

IMPIANTO A.P.U. & R.A.T

Premessa

La tipologia dei velivoli sia civili che militari, ai quali il presente corso di impianti si riferisce, presentano delle particolari condizioni operative nelle quali non è il propulsore a fornire i vari tipi di energia (elettrica, idraulica, pneumatica, ecc) di cui il mezzo ha necessità e quindi si deve ricorrere a delle sorgenti alternative.

Le condizioni in cui tale situazione si presenta sono in generale di due tipi:

- Il velivolo è in un aeroporto con propulsori spenti e serve energia per l'illuminazione, l'esecuzione di prove degli impianti a terra, il condizionamento della fusoliera ecc. In questi casi se non si può ricorrere a sorgenti esterne (GPU, ASU, ACU, e cc) si cerca di rendere il velivolo autonomo dotandolo di un complesso chiamato **Auxiliary Power Unit** che mediante adeguato ciclo termodinamico fornisce in primis energia meccanica e da questa si ottiene più energia pneumatica, elettrica ecc.*
- Il velivolo è in volo, ma qualche grave avaria ha ridotto il numero di propulsori operativi o sono impossibilitate le forniture di energia elettrica, pneumatica ecc.*

In queste condizioni appositi dispositivi (APU o RAT) possono essere azionate e sopperire alla situazione in essere.

I loro principi di funzionamento sono completamente diversi:

- L'APU converte l'energia potenziale chimica di un combustibile in energia meccanica*
- La RAT (ram air turbine) sfrutta il moto relativo dell'aria rispetto al velivolo in volo per azionare un generatore o una pompa idraulica. Si tratta di una forma di generatore eolico.*

Le prime applicazioni del concetto di APU risalgono al 1916 e si utilizzava un motore a pistoni alimentato a benzina. La tipologia di APU oggi utilizzata da velivoli civili e militari ha avuto il suo esordio nel 1963 sul velivolo B727 ove un motore turbogas fece il suo esordio.

Inizialmente l'uso dell'APU era destinato praticamente solo a terra, ma con il tempo venne estesa la sua operatività anche alle basse quote per produrre in emergenza solo energia elettrica; la limitazione all'uso a terra dipendeva dal fatto che tutto il dimensionamento ed i sistemi di regolazione e controllo, la regolazione delle prese d'aria, i sistemi antighiaccio della presa d'aria ecc erano inadatti alle condizioni di volo.

Con il tempo si è estesa l'operatività a quote sempre più alte sia per la fornitura di energia elettrica che di energia pneumatica, anche se in quantità ridotte rispetto alla normale erogazione dei propulsori

Negli ultimi anni , in particolare con la comparsa dei velivoli ETOPS (Extended-range Twin - engine Operations) si avuta la necessità di garantire anche a quota di crociera (43.000 ft) per tempi lunghi e con significativa distanza dal primo aeroporto utile la operatività in sicurezza anche con un solo motore funzionante. In questo caso gli APU possono operare indifferentemente da quota del mare a quota di crociera massima senza limitazione di prestazioni e con certezza dell'avviamento a qualunque quota.

Quanto alla RAT, di cui si darà cenno a fine lezione, ha avuto la sua evoluzione da moltissimi anni per motivi analoghi, salvo funzionare solo in volo.

Nella figura che segue vengono riportate le varie tipologie di RAT prodotte da una grande azienda USA per vari tipi di velivoli.

*

The Worlds Leading Supplier of Ram Air Turbines

Excellence From Continuous Development

Hamilton Sundstrand
A United Technologies Company

Page 15
12-2-2002

ELECTRIC SYSTEMS

L'utilizzo di dispositivi tipo APU non è specifico solo dei velivoli civili e militari: infatti si trova la stessa unità , realizzata con tecnologie semplificate per motivi di costo e minore complessità operativa, anche su imbarcazioni, carri armati, semoventi , autocarri da trasporto speciali ecc e sempre per avere una sorgente di energia disponibile senza attivare i motori principali (economia, rumore inquinamento ecc).

Si hanno anche nel campo spaziale varie tipologie di APU che forniscono energia elettrica ed idraulica sia a missili che a veicoli tipi Shuttle.

Nella lezione si dedicherà particolare attenzione alla tipologia di APU e RAT usati sui velivoli civili e militari ed agli impianti interni che ne permettono il funzionamento.

