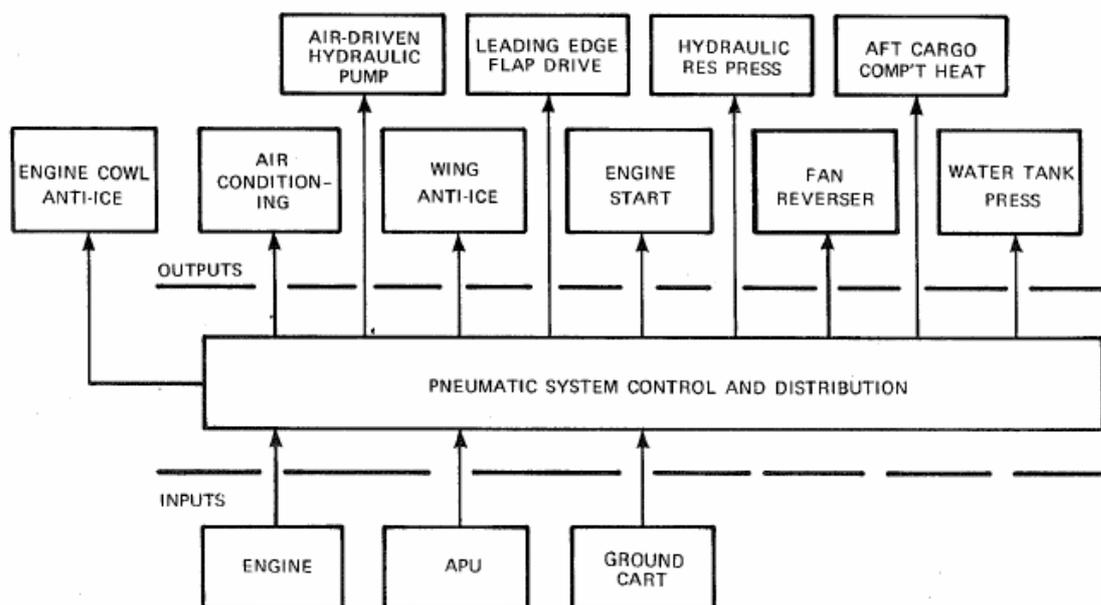


IMPIANTO PNEUMATICO

Missione dell'impianto

L'impianto pneumatico ha la funzione di fornire aria in quantità, pressione e temperatura regolate entro i limiti di progetto ad una serie di utenze del velivolo.

Lo schema allegato fornisce una indicazione a blocchi delle sorgenti pneumatiche e delle utenze fondamentali. Si tratta dello schema di principio di un B747, ma la idea di massima si può ritenere di validità generale.



Dallo schema si individuano le Sorgenti fondamentali di energia Pneumatica, il sistema di Controllo e Distribuzione, e le varie Utenze.

Nei vari tipi di velivoli si hanno a volte delle differenze costruttive per cui certe utenze prendono energia non dall'impianti pneumatico, ma in termini didattici lo schema si può considerare generale.

Altro aspetto importante e che non tutti i velivoli hanno la stessa missione e che la missione, al variare delle condizioni operative, modifica i prelievi dall'impianto pneumatico.

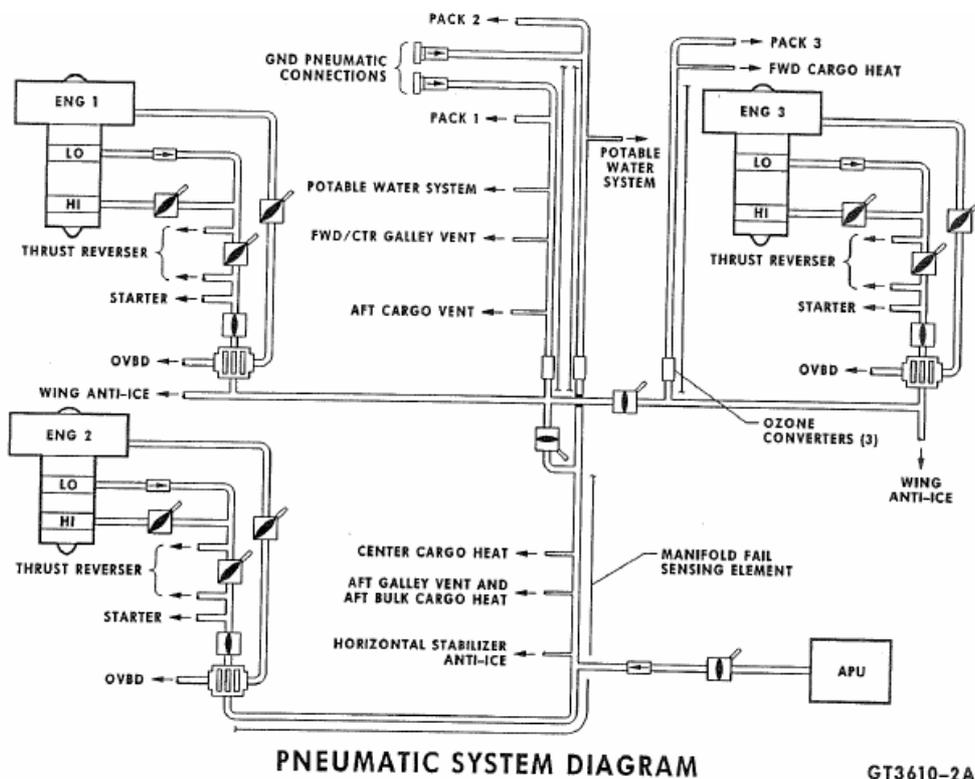
Le **combinazioni di assorbimento** che le utenze possono presentare sono molto variegata sia per le caratteristiche termodinamiche delle richieste, sia per la combinazione dei collegamenti che si possono presentare nelle varie fasi operative.

