

Traduzione dell'articolo "CRITICAL COMPONENT FAILURES" di Mike Busch tratto dalla rivista Sport Aviation di marzo 2010.

Manutenzione orientata all'affidabilità, parte 3.

AVARIE DI COMPONENTI CRITICI.

### SOMMARIO

Terzo articolo della serie che esamina i componenti del motore maggiormente soggetti a guasti, ne analizza brevemente le caratteristiche, cause, effetti e azioni manutentive efficaci da intraprendere e a costi adeguati.

---

Per applicare correttamente i principi della manutenzione orientata all'affidabilità (RCM) alla manutenzione dei motori a pistoni dei nostri velivoli, dobbiamo analizzare i modi di guasto e le loro conseguenze su ogni componente principale di questi motori.

Il mese scorso, abbiamo considerato le caratteristiche di avarie catastrofiche dei motori a pistoni e abbiamo affermato che il rischio predominante di queste avarie è maggiore quando i motori sono giovani, non quando sono vecchi. Questo mese, esamineremo i componenti critici dei motori, come si guastano, quali conseguenze comportano sull'operatività del motore stesso e sulla sicurezza di volo, quale tipo di azioni manutentive possiamo intraprendere nei loro confronti, che siano efficaci e con costi adeguati.

### **Albero motore**

E' difficile immaginare un'avaria di un motore a pistoni più importante della rottura dell'albero motore. Se l'albero si rompe, il motore pianta.

Ma gli alberi motore raramente sono sostituiti durante una revisione. La Lycoming afferma che i suoi alberi motore spesso rimangono in servizio per oltre 14000 FH e per 50 anni. La Teledyne Continental Motor (TCM) non ha pubblicato dati simili, ma i suoi alberi probabilmente hanno una longevità analoga.

Gli alberi motore si rompono per tre ragioni: 1) rotture precoci, dovute a materiale non adeguato o errori di fabbricazione, 2) rotture dovute a urti dell'elica non riportati, 3) rotture secondarie per mancanza di lubrificazione e/o blocco dei cuscinetti.

Abbiamo osservato, in anni recenti, una notevole serie di guasti precoci. Sia la TCM che la Lycoming hanno richiamato molti alberi perché forgiati con materiali non adeguati o perché fisicamente danneggiati durante la fabbricazione. Queste danni sono avvenute invariabilmente entro le prime 200 ore di funzionamento dall'entrata in servizio dopo la fabbricazione. Se un albero motore supera le 200 ore, possiamo essere fiduciosi che la produzione è stata corretta e che dovrebbero funzionare per molti TBO.

Gli urti all'elica non riportati sembrano diminuire, perché gestori e meccanici stanno diventando attenti al rischio elevato di usare un motore dopo un urto all'elica. Sia TCM che

Lycoming affermano che ogni impatto dell'elica che la danneggi abbastanza da essere rimossa e riparata, richiede almeno un'ispezione al motore sbarcato. Si deve fare anche quando l'urto all'elica è avvenuto a motore fermo. L'assicurazione paga lo smontaggio del motore e ogni riparazione necessaria, nessuna difficoltà, nessun rompicapo.

Restano i guasti per mancanza di lubrificazione e/o guasti dei cuscinetti. Parleremo di questi, quando esamineremo pompe e cuscinetti.

## **Basamento del motore**

I basamenti sono raramente sostituiti durante le revisioni principali e, spesso, rimangono in servizio per molti TBO. Se il carter resta in servizio abbastanza a lungo, potrebbe, alla fine, incrinarsi. La buona notizia è che la cricca si propaga lentamente, così l'ispezione annuale particolareggiata è sufficiente per rilevarla, prima di diventare una minaccia per la sicurezza. Le avarie del motore dovute a queste cricche sono veramente rare.

## **Alberi a cammes e bicchierini**

L'interfaccia camme/bicchierino esercita più pressione e attrito di ogni altra parte in movimento del motore. I lobi delle cammes e le facce dei bilancieri devono essere dure e lisce per poter funzionare ed essere durevoli. Anche solo un punto di corrosione (causata dallo scarso utilizzo o dall'aumento dell'acidità dell'olio) può comportare un rapido rovinio (scheggiatura) delle cammes e dei bilancieri e la necessità di uno sbarco prematuro. Questa è la ragione principale che impedisce al motore di raggiungere il TBO. Questo problema riguarda principalmente i velivoli usati dai gestori, perché volano senza regolarità e restano fermi per alcune settimane.

