

I MOTORI TURBOELICA

Introduzione

Tra gli aerei commerciali operanti con le maggiori linee aeree, oltre alle diffusissime macchine con motori Jet (un tempo turboreattori puri, oggi quasi esclusivamente turbofan con rapporti di By-pass sempre più alti), possiamo osservare modelli con propulsione a elica, i cui propulsori prendono il nome di turboeliche.

Spesso queste macchine suscitano, tra il pubblico di non addetti, sorpresa e qualche volta addirittura apprensione, perché si è portati, erroneamente, a considerare l'elica un qualcosa di "sorpasato", ed a considerare quindi più moderna e sicura la propulsione a getto.

I velivoli turboelica invece hanno ancora molte ragioni per esistere, ed in certe condizioni operative e per certi profili di missione presentano dei rendimenti superiori ai jet, oltre ad altri vantaggi, motivo che li rende ad essi preferibili. Si tratta quindi di macchine che hanno un loro ruolo ben preciso: le ultime e più famose realizzazioni (ATR 42 e 72, Bombardier Dash8-300 e -400 per citare i due leader di mercato) sono velivoli moderni che nulla hanno da invidiare ai loro fratelli jet, compreso l'equipaggiamento avionico.

Con questo lavoro si vuole spiegare le caratteristiche fondamentali dei motori turboelica, confrontandoli con i jet e mettendo in luce i loro vantaggi per certi tipi di impiego. Allo stesso modo si confronteranno con i motoelica per l'utilizzo nell'aviazione generale, ed arriveremo a definire un campo di utilizzo ottimale per questi motori.

Passeremo poi alla spiegazione del loro funzionamento e passeremo poi in rassegna due propulsori molto diffusi e rappresentativi, uno molto utilizzato in velivoli di Aviazione Generale e l'altro in velivoli regional di linea.

Abbiamo detto che in determinate condizioni operative la propulsione attraverso un'elica offre rendimenti notevolmente migliori rispetto alla propulsione a getto. E, azionando un'elica con questo tipo di motore, invece che un motore a pistoni, si hanno molti vantaggi, riassunti qui di seguito.

Confronto tra turboelica e motoelica nell'impiego in aviazione generale

Rispetto ad propulsore alternativo a ciclo otto (il classico motore "a pistoni"), il turboelica presenta questi vantaggi:

- *Maggior compattezza e minor ingombro frontale*
- *Miglior rapporto peso potenza*
- *Combustibile meno infiammabile*
- *Minor complessità costruttiva, con conseguente facilità di manutenzione e maggiori intervalli tra le revisioni.*
- *Maggior semplicità di gestione*

I turboelica hanno praticamente soppiantato i motori a ciclo otto per potenze sopra i 350-400 Cavalli. Analizziamo più in dettaglio questi vantaggi.

La *ridotta sezione frontale* di questi motori permette una minore resistenza aerodinamica dell'aeromobile, un dettaglio per nulla trascurabile considerando le velocità dei moderni aeromobili. Il miglior *rapporto peso/potenza*: per fare un paragone, esso è circa quattro più favorevole rispetto ad un motore a pistoni. Paragonando due comunissimi motori, il Lycoming IO-360 e il Pratt&Whitney Canada PT6A-34, si nota che, a fronte di un solo chilogrammo di differenza nel

peso (circa 136 e 137 Kg), il primo eroga una potenza di 200 Hp, il secondo 750. In termini di rapporto peso potenza, il motore a scoppio è capace di produrre 1,47 Cavalli per Kg, il turboelica invece ne può produrre 5,47.

I turboelica, al contrario dei motori a pistoni che utilizzano la normale benzina Avio (AVGAS 100 LL), utilizzano per il loro funzionamento il Kerosene, come i motori a getto (da cui derivano), più sicuro rispetto alla benzina.

Questi motori sono costruttivamente più semplici rispetto ai motori a ciclo otto, con minori parti in movimento e quindi minori possibilità di avaria. Ciò si traduce in maggior affidabilità e intervalli di revisione più lunghi rispetto ai motoelica. Anche i consumi di lubrificante sono molto inferiori.

Sono inoltre più semplici da gestire durante il volo da parte del pilota: i moderni turboelica flat-rated offrono ottime prestazioni dal livello del mare fino ad alti livelli di volo, non hanno problemi di raffreddamento durante le discese (che tra l'altro con l'aiuto dell'elica in campo beta possono essere compiute anche su traiettorie ripide). Non richiedono, come invece accade sui motori a pistoni, interventi sul correttore della miscela, sull'aria calda o sui flabelli, perché sono inesistenti sui turboelica.

Inoltre il livello di rumorosità e di vibrazioni è inferiore, offrendo maggior confort in cabina.

Per contro, gli svantaggi rispetto ai motoelica si possono tradurre in rendimenti relativamente bassi (e quindi consumi specifici più elevati) a bassa quota e negli alti costi di produzione e acquisto.

Per questo motivo gli aerei più piccoli della flotta AG, come la maggior parte dei monomotori e alcuni bimotori, continueranno ancora senza problemi ad esser equipaggiati con motori a pistoni. Non avrebbe senso, ad esempio, equipaggiare un aereo scuola, che verrà prevalentemente usato in VFR a quote relativamente basse, con un motore a turbina molto potente ma non efficientissimo a basse quote e dal costo molto elevato, quasi superiore all'intera cellula.

