

Traduzione dell'articolo "NOT-SO-PLAIN BEARINGS" di Mike Bush tratto dalla rivista Sport Aviation di marzo 2014.

CUSCINETTI MOTORE

C'È MOLTO DI PIÙ NEI CUSCINETTI DEL MOTORE DI QUELLO CHE SI VEDE.

SOMMARIO

L'articolo affronta il tema della riduzione dell'attrito durante il movimento delle parti, evidenziando che non vi sono solo i cuscinetti a rotolamento ma anche idrodinamici, in cui il lubrificante interno al motore svolge anche la funzione di cuscinetto, che è a volte forse trascurata.

Stando al Merriam-Webster, un cuscinetto è "una parte di macchina entro cui un'altra parte ruota". Molti velivoli ne hanno veramente tanti.

Le ruote girano sui loro assi con l'aiuto di cuscinetti a rulli conici. Magneti, alternatori, generatori e motorini d'avviamento incorporano cuscinetti a sfera per sostenere i propri rotori. I supporti del carrello del mio Cessna 310 ruotano su cuscinetti ad aghi. Le pale delle eliche a passo variabile sono sostenute da cuscinetti a sfera di grande diametro. Gli alberi dei rotori delle turbine dei motori ruotano su cuscinetti a sfere e a rulli. Tutti i cuscinetti consistono di un anello interno e uno esterno con interposti elementi rotanti sferici o cilindrici. Questi cuscinetti a rotolamento eseguono un superbo lavoro di supporto di un albero in una precisa posizione, permettendone la rotazione con un attrito veramente basso.

Ma smontate un motore Continental o Lycoming e non riuscirete a trovare dei cuscinetti simili. I cuscinetti in cui ruotano alberi motore, bottoni di manovella, alberi a cammes, alberi dei bilancieri e spinotti dei pistoni non hanno anelli, sfere, rullini, aghi o altre parti in movimento. Ci sono solo delle parti di metallo, variamente conosciute come "cuscinetti piani" o "cuscinetti a manicotto" o "boccole", che contano su elementi a scivolamento anziché a rotolamento. I cuscinetti piani sono normalmente costruiti in due semianelli detti "gusci"; quelli in un pezzo sono chiamati "boccole".



C'è una buona ragione per la quale i motori alternativi usano dei cuscinetti piani: il moto alternativo! Ciò significa che alberi motore, bottoni di manovella, spinotti dei pistoni, alberi dei bilancieri e alberi a cammes sono sottoposti a un intenso carico ciclico. I cuscinetti a elementi rotanti non riescono a sopportare molto bene questi carichi, per il fatto che li concentrano in aree veramente piccole degli elementi e delle piste, dando origine a pressioni molto elevate. Se i cuscinetti a sfera sono installati sui motori a pistoni, il risultato sarà piste martellate, sfere con zone appiattite e di conseguenza vita breve del cuscinetto.

Invece, i cuscinetti piani tollerano bene questi tipi di sollecitazioni cicliche perché distribuiscono il carico su una superficie molto ampia, riducendo notevolmente la pressione locale.

Inoltre accettano una flessione migliore dell'albero, i piccoli disallineamenti e la variazione della temperatura. Ecco perché quasi tutti i motori alternativi, dal monocilindrico della moto ai giganti diesel marini, usano dei cuscinetti piani invece di quelli a sfere o a rulli.

Questi cuscinetti piani e le boccole appaiono semplici ma non lo sono. C'è molto di più di quello che si vede con l'occhio.

Lubrificazione.

Quando rimossi i motori del mio Cessna per la revisione general nel 1990, mi ero fatto un punto di fare una visita alla ditta di revisione per osservare il danno prima che il motore fosse rimontato. I motori avevano accumulato 1900 FH in 11 anni di volo e ricordo di essere rimasto sbalordito invece osservando l'aspetto dei cuscinetti principali e delle barre; sembravano nuovi di fabbrica!

Come potevano dei cuscinetti piani senza elementi rotanti sopportare un ambiente tormentante di un motore turbocompresso a elevata prestazione per 1900 FH e 11 anni senza mostrare qualche indicazione significativa di consumo? La risposta ha due parole: lubrificazione idrodinamica.

