

L'ELICA

(The Propeller)

Principi di funzionamento e caratteristiche delle eliche

Questo tutorial è stato pensato per fornire un momento di riflessione e di approfondimento sul funzionamento dell'elica e sulla corretta gestione della stessa, considerandone il comportamento nelle diverse fasi del volo.

Molta teoria esiste in merito, tuttavia, in questo documento si è cercato di tradurre in pratica, le operazioni da eseguire sul simulatore per la corretta gestione dell'elica, molto spesso sottovalutata o data per scontata.

Nel tutorial non è stato fatto appositamente riferimento al funzionamento del motore che, tuttavia, verrà trattato approfonditamente in un successivo tutorial.

Nella trattazione ho voluto appositamente evitare l'utilizzo di formule e dimostrazioni proprio per rendere scorrevole l'approccio, non tralasciando di riportare i principi di funzionamento.

Ovviamente, ulteriori approfondimenti vengono rimandati sui testi specialistici.

L'intento che ho voluto perseguire è fornire i rudimenti essenziali ai neofiti che si avvicinano al volo simulato, nonché fornire un testo di veloce consultazione e ripasso per i simmer più "stagionati".

Nella stesura ho utilizzato immagini per "rendere l'idea" di alcuni concetti, e riquadri per evidenziare i principi e i consigli sulle tecniche di pilotaggio da utilizzare.

Spero di essere riuscito nell'intento di favorire la comprensione di alcuni concetti, a volte ostici da comprendere, ma che con la pratica sul simulatore è possibile sperimentare, ma soprattutto, di avere fornito un ulteriore contributo formativo per la crescita dei piloti virtuali.

Il presente tutorial non è utilizzabile per il volo reale, ma, esclusivamente per il volo simulato.

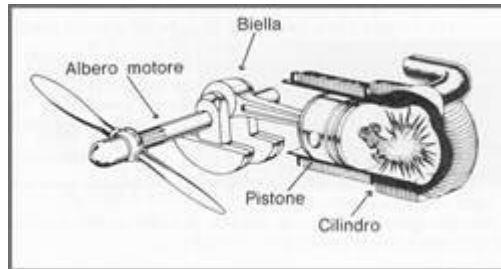
Se vi va, seguitemi a bordo di questo breve tutorial e... a Voi tutti, buona lettura.

IGIMA - Giuseppe Mangialomini
VID 255889 - IVAO

Premessa

PROPULSIONE A ELICA

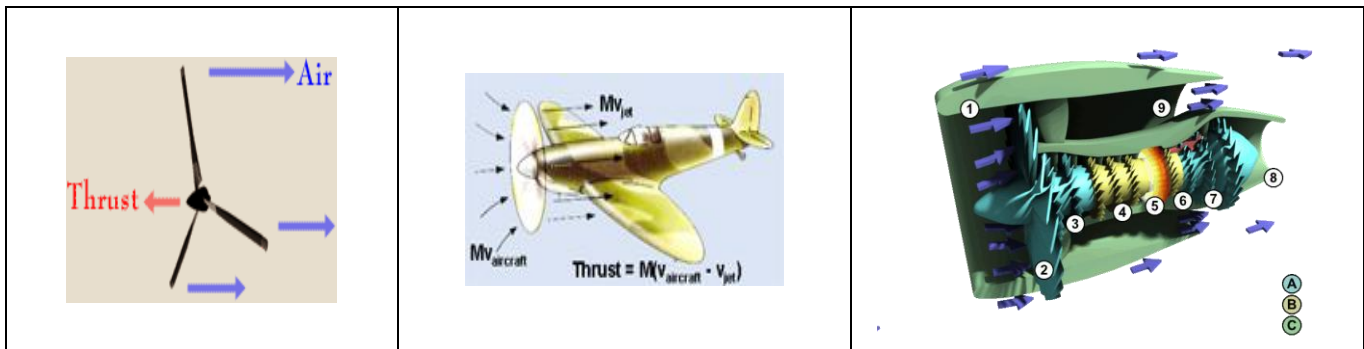
I propulsori a elica, peraltro primi ad essere stati impiegati in aviazione, sono caratterizzati da un motore che fornisce potenza ad un albero rotante il quale, nel suo movimento rotatorio, trascina un'elica che genera la spinta necessaria al movimento dell'aereo.



L'elica, azionata dall'albero motore, ruota ad alta velocità e riesce col suo profilo opportunamente calettato a spingere, accelerandolo, il flusso d'aria all'indietro.

Questa accelerazione viene bilanciata da una spinta in avanti di tutto l'aereo secondo il 3° principio della dinamica "azione e reazione".

Nel caso dei propulsori motoelica e turboelica, l'elica chiama a sé e poi proietta all'indietro aria prelevata dall'ambiente, anche l'elica del motore turbo fan utilizza nel suo funzionamento il medesimo principio.



Per le cose dette, quindi, l'elica è l'organo impiegato per ottenere la trazione necessaria ad accelerare la macchina alla velocità di volo, e per vincere la resistenza aerodinamica, che si oppone al moto, e che tende in ogni istante a far decelerare il velivolo.

Volendo utilizzare un termine di paragone, potremmo paragonare l'elica ad una vite che, quando ruota, si spinge nell'aria così come una vite/bullone ruotando si avvita nel dado o nella "madrevite".

COMPONENTI

Un'elica è formata dalle seguenti parti essenziali:

- ❖ mozzo;
- ❖ pale;

Il **mozzo** è la parte centrale dell'elica; esso serve per fissare l'elica all'albero motore che applicherà la coppia (lavoro) necessaria a mettere in rotazione l'intero organo. Nel mozzo sono montate le pale.

La sua forma assume caratteristiche ogivali per presentare la minima resistenza all'avanzamento.



Le **pale** sono gli elementi che creano la forza traente e sono vere e proprie ali rotanti.

Le eliche possono essere formate da una, due, tre, quattro e sei pale.

Ogni pala aggiunge trazione all'elica, ma esistono delle limitazioni dovute alla resistenza esercitata da ogni pala alla rotazione; ovviamente, motori meno potenti potranno far girare eliche con sole due pale, più la potenza aumenta, più il numero di pale può aumentare.



Caratteristiche di funzionamento dell'elica.

E' importante per un aereo scegliere un'elica che trasformi la forza di rotazione in spinta.

Più grande è il diametro dell'elica, e alto il numero delle pale, più efficiente sarà la spinta.

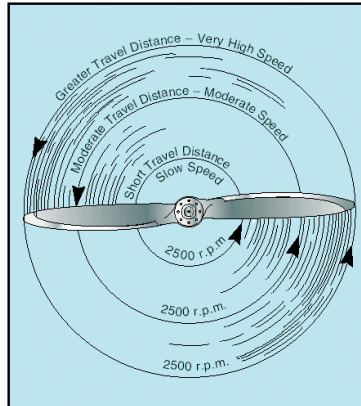
Aumentare semplicemente il diametro dell'elica significa anche aumentare il peso dell'elica e il peso dell'albero, e, inoltre, incrementare il numero delle pale vuol dire complicare il meccanismo, soprattutto nel caso dell'elica a passo variabile, e portare ad un aumento del peso. Pertanto un'elica viene scelta accuratamente in considerazione dell'equilibrio tra peso ed efficienza.