Per questi tipi di aeromobile il motoelica è ancora la scelta migliore sotto tutti i punti di vista, mentre è stato quasi completamente soppiantato nelle potenze più elevate dalle turbine, che hanno decretato la quasi scomparsa dei motori a pistoni di grande potenza.

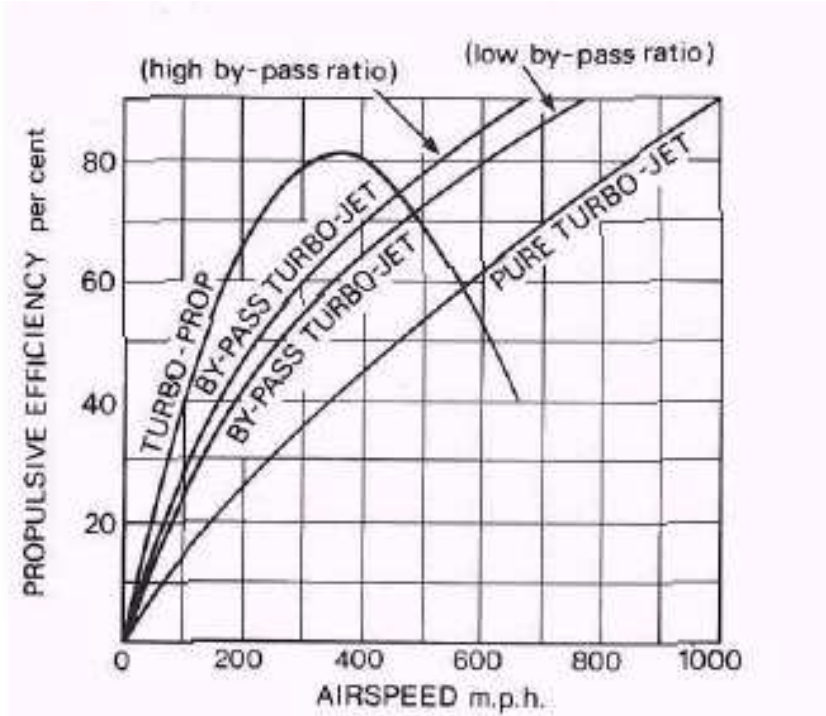
Confronto tra turboelica e jet

Introduciamo brevemente il concetto di rendimento propulsivo: esso è indice della capacità di trasformare l'energia cinetica impressa al fluido operativo (aria o gas di combustione) in lavoro utile per la propulsione. I due fattori che lo influenzano maggiormente sono la velocità W con cui il fluido lascia il propulsore e la velocità di volo V : tanto più W è maggiore di V tanto è minore il rendimento propulsivo.

E' determinato tramite la relazione : $2 / [1 + (W / V)]$

Un istante prima dell'inizio della corsa di decollo, quando il propulsore genera la massima spinta ma l'aereo è tenuto fermo dai freni, il rendimento propulsivo è uguale a 0, perché la velocità è uguale a 0. Man mano che V aumenta il rendimento propulsivo cresce (teoricamente potrebbe diventare uguale a 1 (100 %) se V potesse aumentare fino a diventare uguale a W). Tenendo in considerazione quindi che il rendimento propulsivo dipende da W/V e ricordando la formula della spinta (che è data dalla differenza $(W-V)$ moltiplicata per il flusso massico) si nota che per ottenere rendimenti propulsivi elevati, quindi con bassi consumi specifici, tenendo ugualmente alta la spinta, si deve privilegiare la massa d'aria da accelerare rispetto alla velocità della stessa. Siccome la velocità di volo V degli aeromobili subsonici è molto inferiore a W , il rendimento propulsivo dei turboreattori puri è abbastanza basso. Se però diminuiamo W ma nello stesso tempo aumentiamo la massa (per non determinare una diminuzione di spinta) otteniamo un motore con un più alto

rendimento propulsivo, e quindi di conseguenza minori consumi specifici (oltre a minore rumorosità e inquinamento). E' quello che fanno i motori turbofan, ormai entrati nell'uso comune sui liners subsonici. Ed è il motivo per cui i costruttori si orientano verso motori turbofan e turboeliche nella propulsione civile, relegando i turboreattori puri o a basso By Pass ad applicazioni militari



Propulsive efficiencies and aircraft speed.

© Rolls-Royce plc

Diagramma del rendimento propulsivo per vari tipi di motore

Con l'aiuto del grafico sopra riportato, in cui viene messo a confronto il rendimento propulsivo dei vari tipi di motore in funzione della velocità, possiamo notare come nei turboelica il rendimento propulsivo sale molto rapidamente all'aumentare della velocità, esaltando quindi le prestazioni di decollo e salita degli aerei su cui sono montati. Anche il valore massimo è superiore, ma appena viene raggiunto il calo è abbastanza veloce. E' evidente quindi come la limitazione principale sia la velocità di volo in cui si raggiunge il picco, a seguito del quale si ha una rapida diminuzione a causa della resistenza aerodinamica e della cavitazione dell'estremità delle pale dell'elica, indotte dalle onde d'urto causate dai fenomeni di compressibilità dell'aria in regime transonico.

E' da aggiungere poi, anche se le ultime realizzazioni hanno limitato molto questo problema (vedi Bombardier con la serie Q che ha una rumorosità in cabina paragonabile ad un jet), che in generale i turboelica sono un po' più rumorosi e generano maggiori vibrazioni rispetto ai motori a getto.