Il **sistema di regolazione** è molto importante: l'impianto deve essere dotato di un sistema di regolazione capace di riconoscere le varie condizioni di carico ed agire di conseguenza.

Il **sistema di protezione** deve prevedere varie condizioni anomale: l'impianto deve essere protetto anche da valori anomali della temperatura e pressione dell'aria per evitare danni strutturali, e per

questo appositi sensori sono in grado di attivare avvisi luminosi in cabina piloti ed anche di attivare l'esclusione automatica del prelievamento d'aria.

Nella figura che segue viene riportato uno schema dell'impianto pneumatico di un velivolo reale MD11



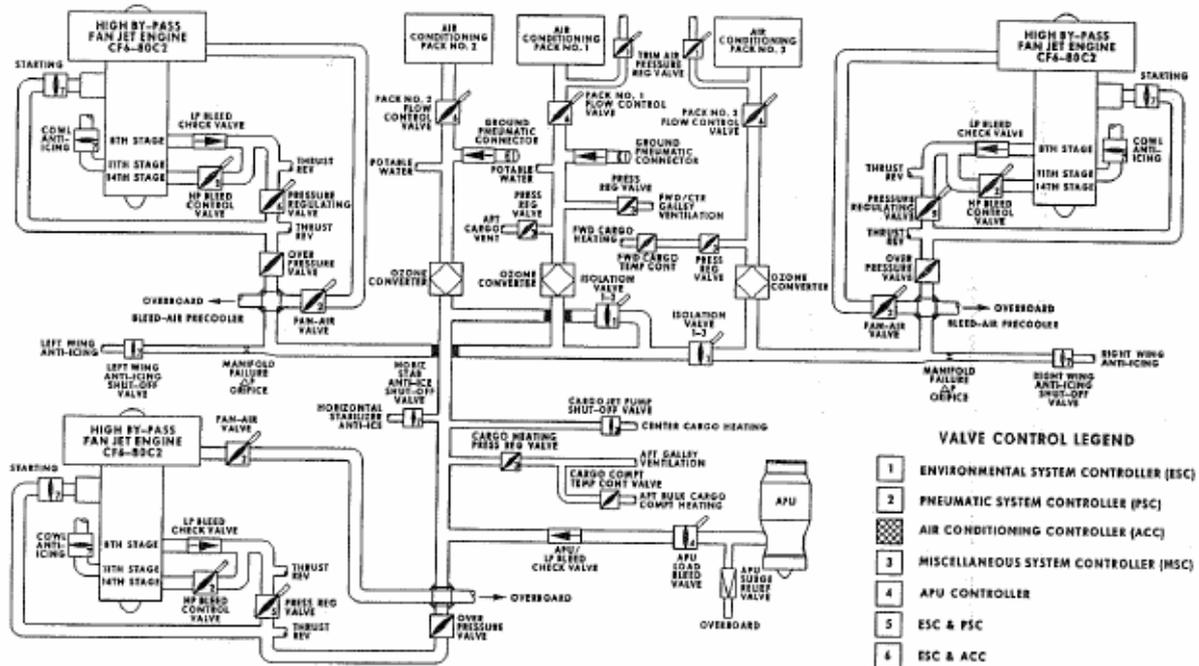
Schema di impianto Pneumatico di un velivolo Wide Body

Tipologie d'alimentazione

L'impianto deve poter essere alimentato da varie sorgenti al variare delle condizioni operative:

- **Operazioni di manutenzione:** in questa fase il velivolo è collegato ad una rete di distribuzione dell'hangar alimentata da un gruppo di compressori centralizzati.
- **Operazioni di handling:** in questa fase il velivolo può essere alimentato da una rete aeroportuale che giunge alla zona di parcheggio, e che comprende aria compressa per l'avviamento motori, oltre ad aria condizionata per la cabina ed energia elettrica per le varie utenze.
- **Operazioni di handling:** in alcuni casi è autorizzato l'uso dell'APU in grado di soddisfare tutte le esigenze del velivolo fino all'avviamento motori.
- **Operazioni di taxing, decollo e volo:** la sorgente è costituita dai motori.
- **Volo a basse quote:** in condizioni di mancanza di prelievamento aria dai motori alcuni velivoli possono usare l'APU come sorgente pneumatica.

Si riporta , per esercizio , lo stesso schema con maggiori dettagli delle utenze e dei sistemi di regolazione.



PNEUMATIC SYSTEM DIAGRAM

S3610-1C

Schema di impianto pneumatico di un velivolo A320

Esigenze di regolazione e protezione

L'aria dell'impianto pneumatico è usata come veicolo per la trasmissione a distanza di energia, e per questo l'entalpia contenuta nell'aria dell'impianto pneumatico viene assorbita dalle varie utenze per essere convertita in energia meccanica o termica.

Le varie utenze hanno logiche di collegamento indipendenti e la loro combinazione può variare l'assorbimento in modo efficace: questo comporta che l'impianto pneumatico ed il suo sistema di regolazione debbono essere capaci di riconoscere le varie situazioni.