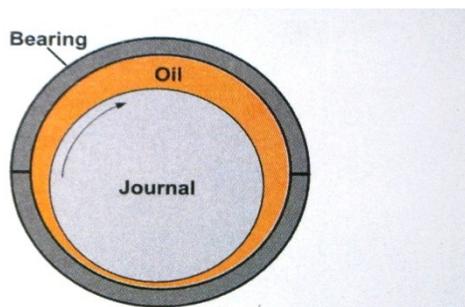


Figure 2—Plain bearings rely on hydrodynamic lubrication to prevent metal-to-metal contact between the rotating journal and the stationary bearing.

I cuscinetti piani richiedono una lubrificazione idrodinamica per prevenire il contatto metallo-metallo tra il rotore (journal) e il cuscinetto fisso (cfr fig. 2). Dell'olio in pressione è continuamente pompato nello spazio tra il rotore e il cuscinetto. Spazio che vale circa 0.002 in. (0.05 mm), come un capello umano. La rotazione del rotore dentro il cuscinetto, unita alla viscosità dell'olio, determina uno strato oleoso ad alta pressione che mantiene separate le parti. Finché il cuscinetto fornisce pressione all'olio e l'albero ruota abbastanza veloce, non c'è contatto metallo-

metallo e quindi nessuna usura o del cuscinetto o del rotore.

Significa che il cuscinetto piano è eterno? Al momento sì, ammesso che il motore continui a girare (come farebbe in una camera di prova) con alimentazione di olio e rotazione dell'albero ininterrotte. Sfortunatamente, non è quello che capita nel mondo reale. Avviamo il motore, lo facciamo girare per qualche ora per andare da A a B, poi lo spegniamo. Sono questi avviiamenti e spegnimenti molesti a limitare la durata dei cuscinetti piani.

Quando avviamo il motore la prima volta, non c'è pressione nell'olio e la velocità di rotazione dell'albero in avviamento è veramente bassa. Le condizioni per la lubrificazione idrodinamica non esistono proprio. Quindi c'è contatto metallo-metallo tra il rotore e il cuscinetto e l'usura è inevitabile.

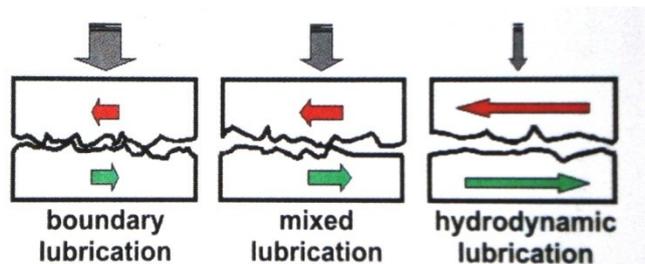


Figure 3—Hydrodynamic lubrication depends on adequate oil pressure and journal rotation speed. If those aren't present (as at engine startup and shutdown), the parts must depend on boundary lubrication.

L'usura in avviamento è mitigata in vari modi: le superfici a contatto sono rese quanto più possibile lisce. Il materiale del cuscinetto ha un basso coefficiente d'attrito rispetto all'acciaio del rotore. Additivi anti usura nell'olio reagiscono con il metallo per formare un film protettivo sulle superfici che riducono ancora l'attrito in base al fenomeno conosciuto come "lubrificazione laminare" (cfr fig. 3).

Alimentare d'olio i cuscinetti.