Le eliche, vanno fatte girare a regimi piuttosto bassi, diciamo al max entro i 2.500 giri/min, in quanto, essendo la velocità dell'estremità della pala molto elevata, e aggiungendosi a questa anche la velocità di avanzamento, è facile raggiungere velocità prossime a quelle del suono con conseguenti pericolose vibrazioni e rumori insopportabili.

Per ovviare a tali inconvenienti, soprattutto per la potenza all'albero sviluppata da alcuni motori, si è costretti a ridurre il numero di giri tramite un riduttore.

Svergolamento delle pale

L'elica deve avere la stessa portanza lungo tutto il braccio affinché possa esercitare la medesima spinta. Poiché la velocità periferica delle pale cresce dal centro verso l'estremità, per mantenere costante la portanza si dovrà **svergolare** l'elica, cioè, si porta ad assumere un calettamento variabile che man mano diminuisce dal centro verso l'estremità del profilo dove la velocità è massima.



Una pala di elica non svergolata offrirebbe un rendimento molto basso e andrebbe soggetta a sollecitazioni inaccettabili.

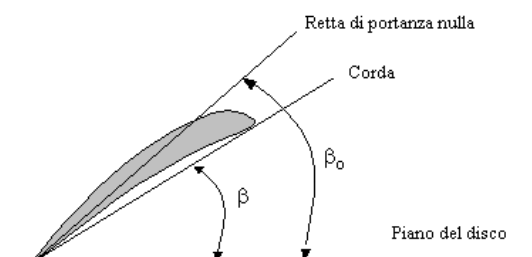
Inoltre, per ragioni strutturali, le sezioni esterne delle pale vengono fatte molto più sottili di quelle interne.



Calettamento

Poichè ogni pala ha un angolo di calettamento diverso da sezione a sezione, all'elica viene convenzionalmente assegnato l'angolo di calettamento posseduto dalla sezione che si trova a 7/10 del raggio. L'angolo che la corda forma con il piano del disco dell'elica viene definito *angolo di calettamento*, invece l'angolo che la retta di portanza nulla forma con il piano del disco dell'elica viene denominato *angolo di calettamento aerodinamico*.

Per comprendere meglio il concetto, viene riportata la seguente figura:



β Angoli di Calettamento Geometrico – β_0 Angolo di Calettamento Aerodinamico

L'angolo di calettamento è il parametro che serve a definire il passo geometrico dell'elica, vale a dire la distanza alla quale l'elica avanzerebbe in un giro se si "avvitasse" in una "madrevite solida" o in un dado.



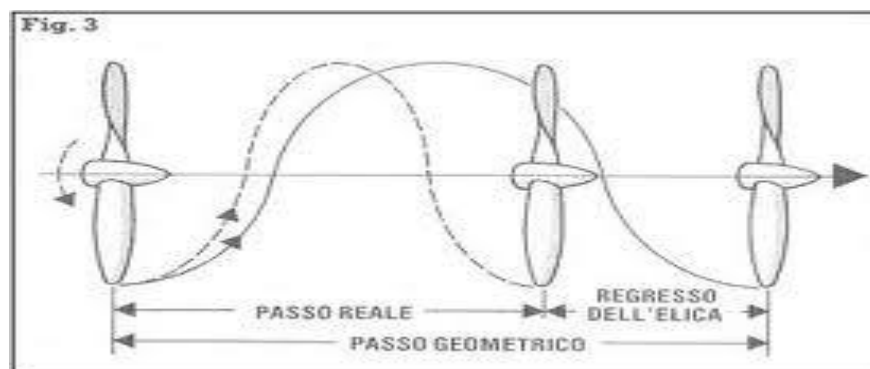
Si noti bene che l'angolo di incidenza delle pale non è definito solo dall'angolo di calettamento delle pale ma dipende anche dall'assetto (cabrato-livellato-picchiato) dell'aereo. Quindi angolo di incidenza non coincide con l'angolo di calettamento.

Passo dell'Elica

La distanza che un'elica o la pala di un'elica percorre in avanti, a seguito di una rotazione completa del suo albero, è detta *passo geometrico* e volendo utilizzare l'esempio della vite corrisponde alla distanza fra due filetti adiacenti di una normale vite.

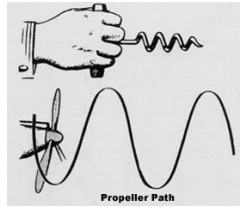
La distanza effettivamente percorsa dall'elica in una rotazione nell'aria è detta *avanzamento*, o *avanzo*, o *passo reale* mentre la differenza tra il passo geometrico e l'avanzamento è detta *regresso* dell'elica.

In generale, un'elica efficiente ha un regresso piccolo e quindi il suo avanzamento, alle condizioni di progetto, è quasi uguale al passo geometrico; tuttavia il parametro per valutare il rendimento di un'elica non è il regresso ma è il rapporto tra l'energia propulsiva prodotta e l'energia consumata per far ruotare l'albero dell'elica. Le eliche aeree operano spesso con rendimenti prossimi al 90%.



Rotazione e Traslazione

Le pale dell'elica operano nell'aria come le ali degli aerei, ma mentre queste ultime sono investite da una corrente d'aria di velocità pari a quella di volo dell'aeromobile, le pale dell'elica sono interessate da una corrente la cui velocità è la risultante delle velocità del moto rotatorio intorno al mozzo e traslatorio, da cui ne deriva un moto risultante di tipo elicoidale.



Materiali Impiegati:

Le pale delle eliche possono essere composte da diversi materiali:

- ✓ in lega d'alluminio;
- ✓ in legno;
- ✓ in acciaio;
- ✓ in materia plastica rinforzata;

L'elica può essere cava, in quest'ultimo caso può essere dotata di dispositivi antighiaccio, e deve essere bilanciata in modo assai accurato, sia staticamente sia dinamicamente.

Se, ad esempio, in un'elica bipala si attaccasse un peso di 80 grammi a metà di una pala e un peso di 40 grammi all'estremità dell'altra pala, l'elica sarebbe bilanciata staticamente, ma non sarebbe bilanciata dinamicamente e comincerebbe a vibrare se fosse fatta ruotare ad alta velocità.

Un po' ... di definizioni

Le eliche che assorbono una coppia, cioè un lavoro, dal motore sono denominate *eliche positive* e possono creare una trazione positiva (funzione traente) o negativa (funzione frenante).

Esistono però, anche eliche che forniscono una coppia all'albero; in tal caso sono denominate *mulinelli* o *eliche negative*, ad esempio le eliche dei pali eolici.

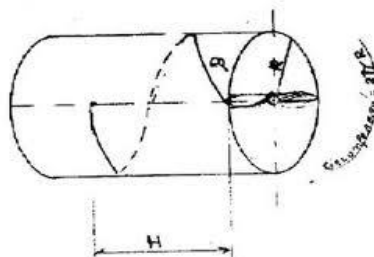
Se manca il moto rotatorio l'elica è detta *bloccata*, mentre, se è assente il moto di traslazione, l'elica è detta a *punto fisso*, (ad esempio l'elica del ventilatore che è dotata di rotazione ma non di traslazione).

Un'ulteriore distinzione si può fare in considerazione della posizione occupata dall'elica rispetto al motore cui è collegata. Se è collocata davanti al motore è detta *traente*, se invece si trova dietro il motore è definita *spingente*.

In relazione al senso di rotazione, assumendo come punto di osservazione la posizione del pilota, un'elica può essere *destrorsa* o *sinistrorsa* a seconda che ruoti in verso orario o antiorario rispettivamente.