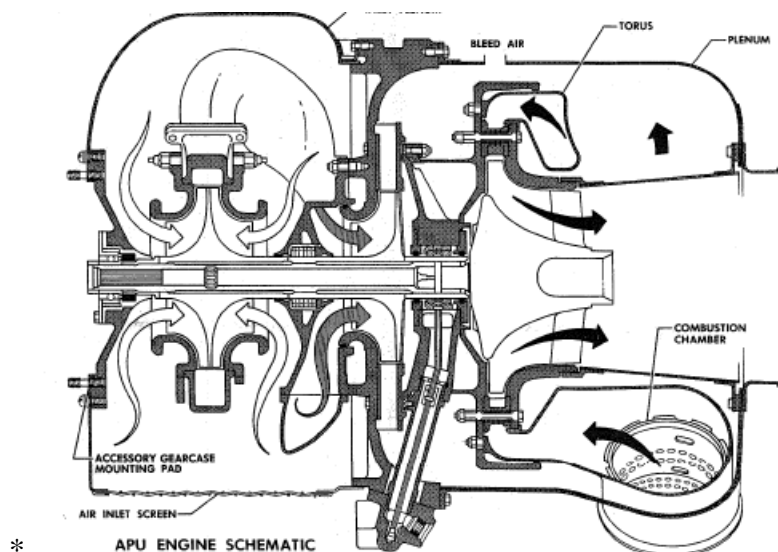
Missione dell'impianto APU velivoli

*L'impianto **Auxiliary Power Unit** (A.P.U.) di un velivolo da trasporto civile ha il compito di fornire **energia elettrica ed energia pneumatica** in varie situazioni operative.*

Aspetti costruttivi

L'APU è costituito da un motore turbogas che converte l'energia potenziale chimica del carburante in energia meccanica.

Il suo ciclo termodinamico è simile a quello di un propulsore turbogas. Si tratta quindi di un ciclo Brayton nel quale l'aria prelevata dal compressore è inviata in camera di combustione, mescolata con lo stesso carburante del velivolo e poi fatta espandere totalmente nella turbina di potenza.



Nello schema riportato si può riconoscere una zona compressore costituita da un primo stadio compressore centrifugo a doppio ingresso che fornisce una prima compressione all'aria prelevata all'esterno, poi un collettore raccoglie l'aria e la invia ad un secondo compressore centrifugo per un ulteriore livello di compressione.

L'aria compressa è poi trasferita nella camera di combustione ove si mescola con il carburante iniettato dall'impianto carburante APU. La combustione, a pressione costante, genera un aumento della temperatura e della Entalpia, e questo punto il gas è inviato alla turbina di potenza per l'espansione totale.

L'espansione avviene nella turbina (che in figura è di tipo centrifugo) generando la potenza che è trasmessa all'asse collegato al gruppo compressori ed alla Gear Box.

La **Gear Box dell'APU**, del tutto simile a quella dei propulsori della lezione precedente, fornisce energia meccanica a tutta una serie di accessori propri dell'APU quali pompe del carburante, pompe dell'olio di lubrificazione, trasmettitori di giri, collegamento al proprio starter, ecc ed inoltre ad un Generatore elettrico.

L'APU riceve il carburante dai serbatoi del velivolo mediante una pompa elettrica alimentata in continua (per essere funzionante all'avviamento mediante batterie).

Quando il carburante giunge all'APU, oltre ad essere filtrato e controllato in temperatura, passa attraverso una sua pompa di alta pressione e poi giunge agli iniettori posti nelle camere di combustione. Tra la pompa di alta pressione e gli iniettori è posto il sistema di Controllo del Carburante (**Fuel Control Unit**) che ha il compito di regolare potenza, giri e temperatura massima in turbina.

Il **compressore dell'APU** è dimensionato per comprimere una quantità di aria in eccesso a quella assorbita dalla turbina, in quanto deve consentire dei significativi prelievi di aria calda in pressione ed alimentare l'impianto pneumatico. Tali assorbimenti servono, in genere, per alimentare l'impianto di condizionamento a terra e per permettere l'avviamento dei motori in modo indipendente da supporti esterni.

La **turbina dell'APU**, a sua volta, è dimensionata per erogare la potenza assorbita dal compressore e quella necessaria alla Gear Box, sulla quale sono collegati il Generatore Elettrico destinato ad alimentare il velivolo, e gli impianti propri dell'APU.