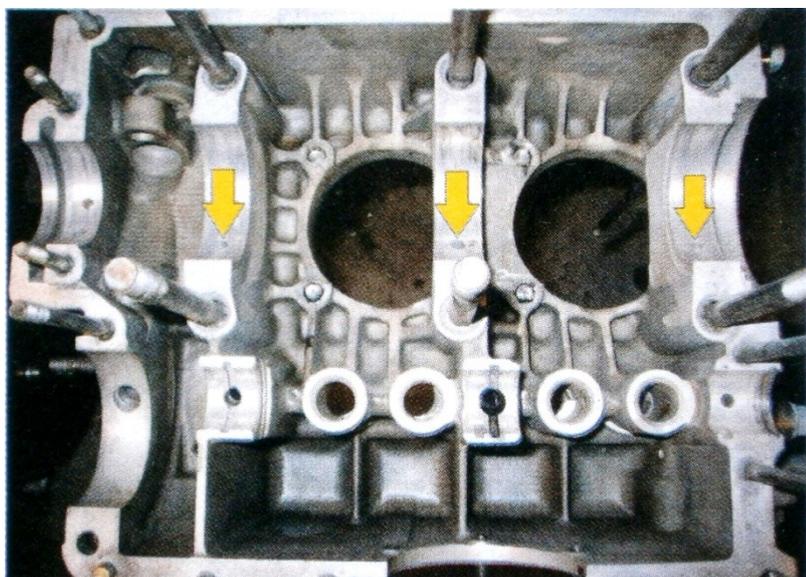


Figure 4—Oil supply passages (yellow arrows) in each main bearing saddle in the crankcase provide a flow of pressurized oil to the main bearings.

Una volta che il motore gira, l'olio in pressione attraversa delle "gallerie", che sono dei passaggi interni lavorati di macchine dentro i semigusci del basamento per trasferire l'olio ai componenti fondamentali come i cuscinetti principali e le valvole idrauliche. I condotti dell'olio dentro la sella di ogni cuscinetto principale sono collegati alle gallerie (cfr. fig. 4). Ogni semiguscio del cuscinetto ha un foro di alimentazione dell'olio che è allineato con il passaggio nella sella.

Fornire l'olio ai cuscinetti degli spinotti nelle estremità delle bielle è cosa piuttosto astuta.

L'albero motore è lavorato di macchina con dei passaggi diagonali per condurre l'olio dai cuscinetti principali agli elementi rotanti degli spinotti (cfr. fig. 5).

L'olio pompato nei cuscinetti principali e degli spinotti è spinto fuori dai bordi dei cuscinetti e ritorna nella coppa dell'olio nel serbatoio. L'albero motore ruotando velocemente lancia l'olio in tutte le direzioni, riempiendo il basamento con una nebbia densa di olio che provvede ad una "lubrificazione a spruzzo" degli altri componenti del motore, come i lobi delle cammes, le superfici dei bilancieri, le boccole degli spinotti dei pistoni e le canne dei cilindri.

Caratteristiche dei materiali.

I cuscinetti piani devono presentare una superficie a contatto con l'acciaio che strisci rispetto al rotore con basso attrito e sia molto resistente al tormento (p.e. per adesione). Dato che i cuscinetto è sottoposto a carichi ciclici molto elevati e ad alte temperature, la superficie deve avere una elevata resistenza a fatica e mantenerla a temperature elevate. Dev'essere anche resistente all'attacco corrosivo dell'umidità e degli acidi. Ancora un'altra caratteristica chiave è quella chiamata "assorbenza" e

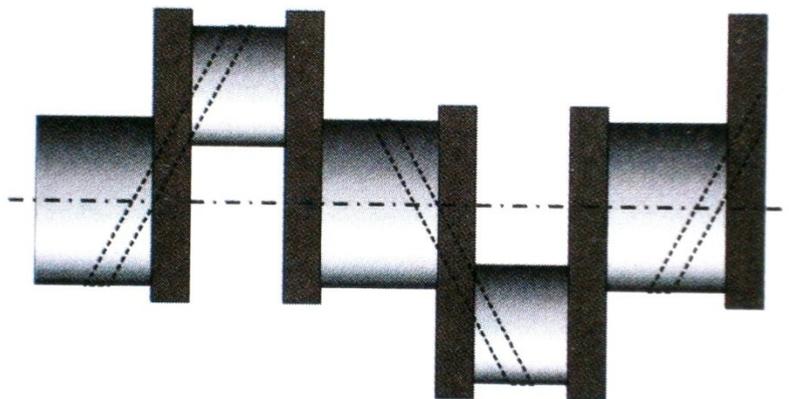


Figure 5—The crankshaft is machined with diagonal oil passages to conduct oil from the main bearings to the crankpin journals in order to lubricate the big-end rod bearings.

