASSEGGERI DI MEDIA E GRANDE CAPACITÀ

### UN PO' DI STORIA

#### **Ford 5AT**

1928, 13-17 passeggeri

Senza aria condizionata, aprire un finestrino era l'unico modo per ricambiare l'aria interna



#### **Boeing 80**

1920, 12 passeggeri

Più confortevole, dotato di un impianto di ventilazione forzata



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## TRASPORTO PASSEGGERI DI MEDIA E GRANDE CAPACITÀ

### UN PO' DI STORIA

#### **Boeing Stratocruiser**

1947, 114 passeggeri

Utilizzava compressori d'aria elettrici per pompare l'aria esterna fresca in cabina.



#### **Boeing 707**

1958, 189 passeggeri

Utilizzava aria spillata dai motori per alimentare turbocompressori che pompavano aria esterna fresca in cabina



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## TRASPORTO PASSEGGERI DI MEDIA E GRANDE CAPACITÀ

### UN PO' DI STORIA

#### **MD88**

1979, 172 passeggeri

La maggior parte degli aerei di linea moderni usano aria spillata dal compressore dei motori che, molto calda, deve essere raffreddata (air cycle) ad una temperatura confortevole prima di essere inviata nella cabina.

Il raffreddamento utilizza ram air esterna e ventilazione forzata.



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – UN PO' DI STORIA

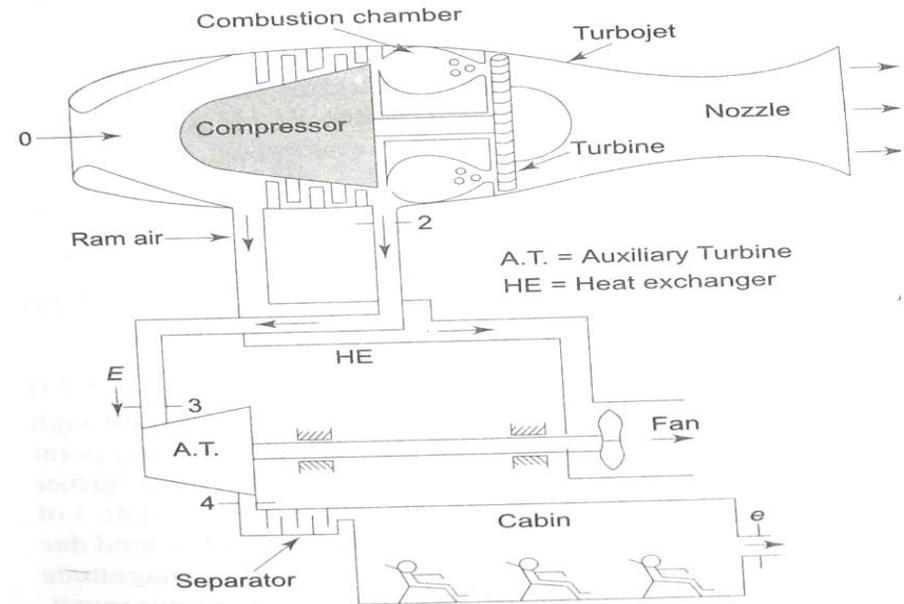
### Sistema basico - 1942

Basse velocità di crociera

$0,2 < M < 0,65$

Viene introdotta la turbina di espansione per raffreddare l'aria.

Prima dell'ingresso in cabina un separatore provvede ad eliminare eventuali impurità ed acqua liquida