I problemi all'albero a cammes e ai bicchierini causano raramente avarie disastrose per il motore. Esso continua a fornire potenza anche con superfici delle cammes usurate al punto da aver consumato parecchio metallo, anche se con potenza un po' inferiore. Di solito, si scopre il problema quando si apre il filtro dell'olio e lo si trova pieno di metallo.

Se non si taglia il filtro dell'olio e lo si ispeziona regolarmente, l'usura delle cammes e dei bicchierini può progredire non rilevata fino al punto in cui il materiale ferroso circola nell'impianto lubrificante e contamina i cuscinetti del motore. In rari casi, ciò può provocare un guasto disastroso al motore. Un programma di ispezione regolare del filtro e l'analisi dell'olio prevengono questo tipo di avaria.

Se il motore vola regolarmente, cammes e bilancieri possono restare nella situazione originaria per migliaia di ore. Alcune officine di riparazione sostituiscono d'abitudine cammes e bilancieri con altri nuovi alle revisioni principali, mentre altre officine li rilavorano. Molti esperti coscienti sono d'accordo che cammes e bicchierini rilavorati correttamente sono affidabili quanto quelli nuovi.

## **Ingranaggi**

Il motore contiene molti ingranaggi: albero motore e albero a cammes, pompe olio e combustibile, magneti e accessori, regolatore dell'elica e, talvolta, alcuni alternatori. Questi ingranaggi, di solito, hanno una vita utile lunga e non sono normalmente sostituiti alle revisioni

principali, a meno che si trovino dei danni. Gli ingranaggi raramente provocano danni distruttivi al motore.

## **Pompa dell'olio**

Il guasto della pompa dell'olio è occasionalmente responsabile di un'avaria distruttiva del motore. Se la pressione dell'olio si riduce, il motore si arresta abbastanza rapidamente. La pompa dell'olio è semplice, è costituita da due ingranaggi, inseriti con tolleranza precisa in una sede e girano senza difficoltà. Se c'è qualche problema, esso comincia, di solito, con formazione di metallo molto prima del guasto completo. L'ispezione regolare del filtro e dell'olio normalmente rivela problemi alla pompa molto prima della sua avaria.

## **Cuscinetti**

L'avaria dei cuscinetti è responsabile di un elevato numero di avarie distruttive del motore. In condizioni normali, i cuscinetti hanno una vite utile lunga. Sono sempre sostituiti alle revisioni principali, ma è normale che dei cuscinetti rimossi alla revisione siano in ottima condizione (talvolta come all'origine) con un'usura poco misurabile. I cuscinetti si rovinano prematuramente per tre motivi principali: 1) sono contaminati da metallo proveniente da altro guasto, 2) restano senza lubrificazione per caduta della pressione dell'olio, 3) restano senza lubrificazione poiché le loro ghiera si spostano, nella sella del basamento, disallineandosi laddove ci sono i fori di alimentazione dell'olio, (spun bearing).

I guasti per contaminazione possono essere prevenuti utilizzando un filtro integrale e ispezionandolo regolarmente per presenza di metallo. Finché il filtro sarà sostituito prima di raggiungere la sua massima capacità filtrante, le particelle di metallo dovute all'usura saranno bloccate dal filtro e non contamineranno i cuscinetti. Se si ritrova presenza di metallo nel filtro, si deve fermare il velivolo a terra finché ne sia determinata la causa ed eliminata.

Le avarie da mancanza d'olio sono abbastanza rare. I piloti tendono a essere ben addestrati a ridurre potenza e ad atterrare quanto prima, quando manca la pressione dell'olio. I cuscinetti continuano a funzionare bene anche con bassa pressione olio (p.e. 10 psi).

I cuscinetti ruotati determinano avarie precoci poco dopo la revisione del motore (errore di montaggio) o la sostituzione dei cilindri. Guasti si manifestano anche dopo un lungo tempo di continuo strofinio (fretting) del basamento (riscontrabile con l'ispezione dell'olio e del filtro) o dopo avviamenti con freddo eccessivo senza preriscaldamento adeguato. Si tratta di avarie usualmente casuali, non correlate alle ore o al tempo dopo revisione.

## **Bielle**

La rottura delle bielle determina un numero elevato di avarie disastrose dei motori. Quando una biella si rompe in volo, spesso buca il basamento del motore e provoca la fuoriuscita di olio e la successiva mancanza di lubrificante. La rottura delle bielle può determinare la rottura dell'albero a cammes. Il risultato è la rapida perdita di potenza del motore.