Si definisce *diametro dell'elica* il diametro del cilindro circolare circoscritto all'elica, il cui asse coincide con quello di rotazione.

Si definisce *disco dell'elica* il cerchio di diametro pari al diametro dell'elica e giacente nel piano normale all'asse di rotazione.



Al variare del numero di giri e/o della velocità di volo, le possibili condizioni di funzionamento di un'elica a passo positivo sono:

- a punto fisso;
- traente;
- a trazione nulla;
- frenante;
- autorotante-mulinello.

Nelle funzionamento *a punto fisso* l'elica esercita trazione e assorbe potenza, ma il rendimento è nullo perché la velocità di avanzamento è nulla.

Nel funzionamento *traente* il vento relativo sulle pale è tale da generare forze con componente positiva nel verso del moto e negativa al senso di rotazione: l'elica assorbe potenza ed esercita trazione. **E' questo il campo di normale impiego delle eliche.**

A trazione nulla l'elica si trova con il vento relativo che genera delle forze che giacciono nel piano del disco e si oppongono alla rotazione. Il rendimento è nullo perché nulla è la trazione.

Quando l'elica è *frenante*, le forze generate dal vento relativo escono dal piano del disco, ma la componente nella direzione del moto di avanzamento è negativa, mentre quella nel piano del disco si oppone ancora alla rotazione. Questo caso può verificarsi, ad esempio, nel volo in discesa.

Il funzionamento a *mulinello* si ha quando l'elica si comporta da *aeromotore*: assorbe potenza dal vento relativo e la fornisce all'albero; inoltre, inevitabilmente, frena l'effetto traslativo. Questo caso si presenta, ad esempio, quando il motore è in avaria: l'elica tende a trascinare in rotazione il motore, con possibili gravi conseguenze per lo stesso, oltre a produrre una pericolosa forza imbardante. E' il caso di notare che un'elica progettata per fornire trazione è un pessimo *aeromotore*: riceve, infatti, il vento sul dorso dei profili invece che sul ventre, come avviene nel funzionamento normale.

TIPOLOGIE

Vediamo adesso le varie tipologie di eliche e come queste si sono evolute nel tempo con il progredire degli studi e della tecnologia.

ELICHE A PASSO FISSO

Un'elica a **passo fisso** è quella per cui l'angolo di calettamento delle pale è fisso.

Di seguito vengono rappresentate le eliche a passo fisso:



Si noti, nelle figure, come le pale dell'elica sono legate saldamente tramite l'hub, l'una alle altre, formando un unico pezzo che rendono impossibile la variazione dell'angolo di calettamento delle pale e per conseguenza il passo dell'elica.

Per questo tipo di elica valgono le seguenti considerazioni:

Calettamento delle Pale sul mozzo	Angolo di Incidenza delle pale	Passo dell'Elica	Potenza dell'elica	Velocità dell'aereo
Fisso e imm modificabile	Costante in volo livellato - variabile in base all'assetto dell'aereo	Costante	Variabile al variare dei numeri di giri del motore e quindi controllabile esclusivamente intervenendo sulla manetta del motore	Variabile al variare dei numeri di giri del motore e quindi controllabile esclusivamente intervenendo sulla manetta del motore

Per le cose dette, dunque, qualora si debba equipaggiare un aereo con un'elica a passo fisso, si sceglierà il passo in modo tale che l'elica abbia il miglior rendimento, in corrispondenza della velocità di volo più consona alle caratteristiche da conferire all'aereo.

Per aerei acrobatici o a decollo corto, per i quali è necessario avere il massimo rendimento durante le salite e alle basse velocità, si sceglieranno eliche a passo corto il cui rendimento massimo si trova vicino alla velocità minima di sostentamento.

Per aerei destinati principalmente a voli di trasferimento, si sceglieranno eliche a passo lungo il cui rendimento massimo si trova vicino alla velocità di crociera.

Nel cockpit degli aerei con elica a passo fisso, è assente la leva per la regolazione del passo, in inglese Propeller Lever; la ritroveremo più avanti allorché tratteremo del passo variabile.

Per questa tipologia di aereo la tecnica di pilotaggio pone alla base il principio prima enunciato, e cioè, che la

potenza dell'elica e la velocità di avanzamento dell'aereo sono comandati da variazioni della manetta (Throttle)

e vengono monitorati tramite l'osservazione del numero di giri.

Più in particolare: dando manetta -> si aumentano i giri del motore -> aumenta la velocità dell'elica -> aumenta la potenza della stessa -> aumenta la velocità di avanzamento dell'aereo

RESISTENZA

Per far ruotare l'elica, il motore deve sviluppare una certa potenza, in quanto l'aria crea sulle pale una resistenza che si oppone al loro movimento.

La resistenza incontrata dall'elica, così come quella incontrata dall'ala, varia in modo direttamente proporzionale all'angolo di incidenza e al quadrato della velocità delle pale.

In altre parole, l'aumento dell'angolo di incidenza delle pale e l'aumento della velocità di rotazione dell'elica → determinano → l'aumento della resistenza alla traslazione in avanti dell'elica, cioè all'avanzo.

Ma, poiché l'elica è attaccata all'albero motore, tale resistenza si riflette sul motore che a parità di forza applicata e quindi di giri tenderà ad andare sottosforzo riducendo il numero di giri.

Per ogni posizione della manetta, e quindi per ogni valore della potenza motrice erogata, il motore si stabilizza a quel determinato regime di giri per il quale la coppia motrice è equilibrata dalla coppia resistente dell'elica: se la

coppia resistente aumenta, i giri diminuiscono e viceversa.

Quando, per esempio, si dà tutta manetta al decollo, la coppia resistente incontrata dall'elica è massima, essendo massimo l'angolo di incidenza delle pale, per cui il motore si stabilizza a un numero di giri che è notevolmente più basso del massimo consentito (la linea rossa del contagiri).

Man mano che l'aereo accelera, dopo il rilascio dei freni, all'aumentare della velocità l'angolo di incidenza delle pale diminuisce, per cui diminuisce anche la coppia resistente incontrata dall'elica e i giri del motore aumentano.

Come conseguenza della scelta del costruttore di impiegare un'elica con un determinato passo, il motore sviluppa i suoi giri massimi quando, con tutta manetta, l'aereo vola alla velocità massima in volo orizzontale.

Stessa situazione se si porta l'aereo ad assumere un assetto cabrato, ad esempio per iniziare una salita, la coppia resistente incontrata dall'elica aumenta → per conseguenza, il motore tende a diminuire il n° di giri → e per conseguenza diminuirà anche la velocità dell'elica; questo è il motivo per cui prima di iniziare una cabrata è necessario prima aumentare il n. di giri, dando maggiore manetta e successivamente variare l'assetto.

In questo caso è necessario tenere sempre sotto controllo la velocità e l'assetto, onde evitare situazioni che possano portare allo stallo dell'aereo (*per la perdita di portanza delle ali*);

Se si porta l'aereo a velocità maggiori, realizzabili solo in discesa, la coppia resistente incontrata dall'elica diminuisce per la diminuzione dell'angolo di incidenza delle pale e di conseguenza il motore aumenta ulteriormente la sua velocità di rotazione con il rischio di andare in fuori-giri; analogamente questo è il motivo per cui prima di iniziare una picchiata per iniziare una discesa è necessario prima diminuire il n. di giri, riducendo la manetta e successivamente variare l'assetto.