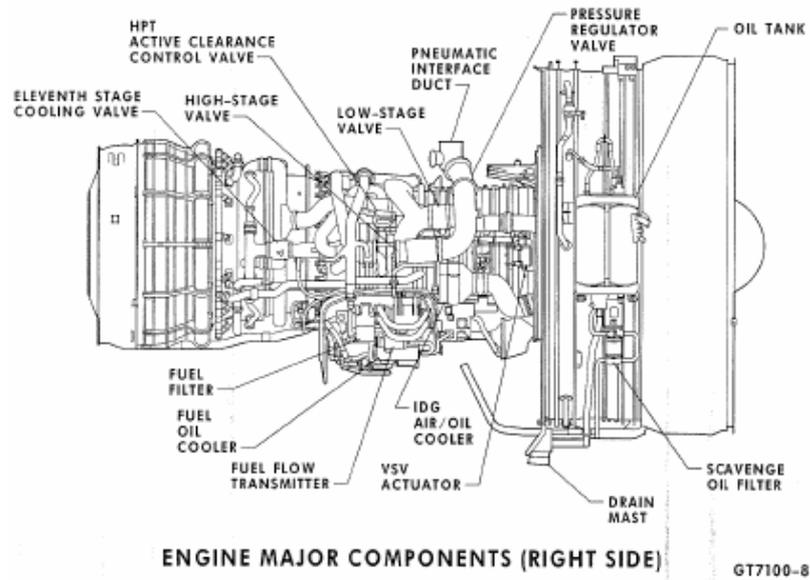
L'aria fornita dall'impianto pneumatico deve adattarsi sia come **quantità** sia come **caratteristiche fisiche** al variare della combinazione d'utenze servite e delle condizioni operative ed ambientali.

La rete di distribuzione

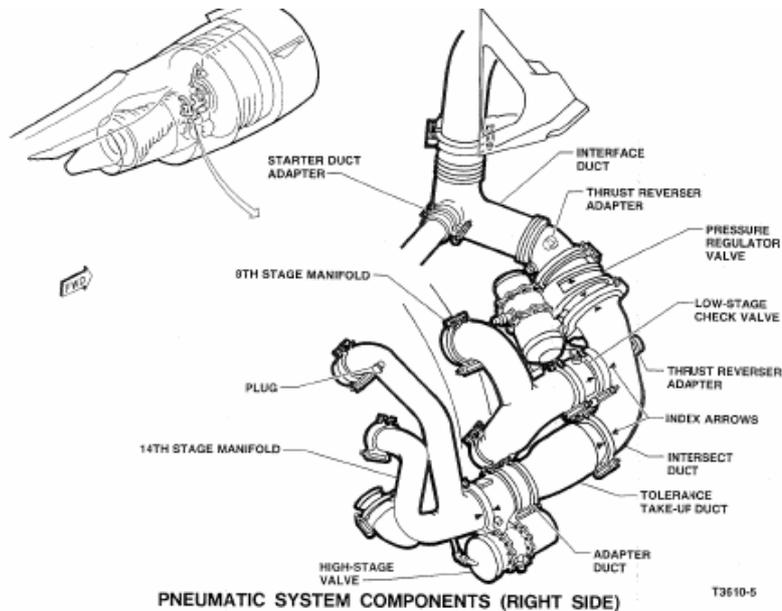
La **rete di distribuzione**, composta di un circuito di tubazioni e componenti, permette di collegare le sorgenti di energia pneumatica alle varie utenze.

La rete si estende con le sue tubazioni e componenti lungo il velivolo partendo dai motori, dall'APU, e dalle prese di collegamento ai gruppi di terra, per poi percorrere lunghi tratti delle ali e della fusoliera. Lungo questo percorso, in particolare in corrispondenza di particolari direttrici, è presidiata da un sistema di rilevamento avarie.

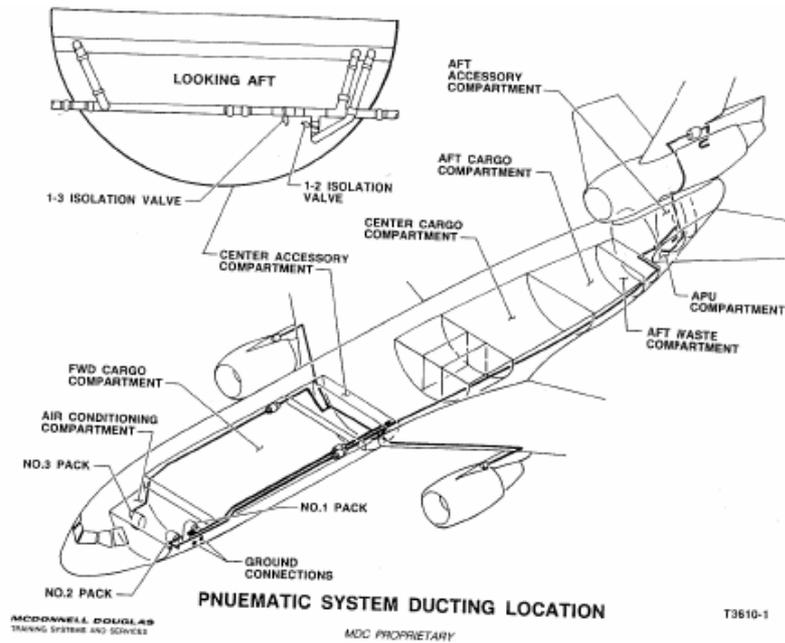
Nelle figure che seguono si fornisce una visualizzazione del sistema di tubazioni e valvole di prelevamento dal motore, e della rete di tubazioni che collega sorgenti ed utenze lungo le ali e la fusoliera: naturalmente il numero dei motori e la loro collocazione sarà specifica di ogni velivolo, ma in termini di principio lo schema si ripete in gran parte dei velivoli.