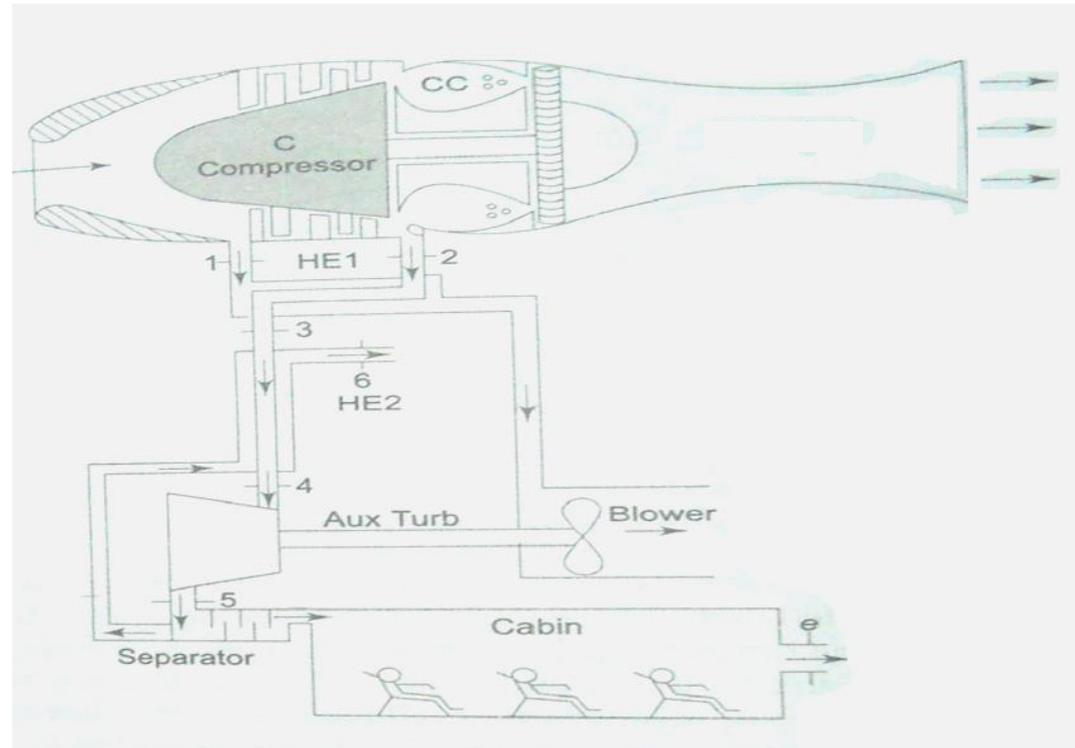
# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – UN PO' DI STORIA

**Con rigenerazione 1975-1992**  
**Velocità elevate  $0.9 < M < 1.2$**

Parte dell'aria all'uscita della turbina è utilizzata per alimentare lo scambiatore di calore prima dell'ingresso in turbina, diminuendo ulteriormente la temperatura. Notare l'assenza del compressore, dato l'elevato rapporto di compressione motore.