La velocità rappresenta quindi per la propulsione ad elica un limite, e questo appare uno svantaggio per tratte lunghe, dove questi velivoli sono sfavoriti rispetto a quelli con motori turbofan. Su queste tratte la propulsione a getto, che dà il meglio di sé ad alte velocità e ad alte quote, è decisamente più indicata.

Sulle brevi tratte di tipo regional però il discorso è diverso: il turboelica permette risparmi considerevoli in termini di consumo rispetto ad un turbofan, e lo svantaggio introdotto dalla minore velocità si fa sentire in maniera molto limitata. Tratte che, tra l'altro, si adattano molto bene alle caratteristiche prestazionali di questi propulsori che, come abbiamo detto, esaltano le prestazioni di

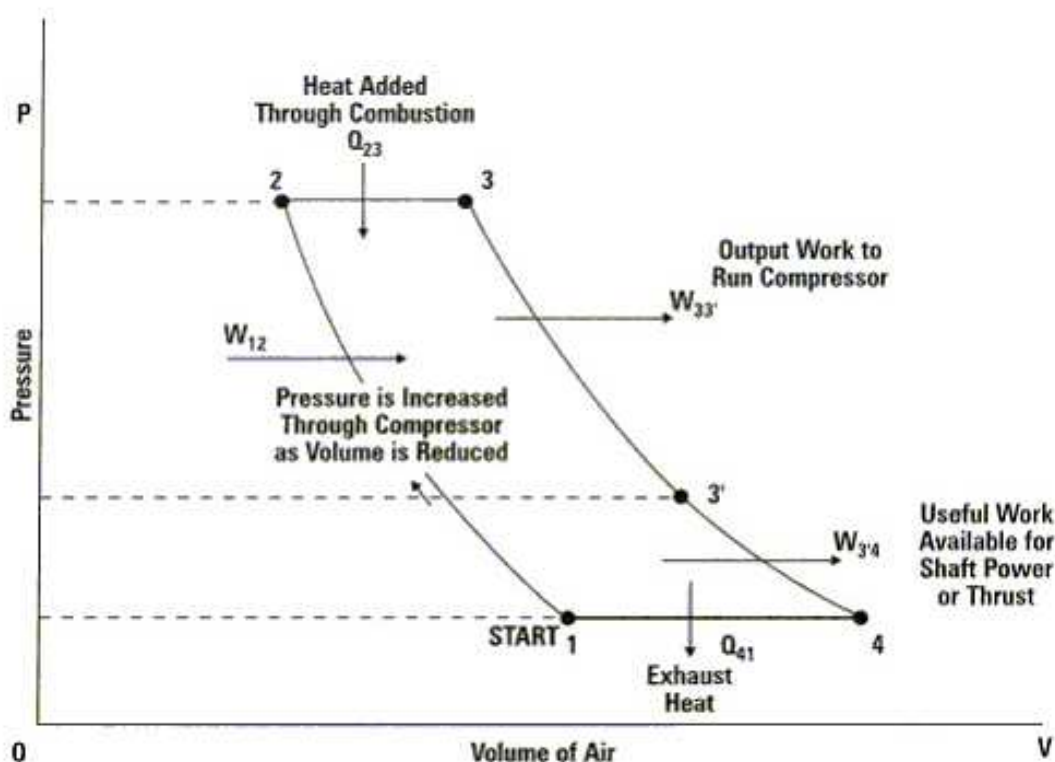
decollo e salita del velivolo in tempi brevi, con una significativa riduzione anche delle distanze di decollo e la possibilità di operare quindi da aeroporti con piste di limitata lunghezza.

E' questo il campo naturale di utilizzo, dove i turboprop rappresentano la scelta migliore. Come già accennato poi, gli ultimi modelli realizzati dai vari costruttori non hanno nulla da invidiare come equipaggiamento, avionica, comfort e sicurezza ai loro fratelli jet.

Funzionamento dei motori turboelica e loro componenti

Ciclo di funzionamento

Da un punto di vista termodinamico, queste macchine, come tutte le turbine a gas, utilizzano il ciclo Brayton.



Ciclo Brayton

Contrariamente al ciclo del motore alternativo (ad esempio quello che equipaggia le normali automobili, che si basa sul ciclo Otto oppure Diesel), che si svolge in un unico contenitore (il cilindro), il ciclo delle turbine a gas, si svolge in quattro elementi: compressore, camera di combustione, turbina, ugello terminale con lo scarico in aria libera.

Riportando il ciclo su un tipico diagramma p-v (pressione-volume) avremo (riferendoci al ciclo teorico):

- Una compressione adiabatica, 1-2, durante la quale l'aria, ricevendo il lavoro W_{12} dal compressore, passa dalla temperatura T_1 e dalla pressione p_1 alla temperatura T_2 e alla pressione p_2 .
- Una trasformazione (combustione) a pressione costante 2-3, durante la quale viene ceduta al fluido la quantità di calore Q_{23} , nelle camere di combustione: alla fine (punto 3), il fluido avrà una temperatura T_3 (maggiore naturalmente di T_2 , ma minore della temperatura di combustione,

perché comprende anche l'aria del raffreddamento che non ha partecipato alla combustione) e la pressione p_2 .