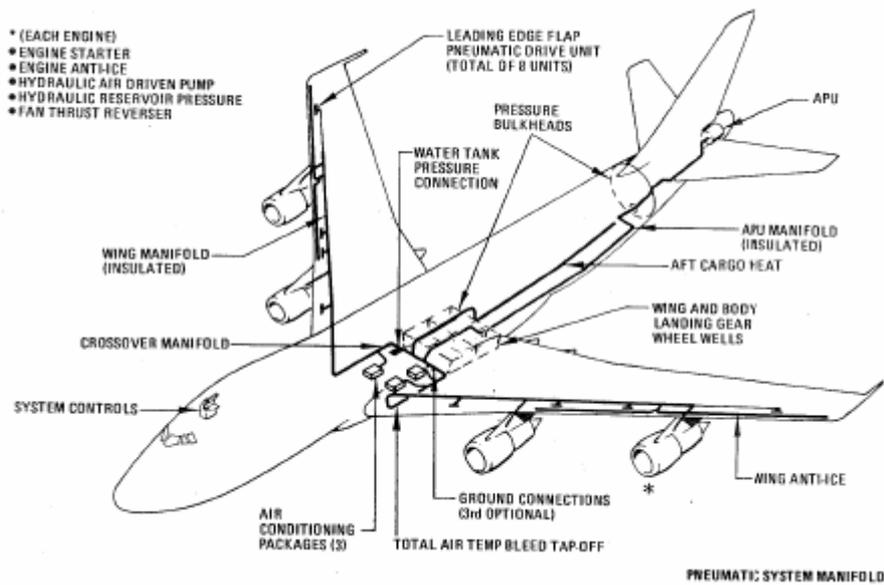
Vista dei prelevamenti pneumatici di un propulsore turbofan



Dettaglio delle tubazioni di prelevamento dai vari stadi



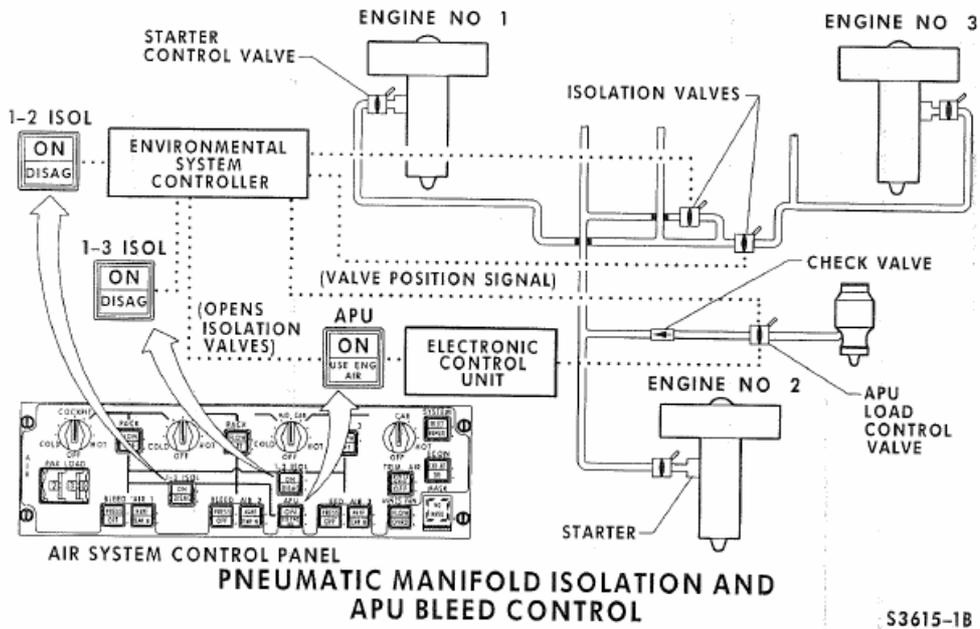
schema pneumatico velivolo MD11



Schema pneumatico velivolo b747

Nelle figure precedenti sono messi a confronto le reti di un velivolo a tre motori tipo MD11 e di un velivolo a quattro motori tipo B747 proprio per riconoscere le similitudini degli impianti.

La richiesta di prelievamento di aria dalle varie fonti d'alimentazione è comandata dall'equipaggio, mentre la gestione, la regolazione e la protezione del sistema sono gestiti da computer dedicati. Lo schema allegato inizia a fornire una visione integrata non solo delle sorgenti/reti ed utenze, ma anche dl sistema di comando e regolazione.



Schema comandi alimentazione starter dal pneumatico

Le utenze

La tipologia di utenze varia con la tipologia del velivolo, ma anche con le soluzioni costruttive adottate dal fabbricante, in ogni caso una serie tipica potrebbe essere la seguente:

- Impianto condizionamento
- Impianto pressurizzazione
- Impianto antighiaccio
- Impianto Avviamento motori
- Impianto inversione spinta
- Impianto riscaldamento zone cargo
- Sistema di pressurizzazione serbatoio idraulico
- Sistema di pressurizzazione impianto acqua potabile
- Sistema azionamento pompe idrauliche
- Sistema azionamento servomotori dei comandi di volo

La lezione presenterà lo schema tipico del MD80 (più semplice) e del velivolo MD11 per coglierne le similitudini.