Le bielle hanno, di solito, una vita utile lunga e non sono sostituite normalmente alla revisione principale. (I cuscinetti rigidi, come tutti i cuscinetti, sono sostituiti a ogni revisione).

Molte rotture di bielle sono precoci e dovute a un serraggio esagerato dei bulloni della testa. Possono essere dovute a rottura dei cuscinetti rigidi e usualmente sono casuali e non correlate al TBO.

### **Pistoni e anelli**

Le rotture di pistoni e anelli possono determinare delle avarie distruttive del motore, di solito determinano la perdita parziale di potenza, ma occasionalmente anche totale. Le avarie dei pistoni e degli anelli sono di due tipi: 1) precoci per errata fabbricazione o installazione, 2) per eccessive sollecitazioni termiche dovute a preaccensione o detonazione distruttiva. Le sollecitazioni termiche possono essere determinate da combustibile inquinato o da un uso anormale del motore; non sono generalmente correlate con le ore di funzionamento o dal tempo da revisione. Un monitoraggio digitale può avvisare degli episodi di preaccensione o di detonazione distruttiva, permettendo al pilota di effettuare delle azioni correttive, prima che si manifesti il danno da sovrasollecitazione.

### **Cilindri**

Le rotture dei cilindri possono determinare avarie complete del motore; di solito comportano la perdita parziale della potenza, ma a volte di tutta la potenza. Un cilindro presenta una canna forgiata in acciaio connessa con una testa in lega leggera. Le canne si consumano lentamente e un'usura eccessiva si può riscontrare durante l'ispezione annuale mediante la prova di compressione e l'ispezione boroscopica. Tuttavia, le teste dei cilindri possono risentire della fatica e, occasionalmente, la testa si separa dalla canna, con avaria distruttiva del motore. Le avarie delle teste possono essere precoci (per fabbricazione errata) o correlate con l'età. Queste ultime sono occasionali, a meno che abbiano accumulato oltre due o tre TBO. Oggigiorno, le revisioni maggiori prevedono dei nuovi cilindri, cosicché le avarie dovute all'età si sono rarefatte.

### **Valvole e guida-valvole**

Come visto lo scorso mese, è abbastanza frequente che le valvole e le loro guide (specialmente quello di scarico) possono determinare dei problemi ben prima del TBO. Questi possono essere rilevati prima dell'avaria per mezzo delle prove di compressione, ispezioni col boroscopio e monitoraggio digitale (ammesso che il pilota sappia come interpretare i dati disponibili). Se una valvola si guasta del tutto, la perdita di potenza è immediata.

### **Bilancieri e aste**

Bilancieri e aste (che azionano le valvole) di solito hanno una lunga vita utile e non sono di solito sostituiti durante le revisioni maggiori. Le boccole dei bilancieri sono sostituite sempre a ogni revisione. La rottura dei bilancieri è piuttosto rara. Quella delle aste è causata dal blocco delle valvole e quasi sempre può essere evitato con ispezioni periodiche delle valvole e il monitoraggio digitale, già visto.

### **Magneti**

L'avaria dei magneti è sfortunatamente la più comune. Per fortuna i motori aeronautici ne hanno due, per ridondanza, per cui la probabilità che entrambi i magneti vadano in avaria

contemporaneamente è molto remota. Il controllo magneti durante il prevolo evidenzia le avarie più importanti, ma il loro controllo in volo è ben lontano dal rivelare delle avarie insidiose o incipienti. Il monitoraggio digitale può rilevare, in tempo reale e in maniera affidabile, le avarie, a patto che il pilota sappia interpretare i dati presentati. I magneti devono essere disassemblati, ispezionati e mantenuti ogni 500 FH, così facendo si riduce drasticamente la probabilità di una loro avaria in volo.

### **La linea base**

I componenti basilari (bottom-end) di questi motori, basamento, albero motore, albero a cammes, cuscinetti, ingranaggi, pompa dell'olio, etc, sono veramente robusti. Essi presentano normalmente una vita utile che è molto superiore ai TBO raccomandati. Molti di questi componenti principali, salvo i cuscinetti, sono riutilizzati alle revisioni maggiori e non sono comunemente sostituiti. Quando si guastano innanzi tempo, le avarie sono del tipo precoce che avvengono dopo la costruzione, ricostruzione o revisione oppure sono casuali e non correlate con le ore o il tempo dalla revisione. La maggioranza delle avarie casuali può essere rilevata molto prima che diventino disastrose con il semplice esame periodico del filtro dell'olio e di analisi di laboratorio dell'olio. Non ci deve essere evidenza che questi componenti mostrino un ben definito andamento verso la zona di usura, che giustificerebbe la revisione a intervalli fissi o la sostituzione al TBO.