***Utilizzato in applicazioni militari***



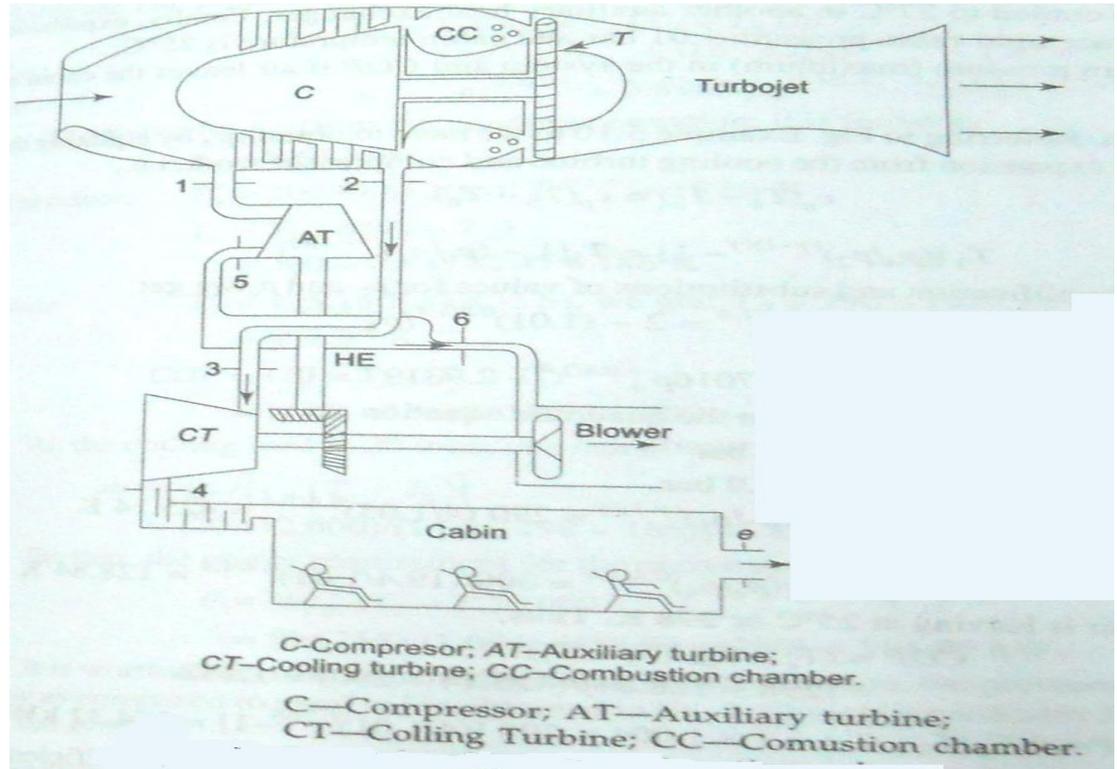
# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – UN PO' DI STORIA

**Con doppia turbina dal 1990  
Velocità elevate  $M > 1.2$**

**Lo scambiatore primario è alimentato dalla turbina collegata alla ram air, questa a sua volta è collegata meccanicamente alla seconda turbina, incrementando così l'effetto di espansione e la riduzione delle temperature.**