Generalità sulle sorgenti dell'impianto pneumatico

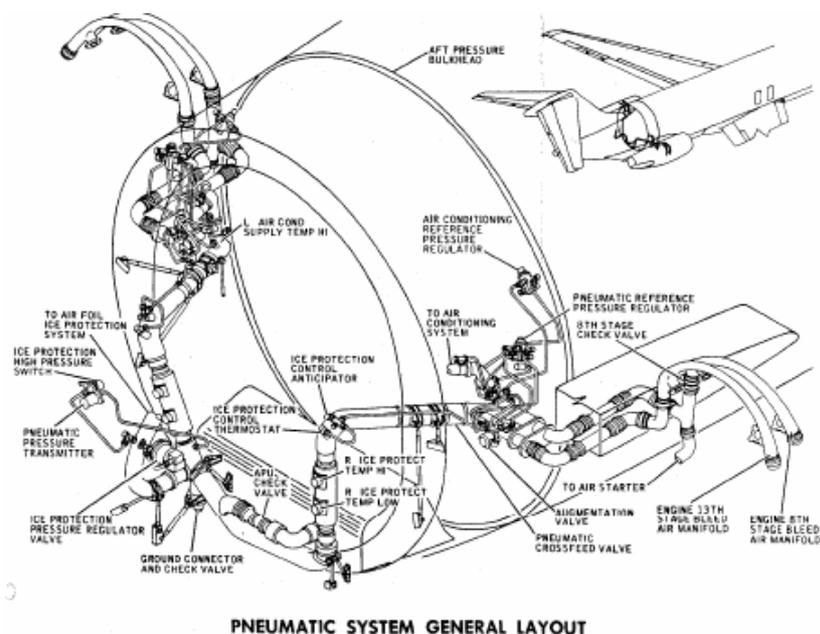
L'aria in pressione può essere fornita all'impianto pneumatico da varie fonti:

- **La sorgente esterna:** è costituita da un gruppo di compressori installato su un autocarro, e prende il nome di **Air Starter Unit (ASU)**.
Raggiunge il velivolo al momento dell'avviamento motori.
Nel caso di velivolo in hangar una centrale pneumatica centralizzata fornisce aria in pressione per eseguire le prove.
- **L'Auxiliary Power Unit (APU)**, meglio descritto nella sua specifica lezione, è sostanzialmente un gruppo ausiliario costituito da un motore turbogas capace di fornire aria compressa prelevata a valle del suo compressore, ed anche energia elettrica fornita da un generatore collegato alla stessa turbina a gas.
- **I motori:** sono la sorgente di alimentazione del pneumatico durante le fasi del rullaggio, del taxing, del decollo e della crociera sia per i velivoli a getto che turboelica.

Schema impianto reumatico MD80

Nella figura che segue viene presentata la rete delle tubazioni di prelevamento dai motori, le varie tubazioni e valvole di prelevamento ed isolamento. In particolare si possono riconoscere:

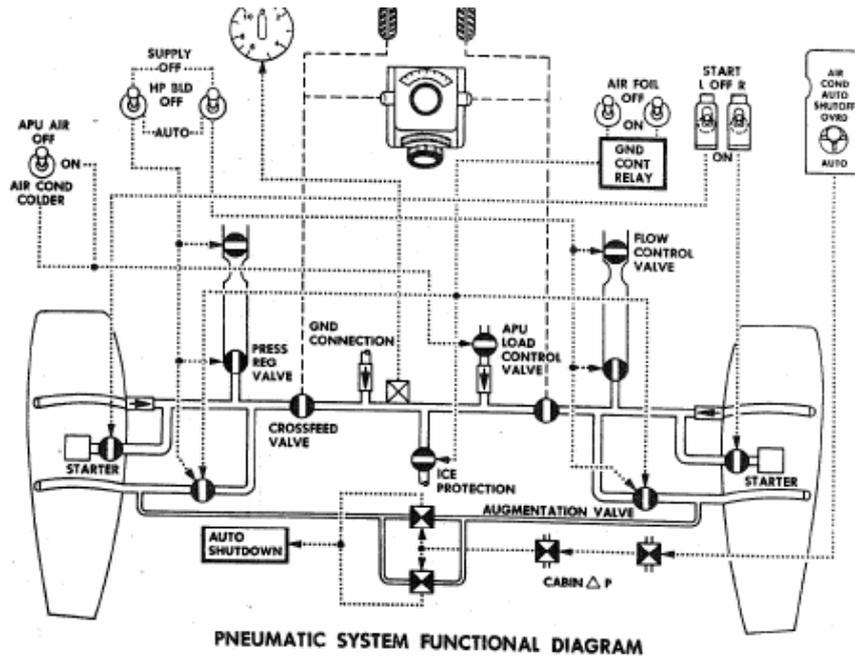
- i collegamenti ai due motori, all'APU ed al gruppo pneumatico di terra
- la rete di interconnessione
- i sistemi di comando e di regolazione.



Schema installazione condotti pneumatico zona di coda MD80

Si riporta in allegato lo schema relativo al MD80 dove sono riconoscibili i vari componenti fondamentali.

L'impianto è costituito da due sotto impianti, uno per ogni motore, autonomi e capaci di alimentare le proprie utenze separatamente.



Schema condotti prelevamento pneumatico da motori MD80

*Un collettore di collegamento di alimentazione incrociata (**cross-feed**) dispone di due valvole crossfeed che se portate in apertura interconnettono i due impianti sinistro e destro. Su tale collettore sono collegati all' APU, la presa pneumatica per il gruppo esterno, e la linea di antighiaccio alare. Tale soluzione costruttiva evidenzia che le condizioni di antighiaccio devono corrispondere ad un assetto di impianti in parallelo.*

*Le valvole **crossfeed** in questo velivolo sono comandate meccanicamente.*

Durante il volo i motori costituiscono la sorgente di alimentazione: solo in condizioni di emergenza si usa l'APU

L'aria viene prelevata in punti diversi del compressore assiale in quanto nel corso della compressione si raggiungono pressioni e temperature crescenti, e questo permette di effettuare il prelievo alle condizioni più prossime a quelle ottimali per le utenze.