- Una espansione 3-4 che si divide in due tratti: il primo (3-3') avviene nella turbina (al termine il fluido avrà temperatura T_3' e pressione p_3'), e il lavoro prodotto dal fluido durante questa prima espansione serve ad azionare il compressore ed è uguale al lavoro W_{12} assorbito dal compressore nella trasformazione 1-2.

Il secondo tratto (3'-4), avviene nell'ugello ed in questa seconda espansione il fluido subisce una forte accelerazione che lo porta alla velocità di uscita U (nel caso di un jet)

Da ultimo avviene lo scarico 4-1 che avviene all'aria aperta, a pressione costante. Nel caso di un motore turboelica, l'espansione 3'-4 avviene sulla turbina che darà il moto all'elica.

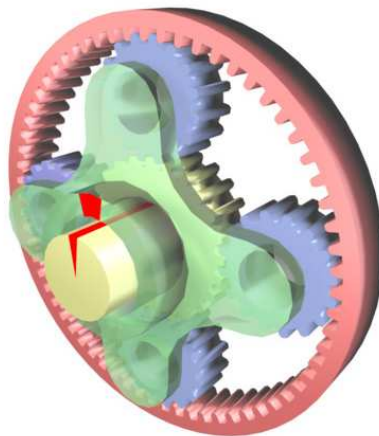
Il rendimento teorico di questo ciclo dipende principalmente dal rapporto di compressione, ed aumenta all'aumentare di esso. Chiaramente il ciclo teorico non è realizzabile nella realtà; ad esempio nel ciclo reale le compressioni non sono adiabatiche e inoltre bisogna tenere conto delle varie perdite all'interno del motore. Il rendimento termico del ciclo reale cresce quanto maggiore è la temperatura a cui vengono portati i gas durante la combustione, prima dell'espansione. Questo valore naturalmente non può aumentare all'infinito, dato che la temperatura deve stare entro i limiti imposti dai materiali con cui sono costruite le turbine (i materiali moderni, i miglioramenti delle tecniche metallurgiche e i sistemi di raffreddamento in uso oggi hanno comunque permesso di innalzare molto le temperature a cui le turbine possono resistere).

Particolarità costruttive dei turboelica

Riduttore

Dal punto di vista costruttivo e del funzionamento un turboelica non differisce molto da un turbofan. Una differenza sostanziale è che, mentre nel turbofan il fan (che è intubato) gira alla stessa velocità della turbina (LP) che lo aziona, nei turboelica occorre invece interporre un riduttore tra turbina ed elica, dato che questa è limitata nel suo regime di rotazione, non potendo funzionare a velocità transoniche o supersoniche, campi in cui il rendimento della stessa cala bruscamente e aumenta in maniera molto rilevante la resistenza dovuta alle onde d'urto che si sviluppano.

Il riduttore è uno dei componenti più delicati del motore, avendo il gravoso compito di trasmettere potenze rilevanti con rapporti di riduzione elevati. Possono essere costituiti da più stadi di ruote dentate in serie l'uno all'altro. Ogni stadio può essere costituito da un pignone con un piccolo numero di denti che ingrana una ruota di maggiore diametro con un numero di denti elevato (che rappresenta il più semplice e classico dei riduttori) oppure, più spesso, da un sistema epicicloidale o planetario.



Riduttore epicicloidale

E' costituito da un ingranaggio centrale e da un anello con dentatura interna, entro cui scorrono più ruote planetarie unite e tenute in sede da un'apposita gabbia. Il moto è applicato all'ingranaggio centrale, con l'anello esterno fissato al carter, l'albero dell'elica è trascinato dal porta planetari. Se occorre, il porta planetari può azionare l'ingranaggio centrale di un altro riduttore in serie e via discorrendo, permettendo di avere forti rapporti di riduzione con un dispositivo compatto e con gli alberi di ingresso-uscita allineati.

Turbine e potenze

In un motore a getto, la turbina sottrae al flusso di gas l'energia per azionare il compressore: la rimanente parte di energia verrà sfruttata nell'ugello di scarico per ottenere la spinta.

Nei turboelica la turbina deve sottrarre al flusso di gas la maggior parte di energia, con cui azionerà non solo il compressore ma anche l'albero dell'elica. Dato che non si può sfruttare tutta l'energia contenuta nei gas, solo la rimanente parte, dell'ordine del 10 % verrà sfruttata nell'ugello per ottenere una spinta, anche se minima.

Mentre in un motore Jet non ha assolutamente senso parlare di Potenza, ma è corretto parlare di spinta, nei turboelica possiamo chiaramente indicare la potenza espressa all'albero, definita **shp** (*Shaft Horse Power*). Se però consideriamo la potenza equivalente generata dalla spinta ottenuta dai gas (**Thp**: *Thrust Horse Power*. Per il calcolo è convenzionalmente accettato, in condizioni statiche e al livello del mare, che 1 Shp sia equivalente approssimativamente a 2.6 Lbs di spinta) otteniamo la T.e.h.p (Total equivalent horse power, spesso indicata solo come **Ehp** (Equivalent Horse Power).