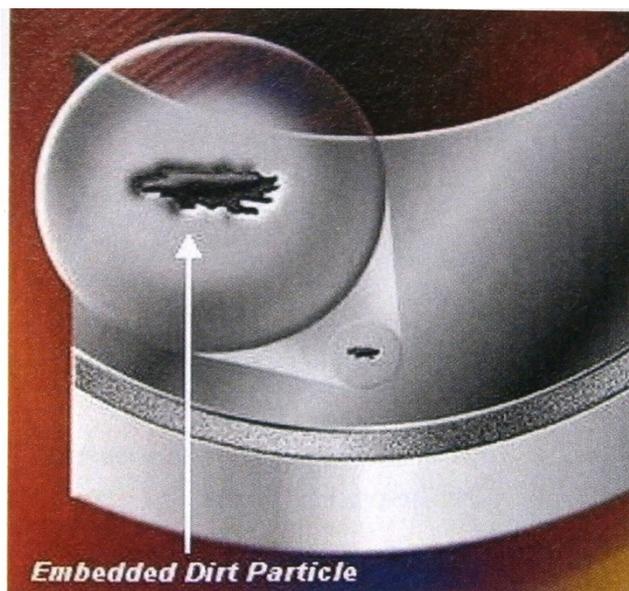


Figure 6—"Embeddability" means the ability of a bearing's running surface to capture particles of dirt, metal, or other foreign materials.

significa che la superficie di lavoro del cuscinetto sia abbastanza morbida da consentire che alcune

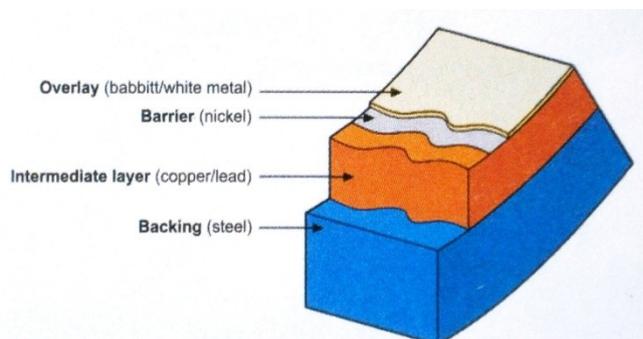
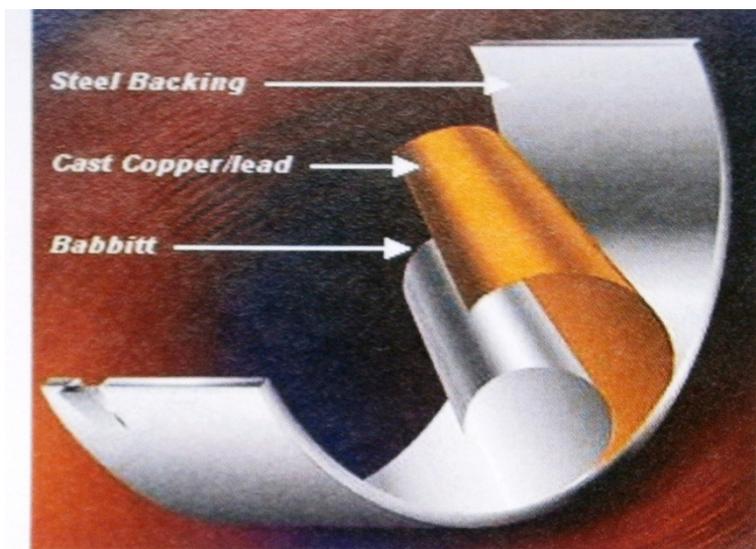


Figure 7—A trimetal bearing consists of a steel backing, an intermediate layer made of a copper/lead alloy, and a thin babbitt overlay.

piccole particelle di sporco, metallo o altro inquinante siano trattenute nel cuscinetto in modo da non graffiare il rotore o da bloccare la luce tra parte rotante e cuscinetto. (cfr. fig. 6).