*Nel caso del velivolo MD80 in volo la sorgente normale di prelievo è lo stadio n°8, ma quando la pressione scende sotto i **21 psi** il prelevamento deve essere fatto dal 13° stadio.*

*Il prelevamento dal 8° stadio avviene attraverso una **check valve**, mentre dal 13° stadio il prelevamento avviene mediante la valvola aumentatrice (**augmentation valve**).*

*L'**augmentation valve** ha quindi un compito importante, quello di decidere la commutazione del prelevamento dell'aria dai vari stadi del compressore.*

Tale valvola risponde a diverse logiche:

- *Quando deve essere alimentato solo l'impianto di condizionamento andrà in apertura solo se la pressione nel condotto scende sotto un valore minimo di riferimento (21 psi).*

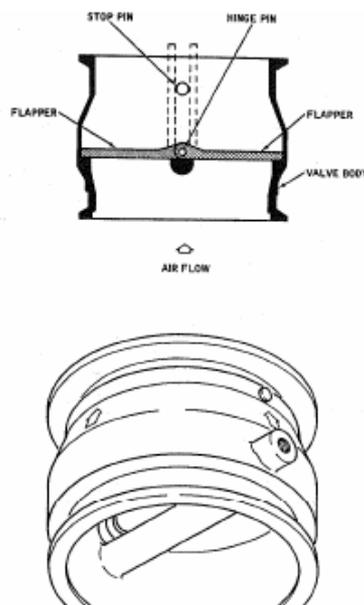
- Quando deve essere alimentato l'impianto antighiaccio si porta in apertura ed alimenta direttamente il collettore crossfeed dal 13° stadio dei due motori.
- Quando, con antighiaccio inserito la temperatura del condotto supera un certo limite (470°f) o il gradiente di temperatura supera i 50°f al secondo comanda la chiusura del prelevamento

L'augmentation valve – per realizzare la sua missione – deve ricevere dei segnali di riferimento sia di pressione e temperatura dal pneumatico e dal condizionamento.

A valle del punto di spillamento è inserita una valvola detta **bleed valve**, la cui funzione è di regolare la pressione dell'aria prima dell'ingresso nel circuito di distribuzione alle utenze (circa 45 psi ovvero circa tre atmosfere).

Nel caso di spillamento dallo **stadio ad alta pressione**, a valle del punto stesso, è posta una valvola di prelievo alta pressione (**high pressure bleed valve**), detta anche valvola aumentatrice, che ha anche la funzione di **non ritorno**.

Un'altra valvola di non ritorno (**check valve**), inserita sulla linea del prelievo dallo stadio n°8, evita che l'aria sia cortocircuitata.(vedi figura che segue).



Una valvola denominata **bleed valve** effettua anche in questo caso la regolazione della pressione nel circuito di distribuzione: un suo **non corretto funzionamento** potrebbe consentire l'immissione nella rete di aria a pressione troppo alta, con rischio di danno ai condotti o alle utenze stesse.

Per evitare questo la protezione è garantita da una valvola di sicurezza (**over pressure valve**)

Lo schema del velivolo MD80 utilizzato nella presente lezione segue una logica che si ritrova utilizzata in altri velivoli e la comprensione del ruolo dei vari componenti sarà da guida anche alla presenza di altri tipi di aeromobile.

L'impianto è comandato dalla cabina piloti ed è dotato di **sistemi di indicazione e controllo** sia per i parametri dell'aria prelevata, sia per assicurare protezione in caso di avaria dei condotti. La gestione avviene tramite un pannello ove sono raccolti gli elementi di base:

- Comando valvole di prelevamento
- Indicatori temperatura/pressione

- *Luci avviso alta temperatura*
- *Avviso rottura tubazioni*
- *Avviso collegamento sorgente esterna*
- *Avviso collegamento APU*

Funzionamento dell'impianto in generale

L'impianto in condizioni di volo preleva aria calda in pressione dal compressore del motore, e tale prelevamento può avvenire in più stadi caratterizzati da livelli di pressione e temperature crescenti.

Tale progressione è necessaria in quanto l'aria del pneumatico deve avere dei valori minimi di pressione e temperatura, altrimenti non soddisferebbe le esigenze delle utenze.

Quando il motore è ai bassi regimi anche il campo delle pressioni e delle temperature si abbassa e quindi il prelevamento deve avvenire in stadi più avanzati.

Appositi sistemi di protezione, capaci d'interdire automaticamente il prelievo, effettuano il monitoraggio per il rilievo degli eccessi di pressione o di temperatura.

*La **regolazione della temperatura** può essere fatta anche mediante scambiatori aria/aria, ed in questo caso la sorgente di raffreddamento può essere di varia natura sia con aria prelevata in dinamica, sia con aria prelevata dalle zone più fredde del compressore.*

*La **regolazione della quantità** è gestita da apposite valvole di regolazione di flusso.*

I velivoli da trasporto civile hanno in genere più impianti separati in varie sezioni che sono alimentate da un motore dedicato, ma in casi di emergenza le sezioni possono essere collegate tra loro in parallelo.

Le condizioni di emergenza possono essere l'avaria motore, ma anche semplicemente l'avaria del sistema di prelevamento a livello di componenti.

Quando il velivolo è a terra, ed i motori sono spenti, l'impianto pneumatico utilizza fonti alternative e per questo dispone di collegamenti per il gruppo esterno e l'APU, ed in questo caso le varie sezioni dell'impianto debbono essere collegate in parallelo.