Altri componenti importanti (top-end), come pistoni, cilindri, valvole, etc, sono molto meno robusti. Il top-end di un motore a pistoni è analogo alla hot-section di un motore a turbina. Non è comune che questi componenti si rompano prima del TBO. D'altra parte, molte di queste avarie possono essere prevenute con le ispezioni regolari (prove di compressione, boroscopia, etc) e con l'uso del monitoraggio digitale, da parte di piloti che sappiano interpretarne i dati. Inoltre, quando si riscontrano probabili avarie, questi top-end possono essere riparati o sostituiti abbastanza facilmente senza sbarcare il motore. Ancora una volta, le avarie sono o principalmente precoci o casuali e non correlate con il TBO.

La linea base è costituita da una dettagliata analisi delle avarie dei motori a pistoni, usando i principi che la RCM raccomanda vivamente, i quali suggeriscono che quello che le linee commerciali e i militari hanno verificato per le turbine sia vero anche per i motori a pistoni dei velivoli: la pratica tradizionale degli intervalli di revisione prefissati è controproducente. Un programma coscienziosamente applicato, che includa ispezioni regolari del filtro dell'olio, l'analisi dell'olio, le prove di compressione, le ispezioni baroscopiche e il monitoraggio digitale in volo, può costituire un miglioramento dell'affidabilità e una manutenzione molto ridotta per costi e permanenza al suolo.

I magneti costituiscono un'eccezione. Realmente devono essere mantenuti ogni 500 FH, poiché non ci sono mezzi efficaci di riscontro di probabili avarie senza smontaggio e ispezione.

### **Perché non si fa?**

Un programma ispirato ai principi del RCM, per i nostri velivoli, richiederebbe troppo tempo per Lycoming o TCM. Francamente, non hanno alcun incentivo per farlo. Anche se lo facessero, sarebbe faticoso convincere la FAA ad approvarlo, a causa dei pochi dati operativi

relativi ai motori a pistoni impiegati oltre le raccomandazioni del TBO attuale, e sono proprio pochi. L'enigma di Resnikoff rimane vivo e vegeto.

Fortunatamente, come operatori sotto la Part 91, non dobbiamo revisionare i nostri motori ai TBO raccomandati dal costruttore del motore. Nulla ci impedisce di realizzare un nostro protocollo manutentivo, ispirato ai principi del RCM, e mantenere i nostri motori e le nostre cellule in base alla condizione, invece che al tempo. Io lo sto facendo da qualche decennio con i miei velivoli a pistoni hanno raggiunto assolutamente un'evidente affidabilità di missione, insieme con spese manutentive notevolmente ridotte. Entrambi i motori del mio Cessna T310R del 1979 sono prossimi al 200 per cento del TBO e ancora perfettamente operativi. In 23 anni di volo e manutenzione del mio velivolo, ho annotato più ore post-TBO che ore pre-TBO (naturalmente, nessuna assicurazione di cui mi sono servito in questi 23 anni, USAIG, AIG, e Starr, ha avuto il minimo problema).

Talvolta, è difficile convincere il meccanico che è sicuro, sensato e prudente continuare a tenere in servizio un motore visibilmente in buona salute oltre il limite del TBO raccomandato. Un amico ha recentemente avuto un rifiuto da una stazione di servizio di firmare l'ispezione annuale del suo velivolo, perché il motore aveva oltrepassato il TBO di 300 FH. La stazione rifiutò anche di aiutare il gestore ad ottenere un permesso per trasferimento, così ha dovuto volare presso un'altra officina per una seconda opinione! Il risultato è stata una fatica sia emotiva che finanziaria per il gestore. Il motore fu sbarcato da una ditta molto nota nel campo delle revisioni, che l'ha trovato nella condizione originale, senza osservazioni da suggerire per poter essere utilizzato per altre 1000 FH in sicurezza.

Qui c'è un'importante lezione: se voi credete fortemente nella manutenzione on-condition e il vostro motore è "maturo", dovrete essere prudenti nell'esplorare l'argomento della manutenzione on-condition e le operazioni oltre il TBO con il meccanico autorizzato per le ispezioni della cellula e del gruppo motopropulsore, prima che voi lo autorizzate a eseguire un'ispezione annuale o una 100 ore. Se venite a sapere di una filosofia di manutenzione diversa dalla vostra, potreste informarvi se scegliere un altro meccanico autorizzato per eseguire quell'ispezione.