Ci sono due schemi costruttivi fondamentali usati nei turboelica; uno prevede che la turbina e il compressore siano montati sullo stesso albero. Questa configurazione, definita a *Presa Diretta*, è ancora in uso su pochi tipi di propulsore. La configurazione ormai più diffusa è quella a *Turbina Libera*, dove la turbina che aziona il compressore e quella che aziona l'elica sono svincolate. La prima, la turbina del compressore, aziona solamente lo stesso. Segue poi la turbina libera, svincolata dall'albero del compressore, che aziona l'albero dell'elica (attraverso naturalmente il riduttore). Questa turbina prende anche il nome di *Turbina di Potenza*.

Compressori

Nei motori a turboelica viene spesso utilizzato, al contrario che nei grossi turbofan, il compressore centrifugo. Esso si adatta molto bene all'utilizzo in questi motori perché:

- Con un solo stadio permette di raggiungere buoni rapporti di compressione
- Ha dei buoni rendimenti e ampia flessibilità all'interno dei regimi di utilizzazione
- E' semplice e quindi relativamente economico da costruire
- Ha un peso ridotto e quindi richiede basse potenze per la messa in moto, quindi starter più leggeri.

Per contro presenta lo svantaggio di avere una elevata sezione frontale e mal si adatta ad essere accoppiato in più di due stadi, dove si verificherebbero drastiche perdite di rendimento.

Quindi, fino a che le potenze non superano certi valori, rappresenta la scelta migliore. Al di sopra, quando si imporrebbero giranti di notevole diametro oppure in numero superiore a due, è d'obbligo l'utilizzo del compressore assiale, praticamente generalizzato sui Jet e sui turboelica di grande potenza. Anche se, allo stato dell'arte attuale, molti costruttori sono orientati all'utilizzo del compressore assiale anche nelle piccole potenze.

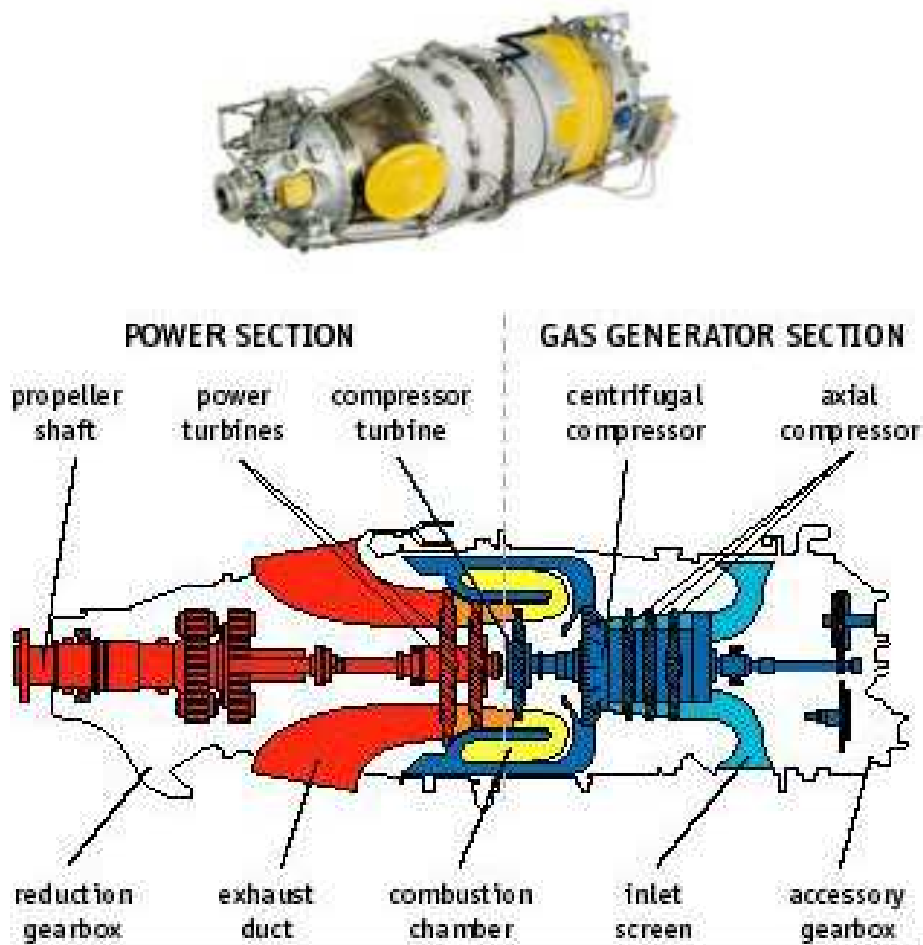
Prese d'aria

La presenza del riduttore rappresenta un ostacolo non indifferente nella progettazione della presa d'aria, rispetto ad un jet. Alcuni si orientano in prese d'aria che circondano l'ogiva dell'elica e il riduttore, altri pongono la presa sotto il riduttore. Sono comunque sempre riscaldate o con aria spillata dai compressori o elettricamente. Su alcuni turboelica e su praticamente tutti gli elicotteri (dove questi propulsori prendono il nome di *Turboalberi*), è presente il separatore inerziale, che ha lo scopo di depurare il flusso d'aria in entrata da particelle solide estranee sollevate dall'elica o dal rotore.