Sono queste le ragioni per cui, pilotando un aereo equipaggiato con elica a passo fisso, se si vogliono mantenere costanti i giri del motore bisogna continuamente intervenire sulla manetta in modo da aumentare la potenza quando diminuisce la velocità di volo e in modo da diminuirla quando la velocità aumenta.

Quando è ai comandi di un aereo equipaggiato con elica a passo fisso, il pilota riceve le informazioni relative alla potenza erogata dal motore principalmente dal contagiri.

Poiché dunque, un'elica a passo fisso offre il suo rendimento massimo solo in corrispondenza di un determinato valore della velocità di volo, i costruttori furono spinti a studiare soluzioni tecniche che consentissero di cambiare il calettamento delle pale a seconda delle esigenze e situazioni di volo.

ELICHE A PASSO VARIABILE

Come detto, dunque, l'evoluzione delle eliche a passo fisso fu l'invenzione delle eliche a passo variabile. Agli inizi fu possibile variare il passo delle eliche solo a terra: le pale adesso, indipendenti l'una dalle altre, potevano essere montate con un diverso angolo di calettamento sul mozzo, scegliendo quello più idoneo ad una particolare condizione di funzionamento, ma una volta in volo, esse si comportavano come un'elica a passo fisso. In pratica quando l'aereo era fermo al parcheggio il pilota diceva al meccanico: "sistemami il passo in modo che io abbia il miglior rendimento in salita" (cioè passo corto), oppure, "a velocità di crociera" passo lungo". Il meccanico ruotava le pale, ma, non c'era alcun'altra possibilità di intervento. Continuava ancora a mancare la leva del passo dell'elica.



Eliche a passo variabile manuale

La successiva evoluzione ha portato alla costruzione di eliche a calettamento variabile in volo; inizialmente con due sole posizioni, la massima per il volo veloce, la minima per quello lento; si potevano cioè variare solo due passi aprendo o chiudendo il rubinetto che portava l'olio al pistone. La maggiore o minore pressione determinava la rotazione delle pale delle eliche sul mozzo, variandone per conseguenza il calettamento.

- ❖ Al decollo si "ingranava la prima", vale a dire si portava la leva del comando dell'elica tutta avanti, mettendo le pale al passo minimo;
- ❖ dopo la retrazione del carrello e dei flap, si "passava in seconda" per effettuare la salita, tirando un po' indietro il comando dell'elica, così da aumentarne parzialmente il passo;
- ❖ a livellamento effettuato, si "cambiava" nuovamente, portando l'elica all'opportuno passo lungo.

E' il caso di osservare che l'espressione *elica a passo variabile* è imprecisa in quanto è l'angolo di calettamento che è variabile anche se ciò comporta una variazione del passo.

Conveniamo, quindi di indicare con lo stesso significato le espressioni *elica a passo variabile e elica a calettamento variabile*.

Successivamente si ebbe la possibilità per il pilota di poter variare, direttamente dalla cabina e tramite la leva del passo dell'elica, il calettamento delle pale dell'elica regolandone il passo, in base alle varie situazioni di volo.

Questi dispositivi di variazione costituirono un progresso enorme, ma presentavano ancora l'inconveniente di costringere il pilota ad agire sul comando dell'elica o sulla manetta del gas ogni volta che doveva variare la velocità di volo, al fine di mantenere i giri del motore al valore opportuno.

GESTIONE DELL'ELICA A PASSO VARIABILE MANUALE PRINCIPI E CONSIDERAZIONI

Vorrei a questo punto introdurre le seguenti considerazioni che stanno alla base del funzionamento delle Eliche a Passo Variabile.

L'analisi verrà fatta analizzando il comportamento dell'elica nelle varie fasi di volo, considerando le influenze del flusso dell'aria sull'elica e sulle superfici di comando, durante la traslazione, e a seconda dell'assetto (cabrato, picchiato o in virata) assunto dal velivolo in volo:

Ricordiamo, come abbiamo detto nella sezione precedente, che:

il calettamento delle pale delle eliche può assumere assetti variabili, mentre, nella posizione feather, cioè in bandiera, le pale delle eliche assumeranno un angolo di 90° rispetto al flusso dell'aria.

Inoltre, ricordiamo che:

maggiore è il calettamento delle pale → maggiore è la capacità dell'elica di “mordere” l'aria → maggiore sarà il passo dell'elica → maggiore sarà il flusso d'aria sospinta dall'elica

Vediamo ciò cosa comporta:

Per far assumere alle pale dell'elica un calettamento minimo è necessario spingere completamente in avanti la o Prop Lever che dir si voglia.

In tale posizione il calettamento delle pale è al minimo, il passo sarà al minimo consentendo al motore di sfruttare la piena potenza sviluppata dal motore che quindi potrà girare anche al massimo dei giri.

Questa è la configurazione tipica del decollo. Quindi riassumendo avremo:

Fase di volo	Propeller Lever	Passo dell'Elica	Giri Motore	Resistenza all'avanzo
Decollo	Tutta in avanti	Minimo	Massimi	Minore di quella che si avrebbe con il passo al massimo

Riflessione e Considerazioni:

Stranamente si potrebbe pensare che in fase di decollo si dovrebbe regolare il passo dell'elica in modo da garantire la massima velocità per far prendere quota all'aereo, invece, quello che serve è la massima potenza dell'elica → questa viene sviluppata con il motore al massimo dei giri e con il passo al minimo → con il passo al minimo, inoltre, il disco dell'elica in rotazione, oppone minore resistenza all'avanzamento di quanto non opporrebbe se l'angolo di calettamento, e quindi il passo, fosse regolato al massimo.

Inoltre, poiché l'elica viene fatta ruotare al massimo dei giri consentiti ed essendo l'incidenza delle pale regolata al minimo, viene attenuato quello che viene definito effetto elicoidale (vedi successivamente) cioè, il momento imbarcante alla partenza, per effetto dell'aria che impatta sull'impennaggio di coda; naturalmente l'attenuazione è riferita a quella che si avrebbe, se le pale fossero regolate al massimo dell'inclinazione, e questo, perché la massa di aria sospinta, in questo caso, sarebbe maggiore.

La configurazione sopra descritta deve essere mantenuta anche per la fase di salita facendo attenzione a che una eventuale diminuzione della velocità - dovuta all'aumento della resistenza per effetto dell'assetto cabrato venga ripristinata, riducendo l'angolo di attacco delle ali, e quindi diminuendo l'assetto cabrato. Tale effetto continua a verificarsi in quanto siamo ancora nella situazione in cui il passo viene regolato manualmente per cui, data una determinata configurazione di manetta-giri motore-angolo di calettamento, la reazione all'avanzo è simile a quella illustrata per il passo fisso nelle situazioni descritte in precedenza.

Nelle eliche a passo variabile è possibile avere a disposizione una potenza che può variare:

- modificando solo la potenza all'albero;
- modificando l'angolo di calettamento, variandone quindi il passo;
- mettendo in atto contemporanee variazioni, sia della potenza all'albero (tramite la variazione del numero di giri e quindi della manetta), sia del passo dell'elica.

In particolare, con le eliche a passo variabile le piccole variazioni di potenza si possono ottenere semplicemente variando il passo, entro i limiti consentiti, e mantenendo il numero di giri costante; ciò permette di mantenere il motore sempre nelle stesse condizioni di funzionamento, quindi stesso rendimento e consumo; dovendo invece

far fronte ad una variazione di potenza maggiore occorrerà necessariamente variare la potenza all'albero dell'elica con intervento sulla manetta.