***Utilizzato in applicazioni militari***

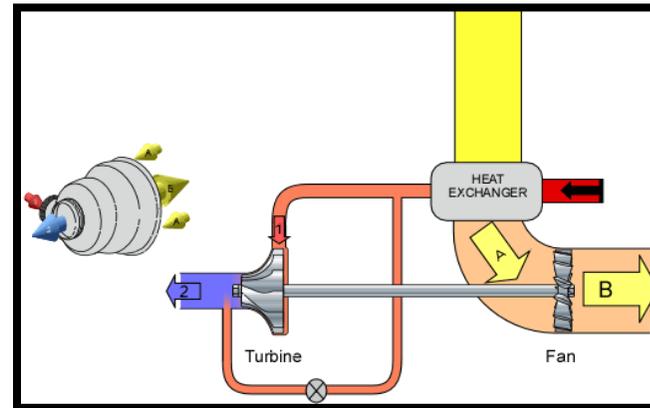


# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – SISTEMI ATTUALI

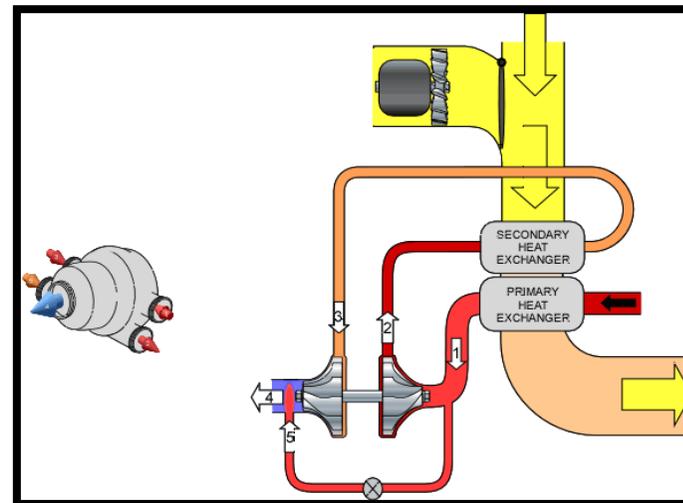
### Simple Cycle

Ventilatore di estrazione  
collegato alla turbina



### Two Wheel Bootstrap

Turbina e compressore sullo  
stesso asse



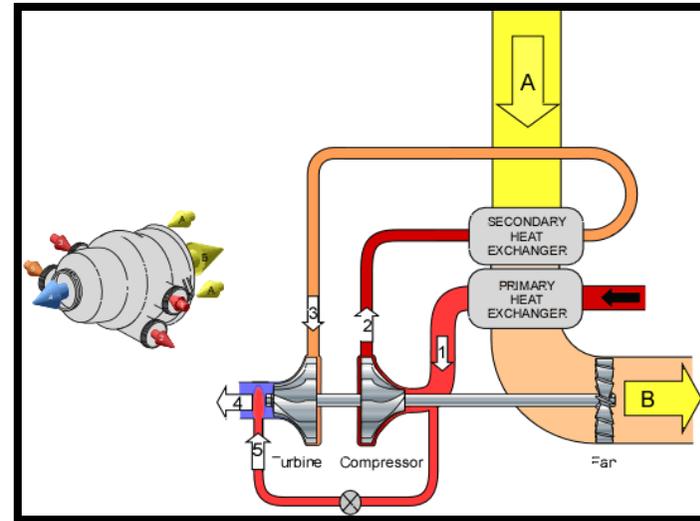
# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – SISTEMI ATTUALI

### Three Wheel Bootstrap

Turbina, Compressore e

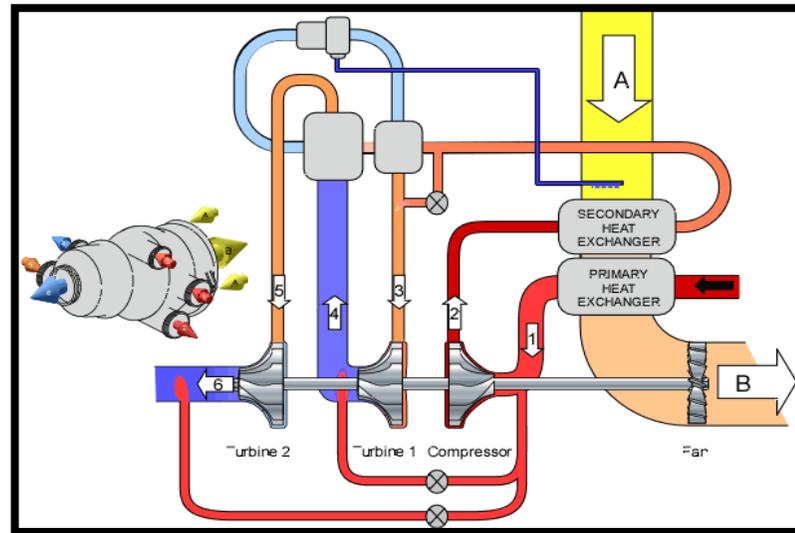
Ventilatore sullo stesso asse



### Four Wheel Bootstrap

2 Turbine, Compressore

e Ventilatore sullo stesso asse



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## AIR CYCLE MACHINE – SISTEMI «BLEEDLESS»

**Il nuovo Boeing 787 Dreamliner riutilizza il compressore elettrico proprio come sul vecchio Stratocruiser.**

**I progressi della tecnologia rendono questo sistema di gran lunga più efficiente del suo predecessore del 1950.**

**I compressori a velocità variabile prelevano l'aria esterna in ramming e la inviano ad un sistema air-cycle, modulando per ogni condizione la giusta quantità d'aria.**



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## SISTEMI «BLEEDLESS» e MEA