Passiamo ora all'analisi di due motori turboelica molto rappresentativi: uno utilizzato su molti aerei di Aviazione Generale e l'altro su molti aerei commerciali regional di linea. Il Pratt&Whitney Canada PT6A e il Pratt & Whitney Canada PW100

IL Pratt & Whitney Canada PT6A

I motori di questa serie sono i turboelica più diffusi al mondo e sono impiegati per la propulsione di numerosissimi aeromobili, tra cui ricordiamo i Piper Cheyenne, i Beechcraft King Air, i Cessna Caravan, i Pilatus, i TBM700 e, nella versione turboalbero, numerosi elicotteri. Sono offerti in varie versioni, con potenze che variano grossomodo tra 500 e 1900 Cavalli. La configurazione è la stessa per tutti, cioè a turbina libera.



© Pratt & Whitney corp.

PT6A – Schema generale

Le varie versioni sono raggruppate in due categorie: Small e Large. Le versioni appartenenti alla prima categoria (quelle di potenza minore) hanno una turbina a singolo stadio per l'azionamento del compressore, ed una turbina di potenza sempre monostadio.

I Large (versioni più potenti) hanno uno stadio in più sulla turbina di potenza.

Osservando lo schema si nota subito che la disposizione degli organi del motore e quindi il deflusso del fluido operativo è invertito rispetto al senso di marcia del velivolo.

Il percorso del fluido è abbastanza tortuoso: l'aria viene raccolta da una presa d'aria ricavata sulla cappottatura esterna del motore, e convogliata verso il condotto anulare di ingresso, situato vicino all'estremità posteriore del motore. Da qui l'aria viene indirizzata verso il compressore e in seguito alle camere di combustione a flusso invertito. Dopo avere ceduto la propria energia alle turbine del compressore e di potenza, il gas di scarico viene indirizzato verso i tronchetti di scarico ricurvi all'indietro (non rappresentati in figura), dove si riesce a ricavare una seppur minima spinta. La scatola degli accessori si trova nell'estremità posteriore del motore ed è azionata direttamente da un prolungamento dell'albero del compressore.

I particolari costruttivi descritti in seguito, anche se validi in generale per tutta la serie, si riferiscono al molto diffuso PT6A-34.

La sezione del compressore

Il condotto di aspirazione è ricavato da una fusione di alluminio la cui parte anteriore costituisce la camera di ingresso dell'aria mentre la parte posteriore offre lo spazio per il serbatoio integrale dell'olio. Il serbatoio è chiuso da dietro dalla scatola degli accessori, applicata al carter del compressore. Il condotto di aspirazione è protetto esternamente da un cilindro di rete metallica, posto a impedire l'ingresso di corpi estranei.

Il compressore è costituito da tre stadi di compressione assiali e da uno stadio centrifugo; l'albero del compressore poggia su due cuscinetti. Tra il terzo stadio assiale e lo stadio centrifugo è posta una *bleed valve*, avente lo scopo di evitare lo stallo del compressore assiale in determinate condizioni di funzionamento, come ad esempio durante le brusche accelerazioni. Una volta uscita dallo stadio centrifugo l'aria passa per il diffusore a sezione divergente, con adeguata palettatura interna per raddrizzare i flussi verso la camera di combustione (il raddrizzamento del flusso senza avere eccessive perdite di carico è uno dei problemi principali nell'utilizzo dei compressori centrifughi).

Sezione camere di combustione e turbine

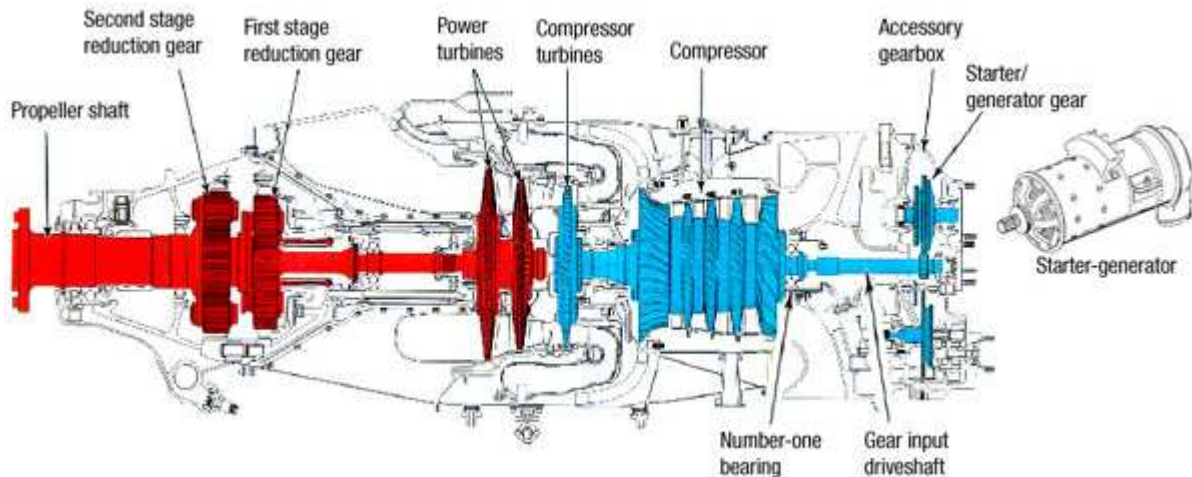
La camera di combustione è del tipo anulare a flusso invertito, con due candele di accensione e 14 ugelli per il carburante, 7 collegati al distributore primario e 7 al principale. La turbina del compressore è monostadio, con palette unite al disco mediante attacco fir-tree: la massima velocità di rotazione concessa al gruppo Ng è di 37500 RPM.