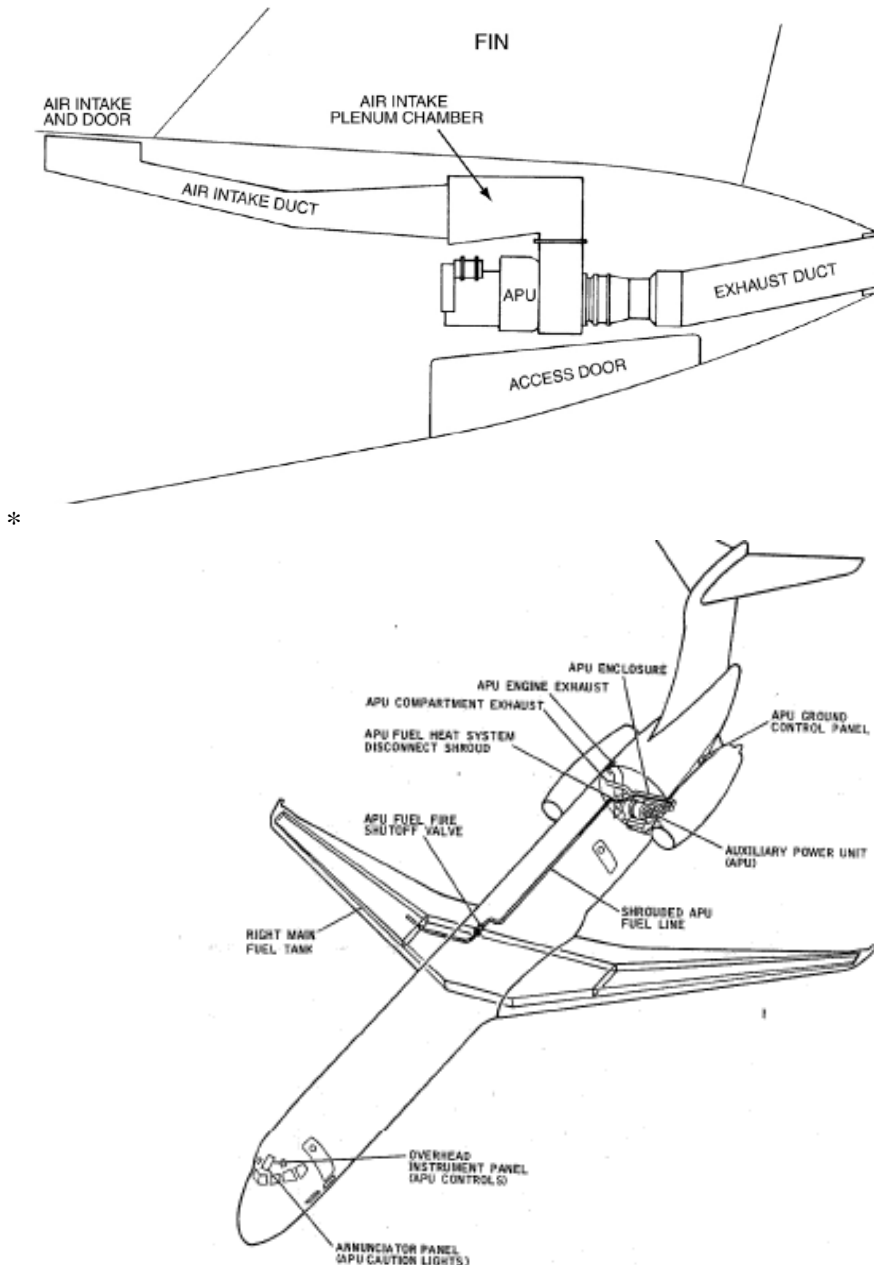
Tanto per dare un'idea i generatori di velivoli commerciali possono erogare potenze da 25/30 KW in caso di velivoli Narrow Body, fino a 100 KW nel caso di velivoli Wide Body di ultima generazione.

Per la missione che l'APU ha sia il compressore che la turbina sono sovra-dimensionati, ma sono anche soggetti a forti variazioni di combinazioni di carico e questo rende il suo **Sistema di Regolazione** molto particolare. Questo accade in quanto:

- Le richieste dell'impianto pneumatico si presentano solo quando il velivolo deve essere condizionato a terra ed all'avviamento motori, con carichi variabili.
- Le richieste di potenza del generatore variano molto con i carichi elettrici del velivolo e potrebbero essere anche nulle, ad esempio, quando il velivolo a terra è collegato ad un GPU.