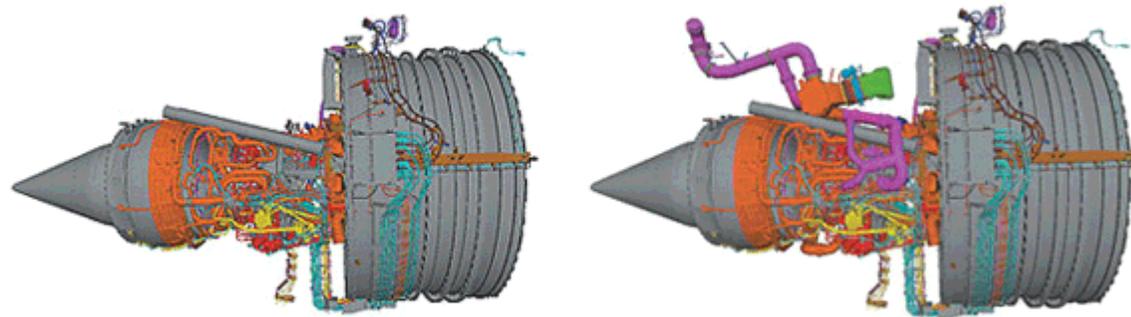
Uno dei punti di forza del progetto MEA (More Electric Aircraft) sono i sistemi Bleedless.

Tra i vantaggi di tale applicazione troviamo :

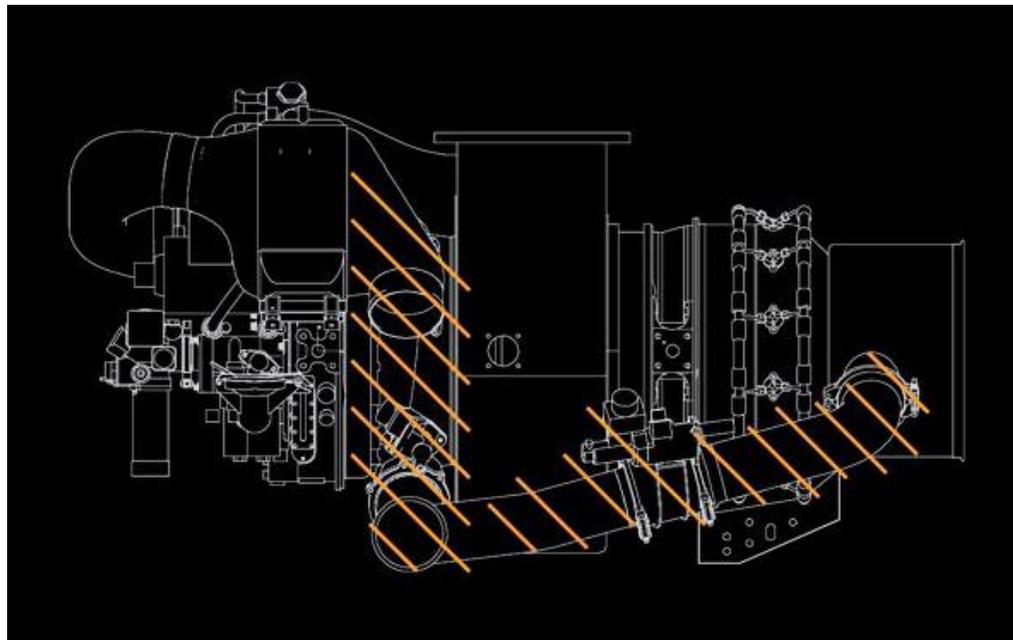
- Riduzione del consumo carburante(3%), dovuto ad un più efficiente utilizzo dell'estrazione di potenza secondaria e del relativo trasferimento ed utilizzo.
- Costi di manutenzione ridotti, dovuti all'eliminazione del sistema di spillamento aria dai motori.
- Affidabilità migliorata dovuta all'uso di una moderna elettronica di potenza e ad un numero ridotto di componenti nell'installazione del motore.
- Incremento del range velivolo dovuto al minor consumo di carburante e al peso ridotto.
- Riduzione dei costi di manutenzione e incremento dell'affidabilità dovuto ad architetture semplificate, con minor componenti rispetto ai sistemi tradizionali.

# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## SISTEMI «BLEEDLESS» e MEA



Esempi di  
riduzione peso e  
semplificazione



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

---

## SISTEMI IBRIDI

**Sono sistemi che si pongono tra i convenzionali ed i bleedless**

**Costituito da un sistema air-cycle convenzionale abbinato ad un sistema vapour cycle.**

**Il vapour cycle è dedicato al raffreddamento di grosse utenze elettriche (tipico il radar in campo militare).**

**Attualmente sono allo studio versioni abbinatae per applicazioni civili**

# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## PROBLEMI ECS/CPCS COMUNI IN UN PROGRAMMA VELIVOLISTICO

Generalmente le problematiche sono comuni, ma vengono comunque amplificate dalla dimensione del velivolo.

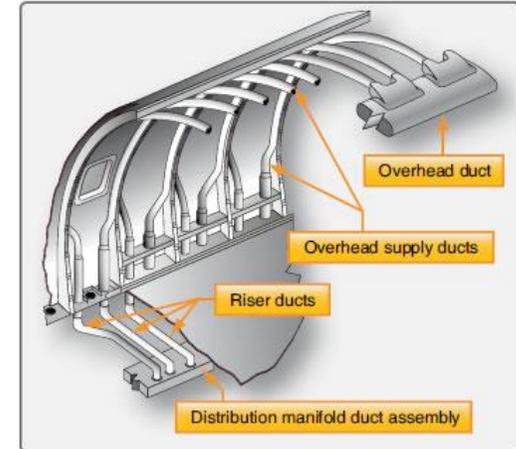
- **Allocazione dei pacchi di condizionamento in zona non pressurizzata**
  - Nei sistemi con bleed si preferisce il fairing ala-fusoliera, che comporta però penalizzazioni per il sistema ram air di raffreddamento
- **Sistema di ricircolo aria**
  - Posizione dei ventilatori e delle canaline di aspirazione per evitare la stratificazione dell'aria in cabina
- **Canaline di distribuzione aria in cabina**
  - Soggette a problemi di rumore per alte velocità del flusso aria



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## PROBLEMI ECS/CPCS COMUNI IN UN PROGRAMMA VELIVOLISTICO

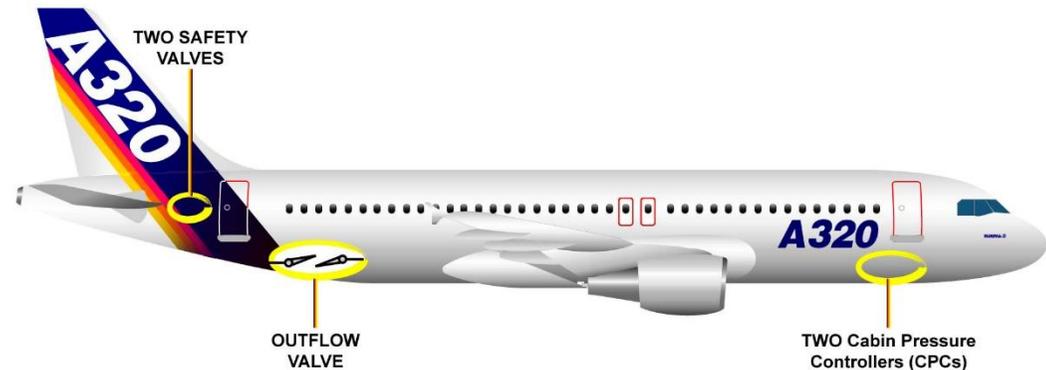
- **Bilanciamento dei vari rami di distribuzione aria**
- **Perdite di carico**
- **Raffreddamento apparati elettrici/avionici**
  - **Eccessiva potenza elettrica da dissipare nei rack dedicati crea zone «calde» che necessitano di grosse portate d'aria**
  - **Ogni pianetto dei rack deve essere bilanciato correttamente per evitare sovratemperature che potrebbero danneggiare gli apparati**
- **Riscaldamento localizzato**
  - **Alcune zone non facilmente raggiungibili dai flussi d'aria possono necessitare di riscaldamento dedicato**



