



36° Stormo Virtuale

DIGITAL COMBAT SIMULATOR

Aerodinamica e Meccanica dell'Elicottero

SOMMARIO

1. Premessa.....	3
2. Il Rotore Principale.....	4
2.1 Dall'Hovering al Volo Traslatato.....	5
2.2 Controllo della Portanza del Rotore.....	6
3. Il Rotore di Coda e la Coppia di Rotazione.....	7
4. Limitazioni di Volo e di Manovra.....	8
4.1 Limiti di Velocità.....	8
4.2 Stallo a Bassa Velocità (Over Pitch).....	9
4.3 Limitazioni di Giri.....	9
4.4 Limitazioni di manovra.....	9
4.4.1 Mast bumping.....	9
4.4.3 Blade Strike.....	10
4.4.4 L.T.E. (Loss of Tail Rotor Effectiveness).....	10
4.5 Anello vorticoso (Power Settling).....	10
5. Portanza di Traslazione e Effetto Suolo.....	11
6. Dov'è la manetta?!?!.....	11
Ringraziamenti:.....	12

1. Premessa

«Recenti studi di aerodinamica hanno dimostrato che il calabrone non può volare a causa del rapporto fra la sua superficie alare e la sua massa corporea. Ma il calabrone non lo sa e continua a volare».

Igor Ivanovič Sikorskij

Questa frase racchiude in sé l'essenza del volo dell'elicottero, il cui solo stare sospeso in aria rappresenta un'acrobazia fra le mille complicazioni che cercherò di illustrare e farvi comprendere.

La particolarità di questa macchina impone una comprensione che sia quantomeno basilica dei fenomeni e degli accorgimenti che le consentono di stare per aria, non farlo significherebbe inseguire continuamente dei comportamenti dinamici incomprensibili, costringendoci a "volare a metà".

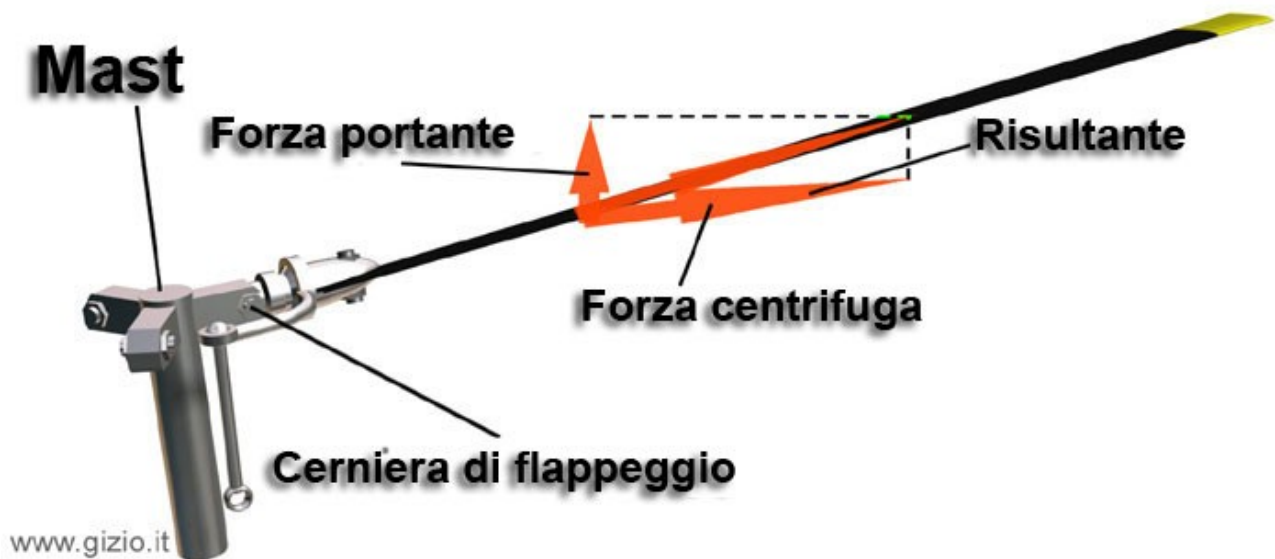
2. Il Rotore Principale

Il rotore è composto da tre elementi: albero motore, mozzo e pale (2 o più); le pale vengono montate sul mozzo attraverso articolazioni che le permettono di disporsi:

- 1) *Sul piano verticale (articolazione di battimento o flappeggio)*
- 2) *Sul piano di rotazione (articolazione di ritardo o brandeggio)*
- 3) *Sul loro asse longitudinale (articolazione di passo)*

Il pilota può controllare direttamente la portanza attraverso due fattori, la velocità di rotazione del rotore e l'angolo di incidenza delle pale, ma poiché negli elicotteri il rotore si muove a un numero di giri costanti, l'unica variabile che può veramente controllare è l'angolo di incidenza delle pale attraverso la variazione del passo.