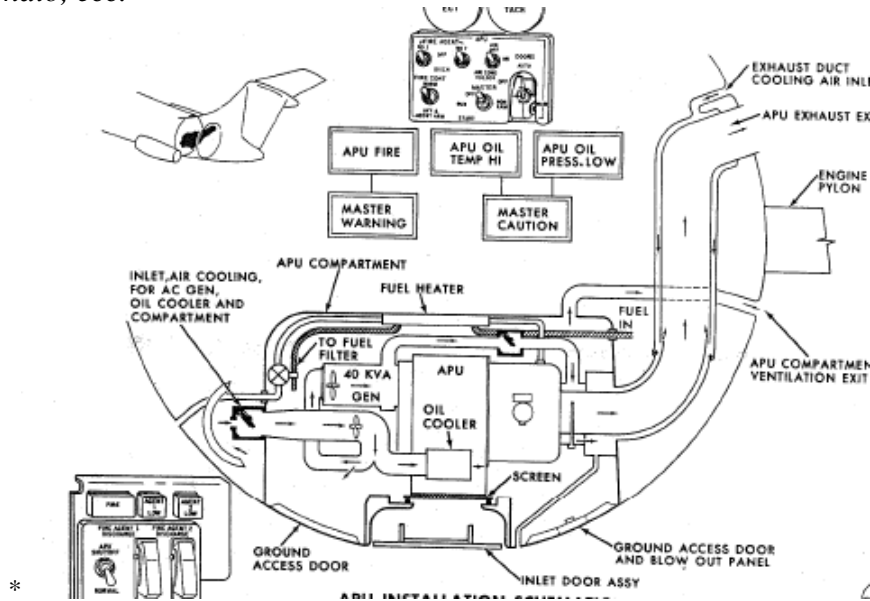
Installazione dell'APU

In termini di alloggiamento l'APU è in genere collocato nella zona di coda non pressurizzata del velivolo(vedi figura).

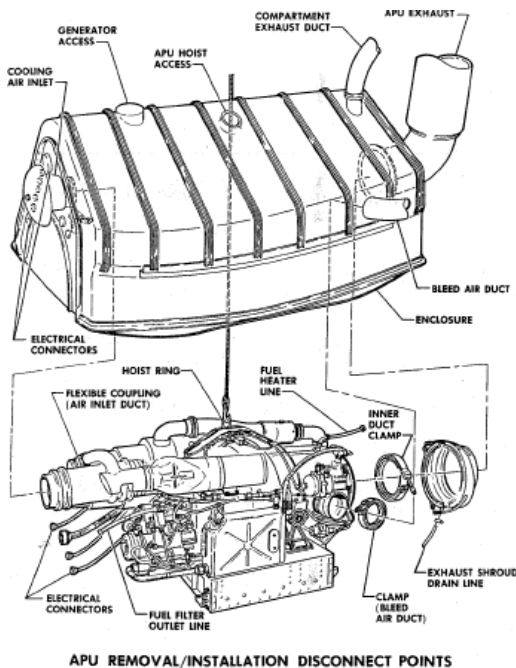


Dal punto di vista costruttivo è costituito da un'unità collocata in genere nella parte posteriore del velivolo, in zona non pressurizzata, rimuovibile nel suo insieme, ed accessibile dall'esterno per le normali attività di manutenzione e servicing.

Il gruppo APU è in genere raccolto entro un contenitore stagno che lo isola fisicamente dal resto e semplifica alcune funzionalità quali il raffreddamento e la ventilazione dell'ambiente, gli interventi anti- incendio, ecc.



Anche la sostituzione dell'APU risulta facilitata dalla sua struttura modulare(vedi figura).



L'installazione è nella parte posteriore della fusoliera, con prese aria e scarichi adeguatamente distanziati per evitare cortocircuiti del flusso.

La collocazione nelle zone di coda risponde anche ad esigenze di sicurezza e di contenimento del rumore.

Il sistema di comando è localizzato in un pannello posto in cabina piloti, ma in caso di emergenza può essere spento anche da un pannello esterno alla fusoliera.

Il rapporto con altri impianti

In termini impiantistici l'APU deve essere visto non come sistema isolato, ma collegato ad altri impianti di bordo. In particolare:

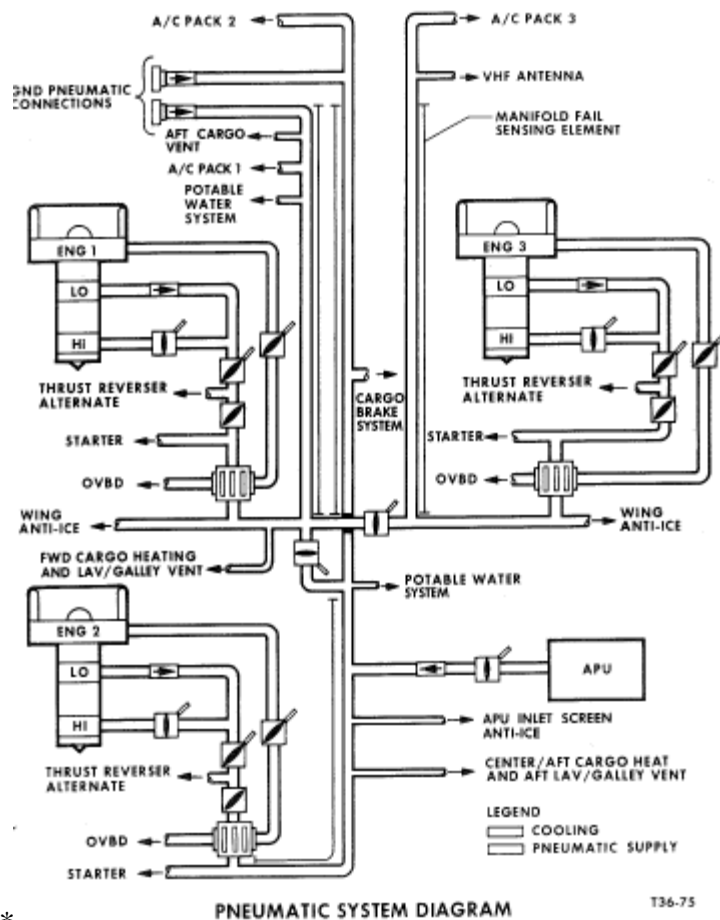
- All'impianto **pneumatico velivolo** (tramite una valvola di isolamento) per fornire, su richiesta, energia pneumatica ad esempio a velivolo fermo con motori spenti.
- All'impianto **elettrico velivolo** (tramite relay di collegamento alle barre) per alimentare l'impianti velivolo in assenza di fonti esterne, propulsore spento, o avaria del generatore trascinato dal propulsore.
- all'impianto **carburante velivolo** perché usa lo stesso carburante dei propulsori.
- all'impianto **antincendio velivolo** per essere lui stesso protetto dallo stesso sistema.

Aspetti operativi del velivolo e dell'APU

L'APU è oggi presente in quasi tutti i velivoli di una certa dimensione e permette una notevole **autonomia operativa** sia a terra sia in particolari condizioni di volo.

Quando il velivolo è a terra ed i motori sono spenti tutto il velivolo dipende totalmente dalla organizzazione aeroportuale in termini di energia elettrica, aria condizionata ed aria compressa per l'avviamento motori: tale dipendenza può essere annullata dotando il velivolo dell'impianto APU (si può avviare con la batteria di bordo).

Nello schema allegato si presenta una possibile soluzione impiantistica di collegamento dell'APU all'impianto pneumatico di un velivolo W.B. con tre propulsori.



In alcuni velivoli l'APU assume una funzione importante anche con il **velivolo in volo** e rappresenta una fonte alternativa in caso di avarie in particolare dei generatori elettrici collegati al propulsore, o l'avaria stessa del propulsore.

In termini concettuali il velivolo potrebbe essere privo di tale impianto, ma si dovrebbe accettare una serie di limitazioni:

- *L'operatività sugli aeroporti dipenderebbe da una serie di servizi fissi o semoventi da dedicare ad ogni volo con del personale specializzato: ad esempio **G.P.U** (**Ground Power Unit**) per l'energia elettrica, **G.C.U.** (**Ground Conditioning Unit**) per l'aria condizionata, ed il **G.S.U.** (**Ground Starter Unit**) per l'aria compressa per l'avviamento motori.*
- *Il costo di tali servizi si ripeterebbe ad ogni operazione di handling per tutta la vita del velivolo.*
- *Il livello di servizio dei voli dipenderebbe non solo dal velivolo e la sua organizzazione tecnica, ma anche dal contesto dei supporti aeroportuali quali il gruppo pneumatico d'avviamento, il gruppo di condizionamento ed, il gruppo elettrico esterno.*

Aspetti economici del velivolo e dell'APU

L'impianto APU presenta pertanto vantaggi operativi significativi, ma comporta anche un investimento e costi di gestione tecnica che dipendono dalla sua affidabilità e dalla sofisticazione costruttiva.

Le condizioni operative di funzionamento dipendono dal tipo di velivolo e dalla tipologia di missione (velivolo civile per passeggeri o merci, velivolo militare, ecc), ma in genere l'APU interviene nelle seguenti tipologie d'esigenze:

- ***Condizioni di terra:** fornisce energia elettrica all'impianto elettrico velivolo ed energia pneumatica per il condizionamento e l'avviamento motori.*
- ***Condizioni di volo:** fornisce energia elettrica in caso di avaria di un generatore trascinato dal motore.*
- ***Condizioni d'emergenza:** in volo a bassa quota fornisce energia pneumatica per impianto di condizionamento (non su tutte le tipologie di velivoli)*

Gli impianti dell'APU

*L'APU per funzionare necessita di una **serie di sottosistemi** destinati al proprio funzionamento quali: la sua pompa carburante ad alta pressione, la pompa dell'olio di lubrificazione, i radiatori di raffreddamento dell'olio e di riscaldamento carburante, i sistemi di indicazione e protezione sistemi di comando/regolazione e soprattutto il sistema di regolazione di giri dell'asse collegato al generatore capace di garantire un funzionamento a giri costanti per garantire la stabilità della frequenza.*

L'APU è concepito per funzionare a giri costanti onde garantire la frequenza corretta del generatore elettrico, comunque varino i carichi.