La componentistica dell'impianto pneumatico

Le funzionalità dell'impianto pneumatico sono realizzate attraverso una serie di componenti che permettono la gestione dell'impianto stesso:

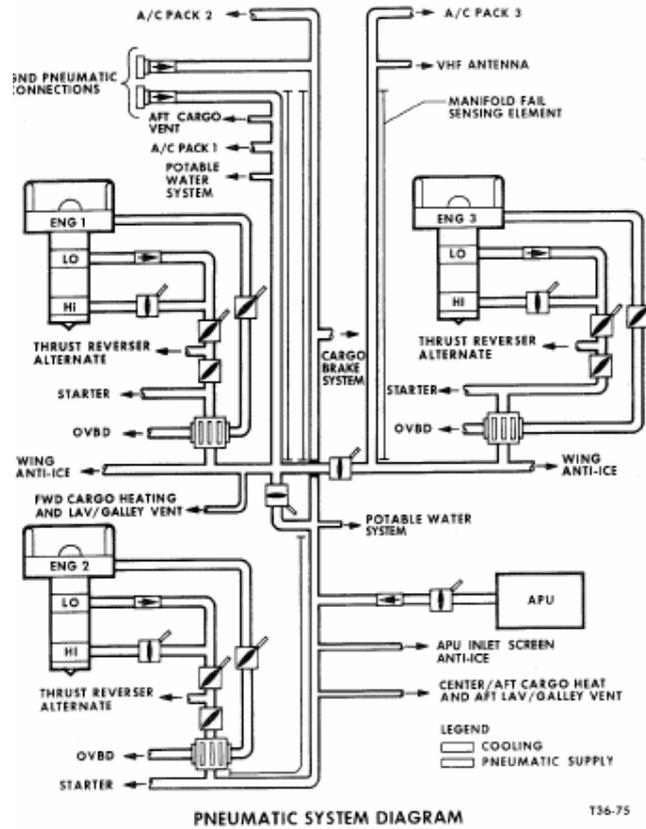
- *Prese di collegamento alle sorgenti pneumatiche*
- *Valvole di prelevamento, di sicurezza e di non ritorno*
- *Valvole regolatrici di pressione e d'isolamento*
- *Valvola aumentatrice*
- *Rete di tubazioni con giunti di collegamento e dilatazione*
- *Scambiatore di calore*
- *Sensori temperatura e pressione*
- *Pannelli di comando/controllo in cabina piloti*
- *Luci avviso funzionamento o avaria*
- *Calcolatori di gestione/controllo*
- *Ecc*

Il successo della soluzione costruttiva è condizionato dal costo, affidabilità, peso, ingombro, ecc della soluzione costruttiva e della componentistica utilizzata.

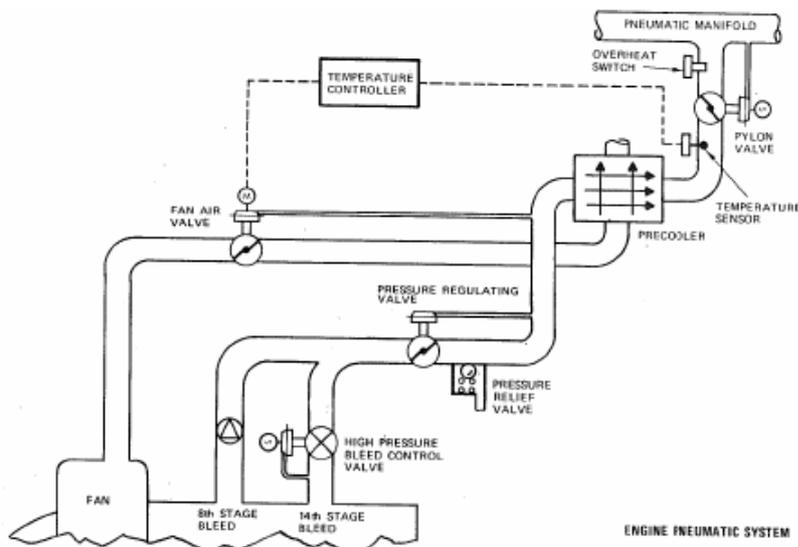
Schema d'impianto MD11

I principi precedenti sono ora applicati al caso del velivolo MD11 nel quale si ritrovano tutti i concetti generali prima indicati. Per lo studente deve essere un esercizio riconoscere le funzionalità precedenti.

L'alimentazione è garantita in volo dai motori, alle basse quote o a terra dall'APU, a terra dal gruppo di servizio di terra o equivalente.(vedi schema).

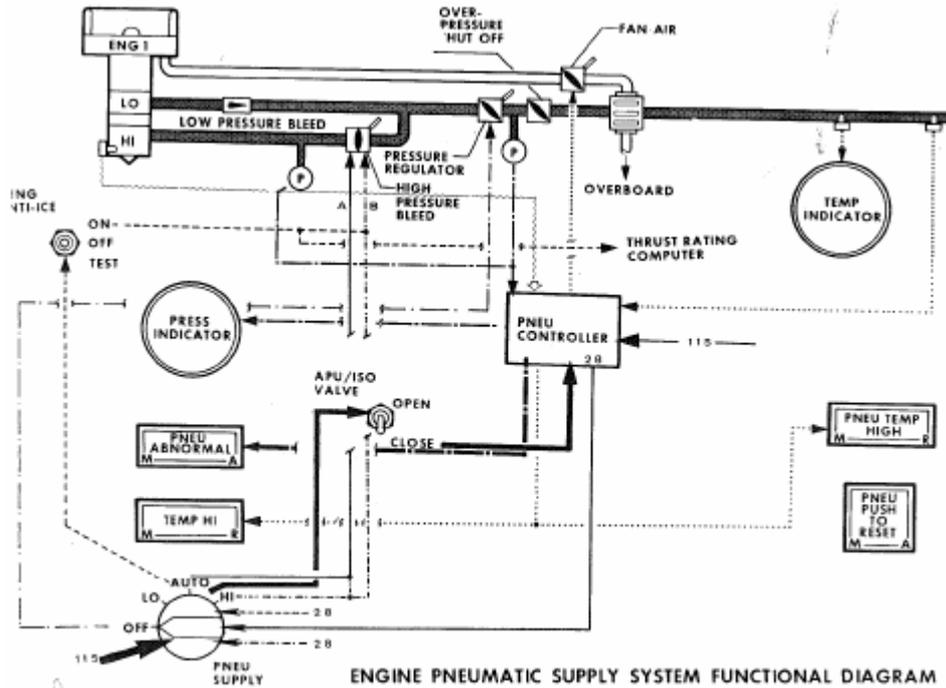


36.4



Schema di dettaglio prelievo pneumatico ed aria raffreddamento dal Fan

- *Uni schema più dettagliato del prelievamento dell'aria dai vari stadi del motore e delle protezioni per eccesso di temperatura*