La turbina libera (di potenza) è monostadio (a due stadi nelle applicazioni Large, più potenti), montata su un albero svincolato da quello del compressore che appoggia posteriormente su un cuscinetto a rulli e anteriormente su uno a sfere. Le estremità delle palette della turbina di potenza sono unite da un anello esterno che ha lo scopo di limitare il trafilamento di gas tra le estremità delle palette e il carter esterno, aumentando il rendimento. La velocità di rotazione massima concessa alla turbina di potenza è di 33000 RPM. La parte di energia che la turbina non riesce a trasformare in potenza per l'elica viene utilizzato per produrre una spinta, anche se minima, attraverso lo scarico.

Condotto di scarico e riduttore

Il condotto di scarico è formato da due sezioni concentriche: quella esterna è munita di due luci munite di flangia a cui sono applicati i tronchetti di scarico, rivolti all'indietro, in senso contrario al moto, così da far generare ai gas uscenti più spinta possibile. La parte interna ospita l'albero che porta al riduttore e la parte posteriore della scatola dello stesso. Un manicotto di materiale isolante evita che un eccessivo calore venga trasmesso dai gas di scarico all'albero e al riduttore.

Il riduttore è formato da due gruppi planetari disposti in serie: il primo stadio, collegato alla turbina libera, riduce parzialmente la velocità trasmettendo poi il moto al secondo stadio che completa la riduzione portando il valore della velocità dal massimo di 33000 concesso alla turbina al massimo di 2200 concesso all'elica, con un rapporto di riduzione di 15:1. I cuscinetti del riduttore e dell'albero dell'elica, pur non essendo considerati parte integrante del motore, sono comunque collegati al circuito di lubrificazione dei cuscinetti del compressore e delle turbine. L'olio è impiegato anche per il funzionamento del rilevatore di coppia (Torque meter), applicato al primo stadio del riduttore, che fornisce l'indicazione in cockpit. Ricordiamo che la coppia è il valore fondamentale che si utilizza per la regolazione dei turboelica durante il loro utilizzo.



PT6A

La sezione accessori, come già sottolineato, è all'estremità opposta del motore, applicata al carter del compressore, e la faccia anteriore di essa costituisce la faccia posteriore del serbatoio integrale dell'olio di lubrificazione.

Data la leggerezza dei gruppi di questi motori, di solito vengono utilizzati starter elettrici, più che sufficienti per l'avvio di questi propulsori. Ricordiamo che nei grossi turbofan invece gli starter sono di tipo pneumatico.

Applicazioni con elica spingente

In alcuni velivoli (es: Piaggio Avanti), dovendo azionare eliche spingenti, questi motori si trovano capovolti rispetto all'uso tradizionale.

La presa d'aria, in questi casi, non essendo ostruita dall'elica e dal riduttore e trovandosi all'estremità del motore che porta il condotto anulare di aspirazione, è di più semplice costruzione, essendo una semplice apertura nella cappottatura. I tronchetti di scarico, allo stesso modo, sono rivolti all'indietro verso l'elica, già nella direzione di deflusso.

Eliche

Ai propulsori turboelica sono applicate eliche a passo variabile reversibili, quindi con pale il cui angolo di calettamento può variare da 90° positivi (in bandiera) a 15 ° negativi (in reverse). Hartzell è il costruttore che fornisce la maggior parte delle eliche per gli aerei di AG, di cui molti equipaggiati con il PT6A.

Non ci dilungheremo in una approfondita trattazione della teoria delle eliche, della variazione del passo e nella spiegazione dettagliata dei vari meccanismi di variazione e del regolatore, dato che tutti questi argomenti da soli richiederebbero una trattazione a se stante di molte pagine. Forniamo qualche dettaglio per rendere l'idea del funzionamento di massima.

Le eliche applicate sui turboelica come il PT6A si differenziano da quelle applicate sui bimotori a pistoni per la possibilità di assumere passi negativi e funzionare quindi in reverse. Esiste in questi sistemi una forza fissa, ottenuta dall'azione combinata di una molla e della forza centrifuga applicata a appositi contrappesi, che tende a spingere le pale verso il passo massimo (in bandiera), ed una forza variabile, che agisce in senso opposto. Essa quindi spingerà le pale verso passi sempre più ridotti, il passo minimo e poi il reverse: è fornita da olio in pressione proveniente dal circuito di lubrificazione del motore. Sono dotati, a differenza delle eliche dei motori a pistoni, non di uno ma di tre regolatori differenti: due hanno la funzione di evitare il fuorigiri dell'elica e della turbina libera, e sono tarati dal costruttore e non modificabili. L'altro, invece, è quello controllabile da bordo con l'apposito comando, abbastanza simile a quello dei motoelica.

Nella cavità nel duomo dell'elica vengono fatte fluire o defluire le quantità d'olio dosate dal regolatore; esse agiscono sulla faccia esterna di un pistone contrastando più o meno la forza fissa, che tende verso il passo bandiera.