Il sistema di governo dell'APU è pertanto complesso perché la variabilità dei carichi sia elettrici sia pneumatici rende sofisticate sia le soluzioni costruttive sia della parte compressori/ turbina, sia il sistema di regolazione dei giri.

*Il sistema di regolazione dei giri agisce in genere sulla mandata carburante ed in alcuni modelli di APU su una serie di palettature statoriche a **geometria variabile**.*

Sistemi di comando e controllo dell'APU

L'avviamento ed il controllo dell'APU vengono effettuati dalla cabina piloti, ove si dispone sia dei comandi di

- *Avviamento e di test del sistema antincendio*
- *Comando pompa carburante*
- *Strumenti di controllo*
- *Selezione del collegamento generatore elettrico all'impianto elettrico velivolo*
- *Lo spillamento aria per l'impianto pneumatico di bordo*
- *Sistemi di avviso ed intervento antincendio.*

Nella fase d'avviamento APU un gruppo batterie fornisce energia elettrica al motore elettrico di lancio del gruppo compressore/turbina, alle pompe carburante in corrente continua, al sistema d'accensione e controllo, ed ovviamente al sistema avviso/estinzione incendio.

In caso di emergenza (ad esempio avviso incendio) l'APU viene disattivato dallo stesso pannello mediante la chiusura del carburante, ed avviati i comandi d'isolamento e scarica dei fluidi estinguenti.

In caso d'emergenza, avvertita dall'esterno velivolo grazie a sistemi d'avviso luminoso (luci avviso) e sonoro (sirene) un apposito pannello esterno alla fusoliera permette le stesse azioni con immediatezza.

*Il gruppo ausiliario APU è dotato quindi di una sua **totale autonomia** e quindi può:*

- *Essere alimentato di energia elettrica e carburante a velivolo spento mediante la sola batteria velivolo*
- *Funzionare a prescindere da supporti esterni*
- *Dispone di un sistema di comando, controllo, rilevamento ed estinzione incendio del tutto autonomi sia dalla cabina piloti sia da un pannello di servizio esterno alla fusoliera.*

Realizzazione dell'APU

In termini realizzativi è simile ad ogni motore turbogas, e pertanto dispone di una serie di componenti ed impianti propri:

- *Gruppi compressore/turbina, a volte multiple ed a giri indipendenti.*
- *Camere di combustione*
- *Sistema avviamento, impianto iniezione carburante ed accensione.*
- *Sistema di regolazione a giri costanti per il gruppo collegato al generatore.*
- *Sistemi di governo palette statoriche orientabili nei modelli a doppio albero coassiale.*
- *Sistema lubrificazione e raffreddamento interno.*
- *Gestione parametri propri e delle utenze, con trasmissione dati digitali elaborati dal calcolatore di controllo.*
- *Sistema di rilevamento ed estinzione incendio.*
- *Pannelli di comando e controllo posti in cabina piloti.*

Impianto APU MD80

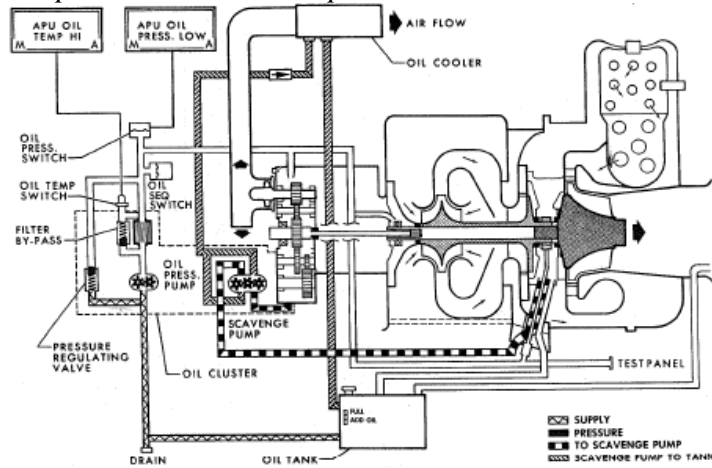
L'impianto è costituito un gruppo monoalbero dotato di compressori e turbina di tipo centrifugo ed ha le seguenti caratteristiche:

- *Peso 350 lb.*
- *Temperatura massima EGT 620 °C.*
- *Giri al minuto 43.000 tolleranza 100 rpm.*

- Potenza sull'albero circa 60 hp.
- Massimo prelevamento aria 100 lb/min.