Eliche a passo variabile a giri costanti

Poiché, per fortuna di molti, al mondo esistono uomini che si complicano la vita per rendere meno complicata la vita di altri uomini (nda), un ulteriore sviluppo delle eliche a calettamento variabile fu quello delle moderne eliche a passo variabile e a giri costanti.

Il loro funzionamento è ottenuto tramite un regolatore di giri, che aziona un meccanismo idraulico atto a far variare il calettamento alle pale dell'elica e per conseguenza il passo dell'elica.

Il regolatore impiegato sugli aerei leggeri dell'aviazione generale è normalmente del tipo a masse rotanti centrifughe. Esso è accoppiato all'albero sul quale è montata l'elica, così da "sentirne" la velocità di rotazione, ed è collegato al comando del passo dell'elica posto in cabina, tramite il quale il pilota può comandarlo affinché esso mantenga il motore a un qualunque regime desiderato, compreso nella gamma di giri permessa dal costruttore.

Il meccanismo per la variazione del passo è montato sul mozzo dell'elica, nella parte anteriore normalmente ricoperta dall'ogiva.

Quando i giri tendono ad aumentare e superare il valore per il quale il regolatore è stato predisposto dal pilota (tendenza che può essere indotta sia da un aumento della velocità di volo, sia da un aumento della potenza erogata dal motore), → le masse rotanti del regolatore tendono a loro volta ad allontanarsi sotto l'azione della maggiore forza centrifuga. → Lo spostamento delle masse provoca una maggiore apertura del circuito dell'olio del motore, il quale aziona il meccanismo di variazione del passo in modo da far aumentare l'angolo di calettamento delle pale → L'aumento del passo si traduce in un aumento dell'angolo di incidenza, → il quale fa aumentare il carico aerodinamico dell'elica. → Come conseguenza si ha una riduzione dei giri, che si riportano al valore fissato dal regolatore.

Quando i giri tendono a diminuire al di sotto del valore per il quale il regolatore è stato predisposto, succede l'inverso: → le masse rotanti tendono ad avvicinarsi e il loro movimento agisce sul circuito idraulico in modo che il variatore faccia diminuire il passo dell'elica. → Il conseguente calo del carico aerodinamico fa ri-aumentare i giri al valore prefissato.

Si è adottata questa pratica perché ogni motore ha un determinato regime di rotazione nel quale si ottiene il minor consumo orario ed è importante poter sfruttare tale regime o regimi molto prossimi ad esso; bisogna considerare che tale regime è anche molto vicino a quello di coppia massima.

Quando le leve sono tutte in avanti → il passo delle eliche viene tenuto al minimo con efficienza massima in modo da consentire al motore di raggiungere il massimo dei giri.

Quando il comando viene tirato interviene un ulteriore meccanismo che sente il numero dei giri del motore ed adegua l'elica a ruotare a quel numero di giri pur mantenendo la corretta funzione trainante alle varie velocità di volo.

Per le cose dette è ovvio che, quando al motore è accoppiata un'elica a giri costanti, il contagiri non può più essere usato da solo come indicatore della potenza, in quanto le variazioni di manetta (entro certi limiti) non danno luogo a variazioni di giri.

Gli aerei di classe motoelica, equipaggiati con elica a giri costanti devono quindi essere muniti di un secondo strumento che indichi al pilota i vari regimi di potenza ai quali il motore sta funzionando.

Questo strumento è il manometro della pressione assoluta di alimentazione, o MAP (Manifold Absolute Pressure), illustrato nella figura riportata. La sensazione della potenza espressa dal motore si avrà solamente osservando la manifold pressure: maggiore MAP, maggior potenza.



Eliche con passo a bandiera

La possibilità di disporre di eliche a passo variabile in volo consente al pilota di porre le pale, in caso di necessità, con un angolo di calettamento di 90° . In tale posizione le pale sono dette a *bandiera*, cioè di taglio rispetto alla corrente, e presentano la minima resistenza all'avanzamento. I vantaggi dell'elica a bandiera sono notevoli nei velivoli plurimotori nei quali, in caso di avaria ad uno dei motori, la resistenza offerta dall'elica incrementa il momento imbardante dovuto all'eccentricità della trazione complessiva.



Eliche a passo reversibile

Un ulteriore vantaggio delle eliche a passo variabile deriva dalla circostanza che esse possano assumere calettamenti negativi. In queste condizioni di funzionamento si ha la possibilità di invertire il passo dell'elica, quindi, la direzione della trazione, esercitando così un'azione frenante. L'inversione della spinta permette di utilizzare le eliche come freni aerodinamici, particolarmente utili durante il rullaggio al suolo in fase di atterraggio, nonché nelle manovre a terra degli aerei commerciali o degli idrovolanti in mare.

Tale procedimento viene adottato anche negli aerei Turbo Fan dove l'inversione di spinta viene realizzata tramite la variazione del calettamento delle pale dell'Elica intubata nel motore, denominata FAN o Ventola.

MUTUA INFLUENZA TRA ELICA E VELIVOLO

L'elica e il velivolo hanno nel loro funzionamento accoppiato un comportamento che si influenza a vicenda. Infatti, il movimento tridimensionale del velivolo modifica la direzione della corrente d'aria che investe l'elica, incidendo sulla sua velocità.

Allo stesso modo, la posizione dell'asse della spinta prodotta dall'elica e la sua scia determinano variazioni aerodinamiche delle superfici di comando.

Le eliche, dunque, durante il loro funzionamento, hanno molteplici effetti sugli aerei ai quali sono applicate di natura sia aerodinamica che meccanica.

Focalizzando l'attenzione solo sull'elica, i suoi gli effetti sul velivolo si possono così riassumere:

- Effetto Beccheggio;
- Coppia di Reazione;
- Effetto Elicoidale;
- Effetto Giroscopico o della precessione giroscopica;
- Effetto "P".

Effetto Beccheggio

Il *momento di beccheggio* è determinato sia dall'entità della trazione sia dalla sua direzione.

Se l'asse di rotazione dell'elica passa per il baricentro del velivolo, la sua trazione non provoca momenti tendenti a modificare l'assetto del velivolo stesso.

Se esso è localizzato sopra il baricentro si determinano, quando il motore è in funzione, momenti picchianti;

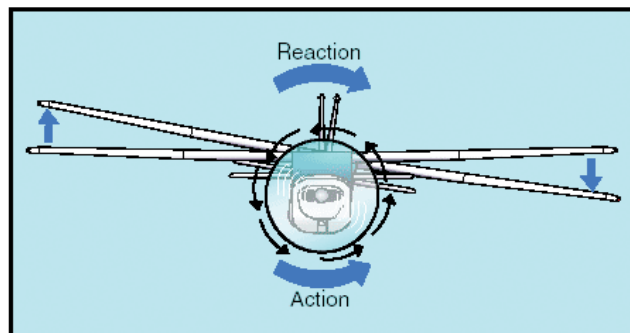
Se invece, esso è localizzato sotto il baricentro si determinano, quando il motore è in funzione, momenti cabranti.

In teoria la posizione ideale dell'asse della spinta è quella passante per il baricentro perché non avrebbe alcuna influenza sull'assetto longitudinale del velivolo. Talvolta, viene fatto passare leggermente al di sotto del baricentro per compensare (almeno in parte), con la sua azione cabrante, il momento picchiante cui il velivolo è soggetto per effetto del profilo alare (concavo-convesso) adottato. In altri casi la posizione al di sopra del baricentro, con decentramenti anche notevoli, è obbligata come nel caso degli idrovolanti; i momenti picchianti che si manifestano disturbano notevolmente il comportamenti dell'aereo costringendo il pilota a brusche e non istintive correzioni.