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## PROBLEMI ECS/CPCS COMUNI IN UN PROGRAMMA VELIVOLISTICO

- **Problemi della turbina di espansione del pacco di condizionamento**
  - Ghiacciamento, specialmente in condizioni di alta umidità
  - Rottura dei cuscinetti, causa unbalance (Rpm 60K-90K)
- **Posizione valvole di pressurizzazione**
  - **Determinante per la gestione dei flussi d'aria interni alla cabina**



# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

---

## PROBLEMI ECS/CPCS COMUNI IN UN PROGRAMMA VELIVOLISTICO

- **Foro equivalente velivolo**
  - Stimabile in fase di progetto. La non corrispondenza reale può inficiare tutto il sistema di pressurizzazione e di conseguenza quello per l'aria condizionata.
  - Tutte le aperture velivolo in zona pressurizzata vanno valutate e «curate» in maniera adeguata.

# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## PERCHÈ FA FREDDO IN AEREO? COSA FARE PER VIAGGIARE MEGLIO

Fa freddo in aereo, soprattutto nei voli intercontinentali, in particolare con le compagnie Americane e quelle del Medio Oriente .

Ogni volta ci lamentiamo e non sappiamo perché in aereo fa freddo!

Anche se e chiediamo all'assistente di volo di aumentare la temperatura, non succede nulla.

Gli assistenti di volo non possono controllare la temperatura, solo i piloti dalla cabina, ma non è possibile chiedere al comandante di modificare la temperatura, i piloti sono obbligati a mantenere la temperatura così bassa.

La risposta alla domanda perché fa freddo in aereo è semplice.

***Per abbattere il rischio di batteri in cabina!***



# **TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO**

---

## **PERCHÈ FA FREDDO IN AEREO? COSA FARE PER VIAGGIARE MEGLIO**

**E' un luogo piccolo con una grande quantità di persone di provenienze diversa. Ognuno è portatore di batteri che viaggiano nell'aria.**

**Gli assistenti di volo sopportano bene il freddo. La divisa li protegge, inoltre sono sempre in movimento e sono abituati all'ambiente.**

**La temperatura fissata è di circa 20°C. Se fa troppo caldo le persone non riescono a dormire e si sentirebbero un po' nauseate. E' più facile mettersi addosso una coperta piuttosto che cercare di raffreddarsi dal troppo caldo.**

# TIPOLOGIA SISTEMI DI CONDIZIONAMENTO

## DOVE SEDERSI PER EVITARE IL RAFFREDDORE

Nei velivoli con un solo corridoio i posti finestrino, seguiti da quelli al centro, mentre quelli più freddi sono quelli che danno sul corridoio.

Sui velivoli a due corridoi (detti "wide-body" ) impiegati soprattutto sui voli a lungo raggio, la situazione varia da modello a modello. Sugli Airbus A330 e A340 i sedili più esposti all'aria sono quelli al centro della cabina, tra i due corridoi.

Passando ai Boeing, sui 767 l'aria "spara" invece verso i lati esterni della cabina, per cui i sedili dove fa meno freddo sono quelli al centro della cabina, tra i due corridoi.

Discorso inverso sui modelli più recenti, 777 e 787: si sta più al caldo lateralmente, più vicino ai finestrini, e più al freddo in mezzo, nelle file poste al centro della cabina, tra i due corridoi. L'unico jet widebody a lungo raggio dove non ci sono posti più esposti di altri all'aria condizionata, è il Boeing 747-400: l'aria defluisce in modo da non investire direttamente determinate file di sedili e la temperatura a bordo è omogenea ovunque.

In caso di cabine divise in più parti lungo la lunghezza dell'aereo, fa mediamente più freddo in quelle poste nella parte posteriore del velivolo.



# I NUOVI IMPIANTI E SISTEMI DI BORDO, MECCATRONICA E SISTEMI DI MISSIONE E CONTROLLO



**GRAZIE PER LA  
VOSTRA ATTENZIONE**

3° Incontro - Napoli, 22 Ottobre 2016