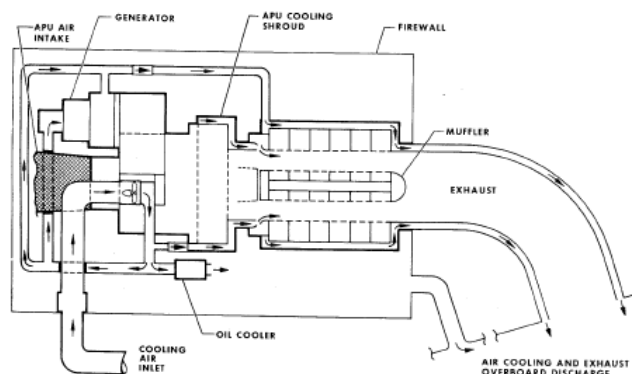
L'APU è dotato di una serie di sottoimpianti che ne garantiscono il funzionamento, ad esempio:

- **Impianto ventilazione:** un ventilatore trascinato dalla scatola ingranaggi preleva aria dall'esterno della fusoliera per ventilare e raffreddare il generatore elettrico, alcuni accessori(ex. radiatore dell'olio) ed il vano APU stesso, ecc.
- **Scatola ruotismi:** comprende una serie di riduzioni/prese di forza per il generatore, il ventilatore, pompa alta pressione/regolatore di flusso carburante, pompe di lubrificazione, trasmettitore di giri, interruttori centrifughi di sequenza.
- **L'alimentazione carburante:** comprende una pompa C.C. per l'avvio e da condotto di alimentazione coassiale per proteggere il velivolo da perdite di carburante.
- **Regolatore flusso carburante:** serve al controllo della accelerazione e stabilizzazione dei giri al variare dei carichi.
- **Impianto di lubrificazione APU:** è dotato di pompe di mandata e recupero, filtro, interruttori di bassa pressione ed alta temperatura ecc.



*

APU ENGINE OIL SYSTEM SCHEMATIC



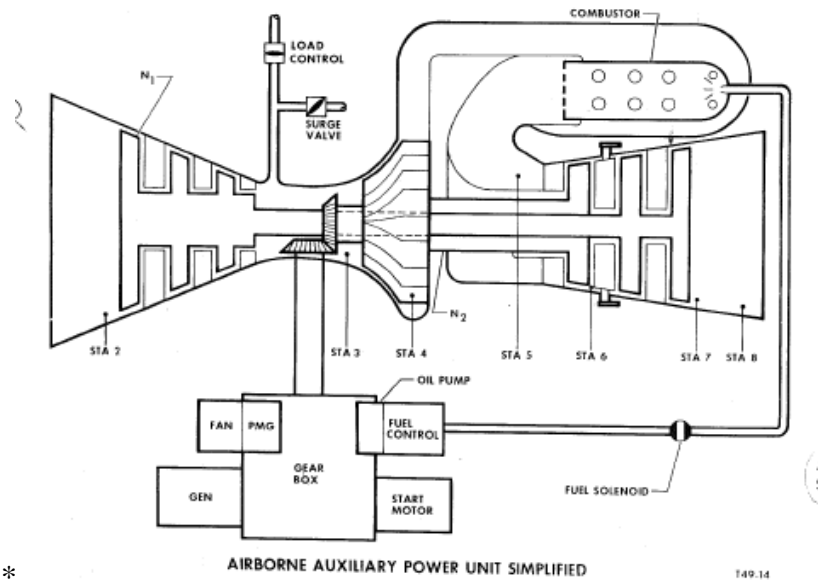
*

Impianto APU DC10

La doppia missione che l'APU deve assolvere (fornire energia all'impianto pneumatico ed a quello elettrico) rende a volte necessarie soluzioni costruttive più sofisticate per meglio soddisfare le due missioni.

Infatti, in alcune versioni, ad esempio nei velivoli W.B. dove i due tipi di assorbimento sono grandi e variabili) si ha un doppio gruppo compressore/turbina coassiali.

Il primo gruppo Compressore/turbina di bassa pressione è destinato prevalentemente a fornire aria compressa per l'impianto pneumatico, mentre il secondo gruppo compressore/turbina di alta pressione è collegato alla Gear Box e trascina il Generatore Elettrico ed al sistema di utenze dell'APU stesso. A questo riguardo si rimanda agli schemi delle figure riportate in seguito.