In ogni caso, ove la variazione del momento di beccheggio derivante dall'azione dell'elica non fosse compensata, il pilota sarà obbligato ad agire sulle superfici di governo per ripristinare il corretto assetto longitudinale del velivolo.

Effetto di Reazione

La *coppia di reazione* si manifesta sul velivolo come reazione alla coppia (lavoro) fornita dal motore all'elica. Per effetto di questa coppia l'aereo tende a ruotare intorno al proprio asse longitudinale (asse di rollio) in senso opposto a quello di rotazione dell'elica.



In altre parole l'effetto di contro-coppia si traduce in un momento laterale generato per reazione alla rotazione dell'elica, il quale tende a far rollare l'aereo dalla parte opposta al verso di rotazione.

A parità di ogni altra condizione, esso è tanto più pronunciato quanto maggiore è la massa dell'elica.



Sono evidenti gli effetti non tollerabili della coppia di reazione sia in volo, sia a terra, per cui è indispensabile la sua neutralizzazione. Mentre in volo è pensabile intervenire con le superfici di governo (alettoni e timone) in quanto le azioni aerodinamiche delle semiali sono sufficientemente elevate, a terra, a causa della bassa velocità, questo tipo di intervento è praticamente non realizzabile.

Durante il decollo, infatti, specialmente nella fase di rullaggio dove le azioni aerodinamiche sono poco efficaci e la potenza del motore è la massima, le ruote del carrello sono sottoposte a carichi notevolmente differenti che determinano una diversa resistenza di attrito col terreno; ciò causa una pericolosa instabilità della traiettoria per effetto della tendenza del velivolo ad imbardare.

Il fenomeno è ancora più marcato nel caso degli idrovolanti perché il valore della resistenza idrodinamica aumenta rapidamente col dislocamento e la sua differenza tra i due galleggianti è notevole. Esclusa quindi, la possibilità di correggere la coppia di reazione con le superfici aerodinamiche il ricorso ad altri metodi è inevitabile. La ricerca ha portato ad adottare soluzioni diverse per velivoli plurimotori (due o quattro) e monotorori.

Nel primo caso si può equilibrare la coppia di reazione adottando per i motori posti su una semiala senso di rotazione opposto rispetto a quello dei motori posti sull'altra; in tal caso anche le coppie di reazione sono opposte con risultante nulla. Questa soluzione, concettualmente semplice, non sempre trova applicazione in quanto mal si concilia con problemi economici di manutenzione, dovendo prevedere tra le parti di ricambio due motori (con rotazione diversa) invece di uno solo.

Per i monotorori, perché il velivolo non ruoti, è necessario introdurre un'asimmetria nella distribuzione della portanza lungo l'apertura alare al fine di spostare il centro aerodinamico fuori dal piano di simmetria; in tal caso la portanza totale non essendo più allineata alla forza peso, determina con questa una coppia uguale e contraria a quella di reazione.

La citata asimmetria della portanza può essere ottenuta in due modi:

- calettando le semiali alla fusoliera con diversi angoli;
- costruendo le due semiali con diversa apertura.

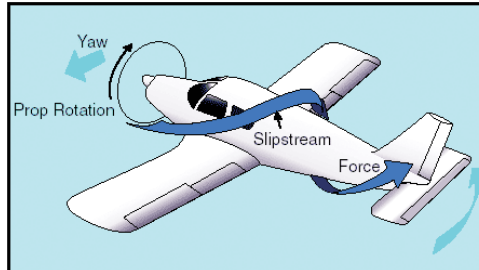
In entrambi i casi occorre prestare attenzione a non modificare la portanza totale prodotta dall'ala. Ricorrendo al diverso calettamento, essendo la superficie delle semiali la stessa, se una semiala viene resa più incidente aumentando l'angolo di una certa quantità, l'incidenza dell'altra ala deve essere diminuita della stessa quantità. Il ricorso ad ali di diversa apertura, essendo uguale l'incidenza delle due semiali, la superficie totale non deve essere modificata; se di una semiala viene aumentata l'apertura, quella dell'altra deve essere diminuita.

Riassumendo:

L'Effetto Coppia è il momento torcente che deriva dalla coppia di reazione dell'elica e fa ruotare l'aereo sull'asse longitudinale in senso contrario alla rotazione dell'elica.

Effetto Elicoidale

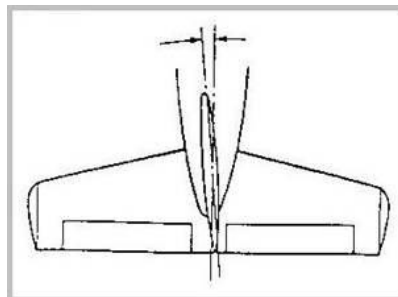
L'effetto Elicoidale si manifesta allorché il flusso d'aria accelerata attraverso il disco dell'elica, si avvolge a spirale intorno all'aeroplano lungo il suo asse longitudinale.



Se l'elica è destrorsa, tale flusso colpisce l'impennaggio verticale sul lato sinistro, provocandone la deviazione a destra e quindi lo spostamento del muso a destra.



Per un dato regime di potenze impiegato (quello di crociera), questo effetto viene generalmente corretto dal costruttore disassando l'asse della superficie verticale fissa (deriva) rispetto all'asse longitudinale.



Per regimi di potenza diversi, il pilota potrà correggere la tendenza dell'aeromobile ad imbardare agendo sulla pedaliera: contrastandola, cioè, col timone di direzione.

L'Effetto Giroscopico

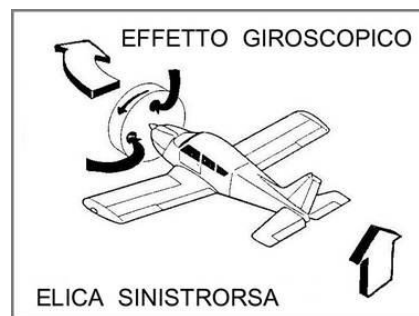
L'Effetto Giroscopico si determina a causa della rotazione dell'elica combinata ad una manovra intorno ad uno degli assi fondamentali.

La presenza dell'elica in rotazione fa sì che il suo disco reagisca come se la forza sollecitante agisse, nel senso della rotazione, 90° dopo il suo punto di applicazione

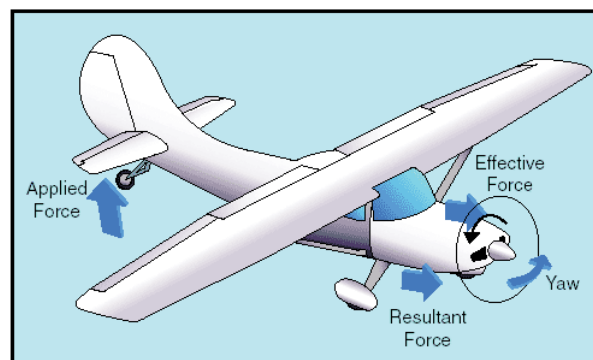


E, cioè se:

- abbassiamo il muso dell'a/m, l'elica sinistrorsa indurrà un'imbardata a destra;
- alziamo il muso si avrà una imbardata a sinistra;
- se spostiamo il muso a sinistra vi sarà una tendenza a picchiare;
- se spostiamo il muso a destra la tendenza sarà a cabrare.