Molti cuscinetti nei motori a pistoni aeronautici hanno la superficie di scorrimento fatta di una lega della famiglia nota come "babbitt" o "metallo bianco", costituita al 90% da stagno con piccole quantità di antimonio e rame (il termine deriva da Isaac Babbitt che inventò il materiale originale per cuscinetti nel 1839 a Tauton, Massachusetts). Essa offre scorrevolezza e assorbenza

eccezionali, ma la sua resistenza alla fatica e alla temperatura si riducono rapidamente se lo spessore eccede il millesimo di pollice (0,025 mm).



Trimetal bearing construction.

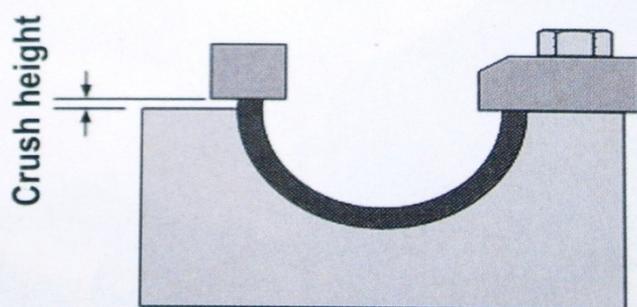


Figure 10—Bearing shells are slightly taller than their supporting saddles.

Cuscinetti trimetallici.

Di conseguenza, i cuscinetti di molti motori a pistoni aeronautici usano un multistrato chiamato "trimetallo", anche se oggi ve ne sono a quattro o cinque strati (cfr. fig. 7).

Il guscio del cuscinetto nasce da un supporto d'acciaio a cui è incollato uno strato mediano di lega di rame/piombo progettata per consentire la necessaria morbidezza, resistenza alla fatica e la conducibilità termica. Un sottile strato di babbitt è deposto per elettrolisi su quello mediano per attribuire le caratteristiche volute (scorrevolezza, assorbenza, resistenza alla corrosione). Uno strato micrometrico di nickel è deposto tra il mediano e l'esterno per prevenire la migrazione dal babbitt a quello della lega rame/piombo. A volte, un ulteriore strato micrometrico di stagno puro copre la superficie esterna per proteggerla dalla corrosione prima dell'installazione sul motore.

Può essere d'aiuto pensare alla costruzione di un cuscinetto metallico come a un letto: il supporto d'acciaio è simile al supporto molleggiato (che costituisce la struttura), lo strato intermedio è simile al materasso (che fornisce la morbidezza) e lo strato esterno è simile al lenzuolo di seta (leggero, liscio, scivoloso e confortevole).

Le proprietà della superficie (scorrevolezza e assorbenza) dello strato intermedio di rame/stagno non sono prossime a quelle del babbitt, ma sono generalmente adeguate a prevenire l'autodistruzione improvvisa del cuscinetto nel caso di usura completa dello strato. Se capitasse, il motore inizierà a produrre rame che si vedrà bene dalle analisi dell'olio e (se diventerà abbastanza grave) si vedrà bene tra i metalli non ferrosi nel filtro dell'olio. In questo caso è il momento di sbarcare il motore.

Nota: dal 1995 fino al 2001, la Lycoming ha usato dei cuscinetti con uno strato intermedio in lega di alluminio/stagno invece che di rame/piombo. Questi tipi di cuscinetti hanno dimostrato di possedere una resistenza a fatica e una frequenza di avarie più basse, per cui la Lycoming ha deciso di cessarne l'uso dal marzo 2002.

La sicurezza dei cuscinetti.

I semigusci dei cuscinetti trimetallici sono installati in "selle" semicircolari nel basamento e ben fissati in posizione con un precarico detto "schiaccia cuscinetto". Come si vede nella figura 10, il supporto di acciaio del semiguscio è un po' più alto (pochi millesimi di pollice) della sella del basamento in cui esso è installato.

Quando il motore è assemblato e i bulloni passanti sono serrati a norma, il semiguscio è bloccato in posizione nella sella con tolleranza a interferenza.