L'impianto è caratterizzato da un gruppo bi-albero costituito da due gruppi indipendenti compressori/turbina che ruotano a giri molto diversi, denominati (N1) ed (N2):

- **Il primo gruppo (N1):** compressore assiale a tre stadi/ turbina assiale a due stadi, ed opera tra 17000 e 28000 rpm, e produce aria compressa per il pneumatico che per il gruppo N2.
- **Il secondo gruppo (N2):** costituito da un compressore centrifugo/turbina assiale ed opera stabilmente a 35300 rpm.
- Nel gruppo (N2) avviene la combustione e l'energia prodotta dalla sua turbina è utilizzata per azionare il relativo compressore, per fornire potenza alla turbina successiva del gruppo (N1), e poi azionare la scatola accessori.
- **La regolazione dei due gruppi** risponde a logiche diverse ed utilizza la dosatura di carburante per il gruppo (N2) ed un sistema di palette statoriche orientabili poste tra il gruppo turbine del gruppo (N1) ed (N2).
- Il gruppo (N2) opera a giri fissi, il gruppo (N1) deve accettare forti variazioni di assorbimento del pneumatico velivolo e quindi di portata e di giri.

Altre tipologie di APU

Nel caso della stazione ISS & STS vengono utilizzati i tipi particolari di APU (due per ogni razzo a combustibile solido e tre sullo Shuttle) con la missione particolare di fornire potenza a delle pompe idrauliche, ma non basati sul ciclo Brayton.

Ram Air Turbine

Altro tipo di impianto ausiliario di cui sono dotati numerosi velivoli civili e militari ed utilizzato solo in volo in condizioni di emergenza è la **Ram Air Turbine**.

Tale dispositivo ha la caratteristica di fornire energia meccanica direttamente ad una **Pompa Idraulica** o più spesso ad un **Generatore Elettrico**, e la sua energia meccanica proviene direttamente da una elica messa in movimento grazie al moto relativo rispetto all'atmosfera esterna.

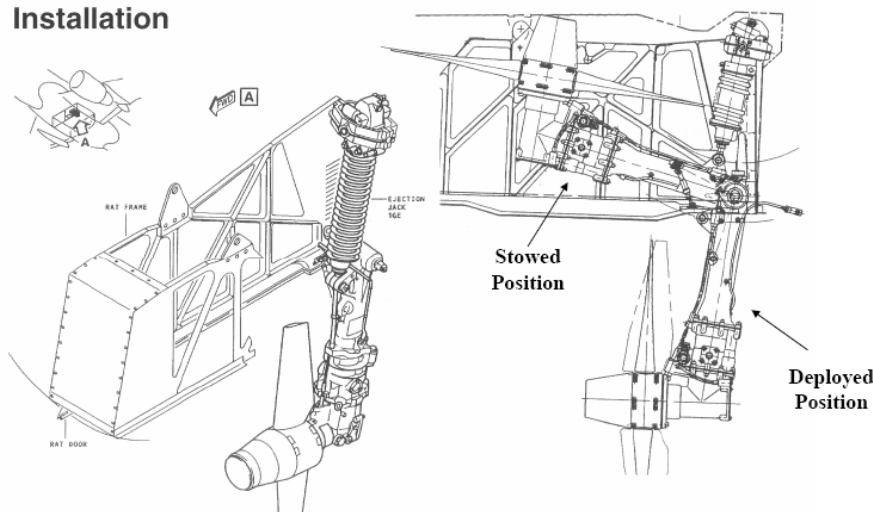
Il dispositivo RAT, in condizioni normali di volo, è posizionato all'interno della fusoliera e mantenuto chiuso mediante un portellone. Quando richiesto il portellone si apre ed una articolazione si estende e porta la il gruppo elica/regolatore di passo/riduttore di giri/generatore direttamente esposti al vento relativo.

In questo modo, senza trasformazioni termodinamiche, si ottiene una fonte di energia meccanica in modo semplice, economico ed affidabile.

Nelle immagini che seguono, tratte dalla documentazione di una nota ditta costruttrice di RAT sono presentati in modo semplice il dispositivo in condizioni sia retratto che esteso, e la sua missione in caso di emergenza.

Typical RAT Aircraft Installation

Installation



Emergency Ram Air Turbine

Purpose: provide emergency power to essential systems when all engines fail

- *Hydraulic power for powered actuation of flight control surfaces*
- *Electric Power for flight control computers, essential instruments, radio, cockpit lighting, windshield and pitot tube de-icing*

The airplane becomes a glider
when all engines fail