Naturalmente, nel caso di un'elica destrorsa, avverrà il contrario.



Riassumendo:

L'effetto Giroscopio è l'effetto perturbante dovuto alla rotazione dell'elica che, comportandosi come un giroscopio, quando il suo asse viene inclinato tende a generare una coppia che porta l'aereo a sbandare a destra o a sinistra (a seconda del senso di rotazione dell'elica).

Questo effetto è tanto più grande quanto l'elica è di maggior peso e diametro.

Nei caccia della fine della seconda guerra mondiale aveva assunto proporzioni quasi insostenibili. Bastava, infatti, una picchiata improvvisa, ad esempio per andare ad intercettare un nemico, per provocare una energica derapata che poteva far cadere in vite l'aereo.

L'Effetto “P”

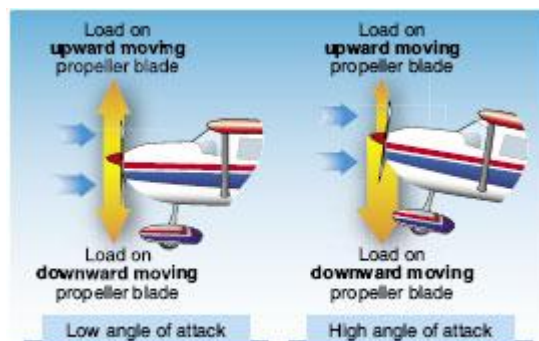
E' il momento imbardante che l'elica stessa genera quando l'aereo vola a elevati angoli di incidenza.

Ciò è causato dal fatto che le pale incontrano l'aria con una velocità che è la risultante della somma vettoriale della loro velocità di rotazione e della velocità di volo dell'aereo.

Velocità dell'aria investita dalle pale = velocità di rotazione + velocità di volo dell'aereo

La pala discendente (e parzialmente avanzante), che si trova sulla destra dell'aereo, è dotata di una velocità maggiore di quella della pala ascendente (e parzialmente arretrante), che si trova sulla sinistra.

Il risultato è un momento imbardante verso sinistra dovuto alla maggior trazione generata dalla pala più veloce. Tale effetto è tanto più accentuato quanto maggiore è l'angolo di attacco.

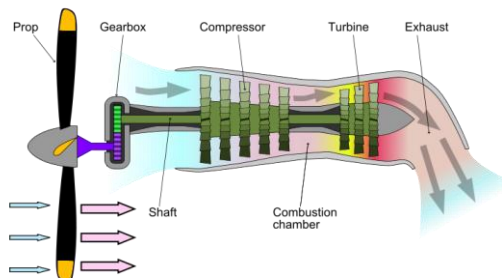


Riduttore di velocità (Gearbox)

Assume particolare importanza per le eliche il problema della demoltiplicazione, consistente nell'utilizzo di eliche non in presa diretta ma con l'interposizione di un riduttore del loro numero di giri rispetto a quello del motore. Ciò permette di accoppiare eliche lente, di più alto rendimento, con motori veloci, più leggeri.

Con le eliche lente si possono utilizzare maggiori diametri con conseguenti minori perdite e minori sollecitazioni del materiale. Gli inconvenienti delle eliche lente sono da addebitare ad un maggior peso ed ingombro nonché ad una leggera perdita di rendimento del motopropulsore a causa della presenza del riduttore.

La presenza del riduttore si impone quando il numero di giri del motore supera i 2.000 g/min per non sottoporre il materiale dell'elica a pericolose sollecitazioni.



Rendimento dell'elica

Per rendimento dell'elica intendiamo il rapporto tra la potenza utilizzata dall'elica e la potenza sviluppata o prodotta dal motore.

Tale differenza deriva dalla circostanza che l'elica, pur essendo un meccanismo abbastanza sofisticato, non ci permette di tradurre in spinta tutta la potenza del motore ma al max consente di sfruttarne il 70%.

Diremo conseguentemente che l'elica ha un rendimento del 70%.

Con la differenza che, mentre, nell'elica a passo fisso questo rendimento si ottiene solo ad una determinata velocità di avanzamento; a velocità superiori ed inferiori i rendimenti sono molto più bassi con valori disastrosi che comportano una grossa dissipazione di energia e di consumo di carburante, nell'elica a passo variabile, per le caratteristiche prima esposte il rendimento viene ottimizzato e quindi mantenuto per una gamma di velocità di avanzamento molto elevata ed è per questo che è stata studiata e viene applicata in tutti gli aerei ove i costi costi lo permettono.

SIMULATORE DI VOLO

Vorrei adesso passare ad una descrizione dei tipi di aerei forniti dal Flight Simulator, con riferimento ai cockpit e alle cose descritte in precedenza.

Nel nostro Simulatore di Volo, facendo riferimento esclusivamente agli aerei di default, uno degli aerei a passo fisso è rappresentato dal CESSNA 172, aereo monomotore, classe motoelica, ad ala alta, indicatissimo per il VFR, dotato di elica bipala e carrello triclo fisso.



Nel cockpit degli aerei con elica a passo fisso, si nota la mancanza della leva per la regolazione del passo dell'elica denominata Propeller Lever che ritroveremo più avanti negli aerei a passo variabile.

In questa tipologia di aereo l'elica viene gestita con riferimento alle variazioni della manetta.

Il CESSNA 182S, aereo a passo variabile, monomotore, classe motoelica, ad ala alta, indicatissimo per il VFR, con elica tripala di cui riportiamo immagine e cockpit.



CESSNA 182 Skylane



Nel cockpit, si noti la presenza della leva per la regolazione del passo ossia, la denominata anche Propeller Lever evidenziata in basso a destra con il pomello azzurro.

Un altro aereo che sfrutta l'elica a passo variabile è il BARON 58.

Bellissimo aereo bimotore, classe moto elica, ad ala bassa e carrello triciclo retrattile, indicato per IFR e tratte di breve durata, dotato di elica tripala, di cui riportiamo immagine e cockpit.



BARON 58



Nel cockpit si noti la presenza delle leve (una per ogni motore) per la regolazione del passo ossia, le Propeller Lever situate al centro del gruppo manetta, *(nella rappresentazione sopra riportata si trovano in alto a sx)*.

Il KING AIR 350 invece è un aereo a passo variabile a giri costante.

Aereo bimotore, classe turbo elica, ad ala bassa e carrello triciclo retrattile, molto indicato per l'IFR e tratte medio-lunghe, dotato di eliche quadripala di cui riportiamo immagine e cockpit.



KING AIR 350



Nelle eliche a passo variabile, come quelle del King Air 350, la regolazione del passo avviene tramite la gestione delle leve del passo delle eliche ovvero dalle Propeller Lever (le leve centrali del gruppo manette, in alto a destra).

Nel cockpit dell'aereo si noti:

- ❖ l'assenza dell'indicatore MAP, perché ovviamente si tratta di un turbo elica;
- ❖ la presenza dell'indicatore di rotazione dell'elica (Propeller RPM) e subito sotto dell'indicatore di giri del motore.
- ❖ La presenza della leva Autofeather.

Su quest'ultima leva vorrei un attimo soffermarmi perché non sempre risulta chiaro se, e quando, utilizzare tale dispositivo.

La Leva di Autofeather deve essere “armata” in fase di:

- Decollo;
- Salita;
- Avvicinamento;
- Atterraggio.

Tale leva si trova in alcuni aerei plurimotore.