*Quando l'alimentazione avviene dal motore l'aria è prelevata dallo 8° stadio attraverso una valvola di prelievamento di bassa pressione (**low pressure bleed check valve**) o dal 14° stadio attraverso una valvola di prelievamento d'alta pressione (**high pressure bleed valve**).*

*La valvola di prelievamento d'alta pressione rimane aperta fino a quando nel condotto si raggiungono **85 psi** e- raggiunto questo valore- si porta in chiusura e l'alimentazione avviene dallo stadio 8°.*

*Tale valvola si chiude anche quando la temperatura dell'aria misurata all'uscita del carter del 14° stadio raggiunge **394°C** per proteggere il sistema dalle alte temperature..*

*Dopo questa fase l'aria da inviare alle condotte del pneumatico viene regolata come pressione da un apposito regolatore di pressione (**pressure regulator**) ed inoltre una valvola di sicurezza per alta pressione (**over pressure shut off**) interviene a chiudere il prelievamento se si superano dei valori limite.*

*La **pressione minima** richiesta in fase di prelievamento e prima della regolazione di pressione è di 85 psi: quindi il prelievamento sarà dallo stadio 14° fino a quando lo stadio 8° non potrà garantire questo valore.*

*La **temperatura** deve essere regolata (max 225°c) e per questo l'aria proveniente dal motore è inviata ad uno scambiatore aria/aria per regolare la temperatura.*

*Il raffreddamento avviene mediante un flusso d'aria prelevata dal fan tramite una valvola di prelievamento (**fan air valve**) che regola la quantità e la durata del flusso che asporta calore nello scambiatore e scarica all'esterno.*

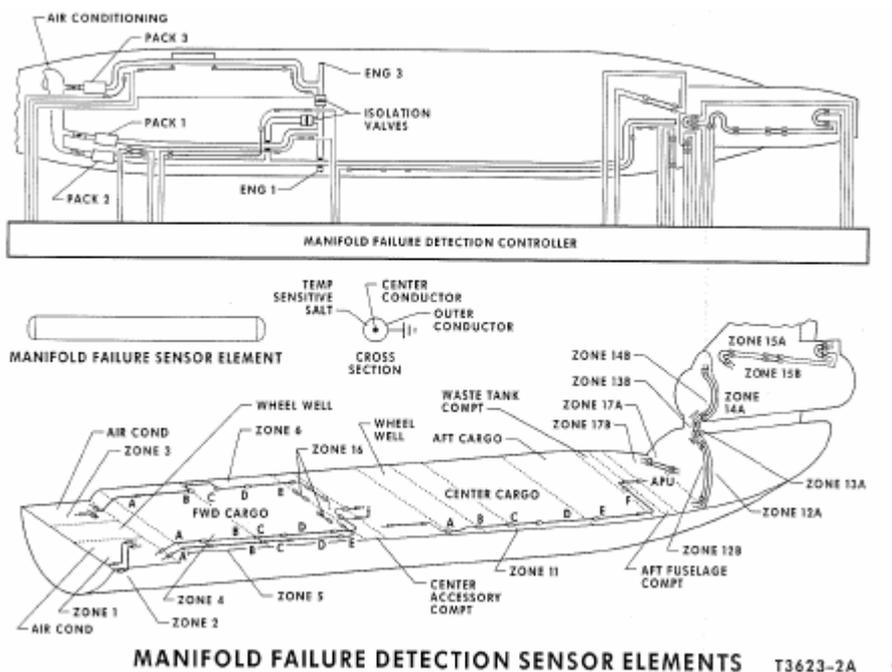
*Gli impianti pneumatici del velivolo sono tre e sono separati in condizioni normali, ma in caso di necessità possono essere collegati tramite valvole di isolamento (**isolation valves**)*

Un sistema di sensori permette l'indicazione dei valori di temperatura e pressione, mentre dei sensori di sovra-pressione attivano avvisi luminosi in cabina piloti.

La gestione del sistema è svolta da un computer di controllo del pneumatico.

L'impianto pneumatico è anche dotato di un sistema di rilevamento avarie necessario a presidiare lungo tutta l'estensione del velivolo il corretto funzionamento, ed è basato essenzialmente su sensori di temperatura ed a volte interruttori differenziali di pressione.

Si rimanda, a questo riguardo, alla figura allegata ove si ha una prima idea di come tutto il percorso delle tubazioni venga monitorato per controllare eventuali perdite di aria ad alta temperatura.



La figura si riferisce ad un sistema di rilevamento di rotture lungo il collettore di distribuzione mediante un rilevatore sensibile ad un valore di soglia predeterminato distribuito lungo tutto il percorso. Su alcuni velivoli la stessa funzione viene svolta da una serie di interruttori termici distribuiti lungo la tubazione: cambia la tecnologia del sensore, ma non la funzione di monitoraggio delle rotture delle tubazioni.