Importante: se questa compressione non c'è, a causa di una lavorazione scorretta o di un errato serraggio del bullone passante durante l'installazione del cilindro o della sua sostituzione, il cuscinetto può muoversi all'interno della sella, determinando un disallineamento tra il foro di alimentazione dell'olio al cuscinetto e quello di passaggio nella sella, causando un flusso insufficiente dell'olio. Questa condizione, detta "cuscinetto storto" o "disallineato", può determinare delle avarie catastrofiche del motore.

Tipi di guasti.

Anche se i cuscinetti trimetallici solitamente presentano un'eccellente durata, se utilizzati entro i limiti di progetto e se adeguatamente lubrificati, possono verificarsi delle avarie premature. La figura 11 mostra un cuscinetto di biella il cui strato di babbitt è quasi completamente consumato, lasciando del tutto scoperto lo strato intermedio di rame/piombo.

La figura 12 mostra un cuscinetto della biella molto contaminato da notevole quantità di materiale estraneo (principalmente particelle metalliche) trattenute dallo strato di babbitt. Un'avaria disastrosa (rottura del supporto) potrebbe non essere lontana.



Figure 11—A severely worn bearing with the babbitt overlay almost completely gone.

La figura 13 mostra un altro cuscinetto di biella con notevole danneggiamento dovuto a sovraccarichi ciclici, probabilmente a causa della detonazione distruttiva o dell'accensione anticipata nel cilindro associato. Gli elevati picchi di pressione hanno determinato dei carichi che hanno superato la capacità della lubrificazione idrodinamica di prevenire il contatto metallo-metallo tra il cuscinetto della biella e lo spinotto. Indubbiamente la testa del cilindro e il pistone hanno avuto dei danni.

Potete riconoscere tutti questi come cuscinetti di biella (invece che di banco) perché non hanno i fori di alimentazione dell'olio. Come regola generale, i cuscinetti delle bielle, rispetto a quelli di banco, sono maggiormente sollecitati e suscettibili a danneggiamenti e a rotture.

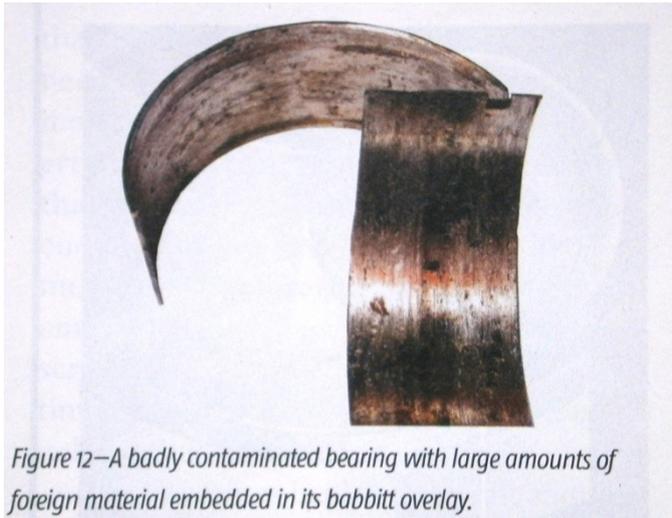


Figure 12—A badly contaminated bearing with large amounts of foreign material embedded in its babbitt overlay.



Figure 13—This bearing exhibits severe overload damage, probably due to detonation or preignition.

I cuscinetti piani (ma non solo questi) nei motori a pistoni dei vostri velivoli generalmente consentiranno di raggiungere il TBO senza problemi e spesso a farlo superare. (Quelli del mio Cessna 310 hanno superato il 200% del TBO). Per arrivarci, tutti hanno solo bisogno di un'alimentazione di olio pulito a una pressione accettabile (per consentire una buona lubrificazione idrodinamica) e alcuni additivi anti-usura per consentire una buona lubrificazione superficiale all'avviamento del motore. La contaminazione è il nemico principale dei cuscinetti, perciò assicuratevi di usare un buon filtro dell'olio capace di bloccare ogni particella superiore a 0,001 in. (25 microns).

Ispezionatelo regolarmente e osservate bene le analisi dell'olio per quantità elevate di rame o stagno. Se il filtro è pulito e il risultato dell'analisi è normale, allora non avrete nulla da temere.