Essa assolve all'importante funzione di regolare automaticamente il passo dell'elica del motore che sta spingendo, per un qualsiasi motivo, un po' di più rispetto all'altro, allo scopo di mantenere una uniformità di spinta dei motori.

Quando la leva Autofeather è armata, e le Power Lever (manette) sono regolate in modo che il compressore N1 superi il 90% del funzionamento, le spie verdi dell'Autofeather si illuminano, ad indicare l'operatività del dispositivo, cioè esse indicano che il dispositivo di Autofeather è pronto ad intervenire, secondo quanto detto, nel caso dovesse verificarsi una variazione negativa di potenza, da parte di uno qualsiasi dei motori (engine) superiore al 17%.

In questo tipo di aereo è possibile, inoltre:

1. la gestione delle eliche in bandiera, posizione feather, delle Prop Lever, da utilizzare nella posizione di parcheggio o in caso di avaria durante il volo ad uno dei motori;
2. l'attuazione del reverse per rallentare la corsa di atterraggio una volta toccato pista.

L'ATR 42/72 500 è un aereo a passo variabile a giri costante.

Bellissimo aereo bimotore, classe turbo elica, ad ala alta e carrello tricycle retrattile, molto indicato per l'IFR e tratte medio-lunghe, dotato di eliche esapala tipo scimitarra, di cui riportiamo le immagini.



ATR 72/500: Gruppo Manette riportante le Condition Lever

In posizione semicentrale del gruppo manette sopra riportato distinguiamo le Condition Levers, fornite di quattro posizioni:

- 1) tutte in basso in posizione Fuel Shutoff (letteralmente, taglio del carburante) non arriva carburante, tutto spento;
- 2) posizione FTR (Feather), passa il carburante la turbina inizia a girare ma l'elica è in bandiera e gira lentissimamente;
- 3) posizione AUTO, è la posizione standard, i giri dell'elica sono regolati dal Power Management System;
- 4) posizione 100% OVRD viene fornito il 100% di potenza da usare esclusivamente per periodi molto limitati di tempo o in situazioni particolari pena il deterioramento delle turbine.

Nell'ATR il Torque, cioè, la potenza generata dai motori è gestita dal selettore del Power Management System di seguito raffigurato:



Questo selettore ha 4 posizioni: TO (Take Off) spinta di decollo, MCT (Max Continuous Thrust) massima spinta continuata in caso di piantata di un motore, CLB (Climb) spinta di salita, CRZ (Cruise) da usare durante la crociera.

Nell'ATR, come possiamo notare, non esistono le Propeller Lever, ma la gestione del passo è affidata ad una combinazione di posizioni date dalle Condition Lever, e dal Power Management System.

APPROFONDIMENTI:

Prova del passo elica

La prova, da effettuare poco prima di entrare in pista per il decollo, consiste nel tirare a sé, o abbassare se volete, il pomello o la leva finché il rumore dell'elica varia d'intensità e la trazione decresce sensibilmente, appurato ciò, si può riportare velocemente nella posizione tutto spinto avanti.

Con questa prova ci si sincia che il dispositivo funziona e che tirandolo a noi si incrementa il passo dell'elica fino alla posizione massima.

Nei plurimotori, la prova va eseguita per ogni motore azionando le leve del passo dell'eliche.

Giroscopio

Il **giroscopio** è un dispositivo [fisico](#) rotante che, per effetto della [legge di conservazione del momento angolare](#), tende a mantenere il suo asse di rotazione orientato in una direzione fissa



Giroscopio

La prima proprietà del giroscopio è quella di mantenere il suo asse puntato verso un punto fisso dello spazio. Immaginate una trottola in rotazione che mantiene fisso il punto di appoggio.

L'altra proprietà è di essere soggetto al fenomeno della precessione.

La **precessione** è il cambiamento della direzione dell'asse di rotazione di un corpo;

essa può essere dimostrata sperimentalmente facendo ruotare un giroscopio con l'asse orizzontale rispetto al terreno (immaginate una trottola che ruota); invece di cadere come ci si aspetterebbe, la ruota del giroscopio rimane sospesa in aria, sostenuta per un unico estremo dell'asse e l'estremità libera dell'asse descrive lentamente un cerchio sul piano orizzontale.

Sotto l'effetto di un momento torcente costante, il giroscopio rallenta, in seguito alle perdite per attrito, la velocità di precessione aumenta, fino a che il sistema non è più in grado di sostenere il proprio peso e cade dal sostegno.

La prima proprietà del giroscopio è sfruttata dalla trottola e dalla bicicletta quando stanno in equilibrio, la proprietà di precessione si evidenzia quando inclinando la bicicletta la ruota anteriore tenderà a ruotare iscrivendosi in una curva o quando rallentando la parte superiore dell'asse della trottola evidenzia in modo vistoso il cerchio disegnato sul piano orizzontale (nell'aria).

Nota bene: sul principio di funzionamento del giroscopio, e sul giroscopio vero e proprio, sono basati alcuni strumenti di bordo dell'aereo che appunto vengono classificati **Strumenti Giroscopici** e sono: l'Indicatore di Assetto (Orizzonte Artificiale), il Virosbandometro e il Girodirezionale.

Quando si "da' energia" all'aereo infatti i giroscopi della strumentazione entrano in funzione (*quindi cominciano a girare*) e la strumentazione comincia a funzionare; in assenza di energia, i giroscopi si fermano e alcuni strumenti (come ad esempio l'orizzonte artificiale) sembrano assumono la posizione di una trottola ferma poggiata su un lato.

Altri **Strumenti** denominati a **Capsula** come l'Anemometro, l'Altimetro, e il Variometro, basano il loro funzionamento sulla rilevazione della differenza di pressione rilevata tra la presa statica e la presa dinamica.

TAKE OFF vac
Giuseppe MANGIALOMINI
Senior Private Pilot

Gestione della Leva del Passo dell'Elica (Propeller Lever)

Aerei - Fasi di Volo→	Decollo Take Off	Salita Climb	Crociera Cruise	Discesa Descent	Avvicinamento/Atterraggio Approaching/Landing
Cessna 182S Motoelica Monomotore Tripala	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min)	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min)	Leva del Passo a metà corsa - (Passo Max)	Leva del Passo a metà corsa (Passo Max) - Per accelerare ulteriormente la discesa si può usare il Passo Minimo	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min)
Baron 58 Motoelica Bimotore Tripala	Leve di Condizione tutte avanti - (Passo Min)	Leve di Condizione tutte avanti - (Passo Min)	Leve di Condizione a metà corsa - (Passo Max)	Leva del Passo a metà corsa (Passo Max) - Per accelerare ulteriormente la discesa si può usare il Passo Minimo	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min)
King Air 350 Turbo Elica Bimotore Quadripala	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min) - Autofeather (ARM)	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min) - Autofeather (ARM)	Leva del Passo a metà corsa - (Passo Max)	Leva del Passo a metà corsa (Passo Max) - Per accelerare ulteriormente la discesa si può usare il Passo Minimo	Leva del Passo tutta avanti - (Passo Min) - Autofeather (ARM)
ATR 42/72 Turbo Elica Bimotore Esapala	Leve di Condizione pos. AUTO - Power Management System TO	Leve di Condizione pos. AUTO - Power Management System CLB	Leve di Condizione pos. AUTO - Power Management System CRZ	Leve di Condizione pos. AUTO - Power Management System TO	Leve di Condizione pos. AUTO - Power Management System TO