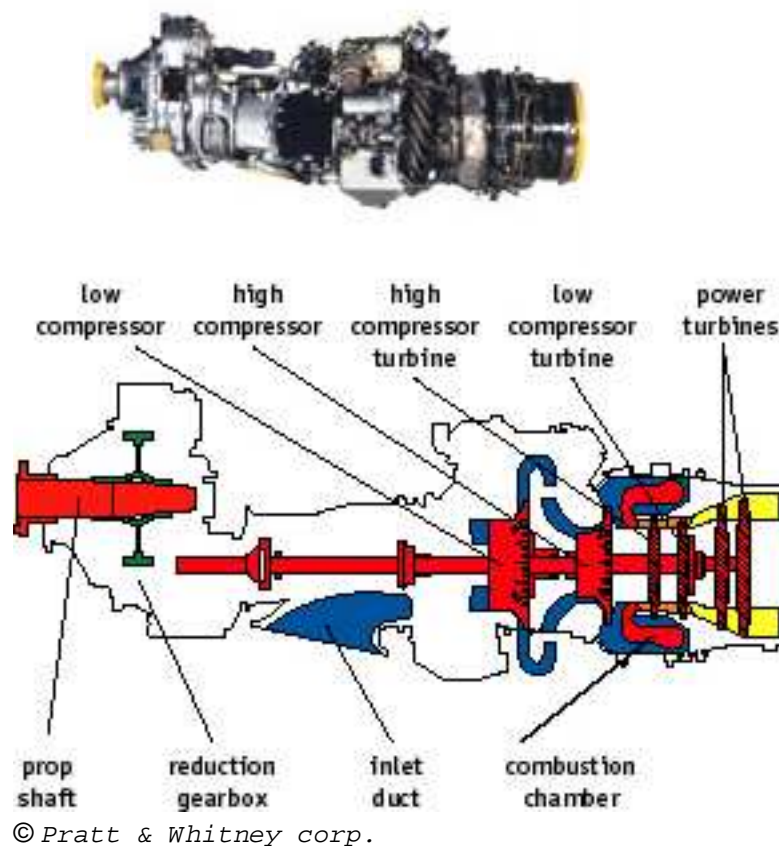
Il regolatore chiamato HTG funziona come limitatore; collegato al riduttore scarica l'olio dalla camera di trasferimento quando l'elica dovesse superare il 104% dei giri massimi (2288 RPM). Il terzo limitatore, collegato anch'esso al riduttore e inteso come dispositivo di sicurezza, è predisposto per intervenire in caso di malfunzionamento degli altri due: la sua attivazione è prevista al raggiungimento da parte della turbina libera di un numero di giri corrispondente, secondo il rapporto di riduzione, al 106% dei giri di volta in volta selezionati dal pilota con il comando dell'elica. Esso interviene agendo sull'FCU del motore, provocando una diminuzione di combustibile agli ugelli.



Pilatus PC-7 Propulsore: PT6A-25 da 550 shp

Il Pratt&Whitney Canada PW100

Questa serie di propulsori, disponibile in un range di potenze da 1800 a 2900 Cavalli, sono progettati per la propulsione di aerei da trasporto regionale come i molto diffusi ATR 42 e 72 e i Bombardier Dash8.



PW100 – Schema generale

Hanno una costruzione di tipo bialbero, con due compressori centrifughi di bassa e alta pressione, ognuno azionato da una propria turbina monostadio, di alta e bassa pressione. La camera di combustione è del tipo anulare a flusso invertito, e la turbina libera è a due stadi. Essa trasmette il moto al riduttore, il quale aziona l'albero dell'elica, situato più in alto di quello del motore.

Nel corso degli anni questo motore, che è il leader nella propulsione dei turboprop regionali, ha potuto godere di molte innovazioni introdotte dal costruttore, incorporando alcune innovazioni introdotte precedentemente nei motori turbofan di Pratt & Whitney, con un incremento delle prestazioni e nei consumi, come ad esempio i controlli elettronici del motore in luogo delle classiche FCU (pur mantenendo un sistema meccanico di back-up).

A questi propulsori vengono di solito abbinate eliche quadripala o più, come ad esempio quelle costruite dalla Hamilton-Standard, sempre a passo variabile e reversibili, con un sistema di azionamento però diverso da quello utilizzato sui più piccoli aerei di AG propulsi dal PT6A.



ATR 72-500 Propulsori: due P&W Canada PW127F da 2750 shp



Bombardier Dash 8-Q300 Propulsori: due P&W Canada PW123B da 2500 shp

Conclusioni

Con questo lavoro si è voluto spiegare il funzionamento e l'utilizzo principale dei motori turboelica. Come si è più volte sottolineato essi sono costruttivamente molto simili ai motori jet con cui condividono molti componenti, la struttura generale ed il ciclo di funzionamento, con alcuni vantaggi in determinate missioni, come spiegato prima. Mantengono inoltre inalterata rispetto ai jet la sicurezza e l'affidabilità di funzionamento, rappresentando una scelta ottimale come performance ed economia di esercizio in alcuni campi dell'aviazione generale e negli aeromobili adibiti a tratte regional.

ACKNOWLEDGMENTS

Alcune immagini dell'approfondimento sono proprietà esclusiva di RollsRoyce plc e pertanto ne è vietata la riproduzione.

Alcune immagini dell'approfondimento sono proprietà esclusiva di Pratt & Whitney Corp. e pertanto ne è vietata la riproduzione.

*Paolo "JT8D"
Copyright MD80.it 2008*

BIBLIOGRAFIA

AA.VV. *"Jet engines"*, Rolls Royce plc, Derby, 1996

R.Trebbi *"Propulsione aeronautica"*, Aviabooks, Torino, 2003

AA. VV. *"The aircraft Gas Turbine Engine and its operation"*, Pratt & Whitney Corp., 1990