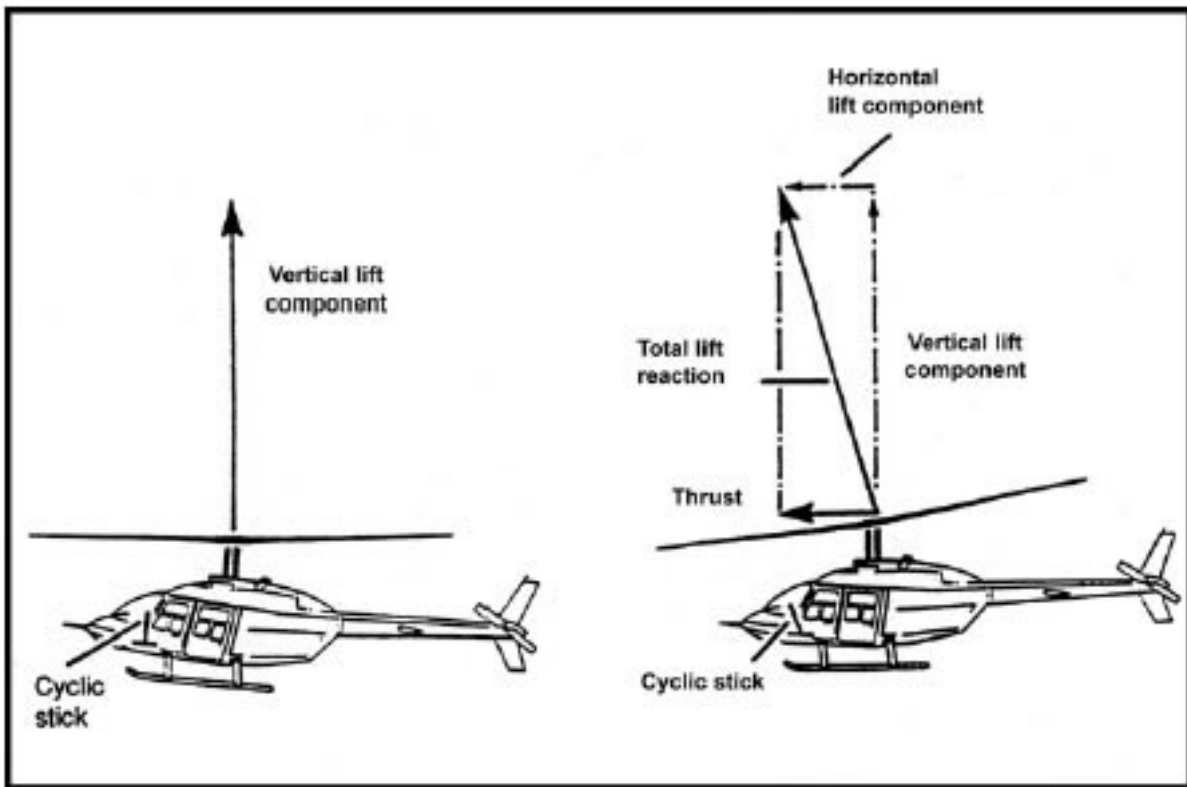
La pala del rotore in rotazione è soggetta alla forza centrifuga e alla portanza, queste due forze, componendosi, generano un momento flettente alla radice della pala; inserendo una cerniera di flappeggio la pala diventa libera di muoversi sul piano verticale andando ad allinearsi con la forza risultante e annullando quindi il momento flettente. Il movimento che ne deriva è detto flappeggio, per ridurne l'entità le pale vengono "svergolate", ossia realizzate con un angolo di calettamento che si riduce verso l'estremità della pala.



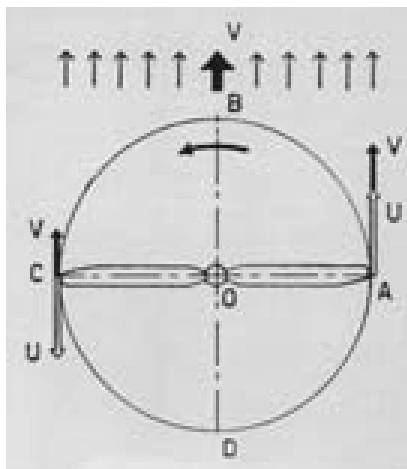
In conseguenza del moto di flappeggio il rotore non avrà la forma di un disco, ma bensì di un cono rovesciato, questo cono sarà più pronunciato tanto più grande sarà la portanza totale del rotore.

2.1 Dall'Hovering al Volo Traslato

In hovering la portanza è diretta verso l'alto ed eguaglia la forza peso dell'elicottero, e per andare in avanti??? Sugli aerei si agisce sulla manetta per aumentare la velocità, sugli elicotteri invece bisogna variare la direzione della portanza generata dal rotore, useremo quindi il comando ciclico per inclinare il rotore in avanti ed iniziare ad accelerare; il primo effetto che avremo sarà una perdita di quota dovuta alla scomposizione della portanza, cosa che andremo a correggere aumentando leggermente il passo collettivo. Ma non finisce qui!



All'aumentare della velocità abbiamo una componente di vento relativo che investe le pale del rotore in rotazione, questo vento relativo si andrà a sommare alla velocità delle pale creando sul rotore (semplificando notevolmente) due "macrozone": quella di pala avanzante e quella di pala retrocedente.

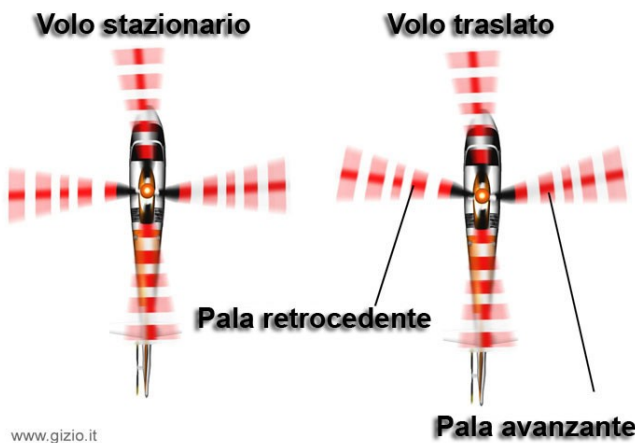


Nel rotore in figura la velocità di avanzamento V si somma alla velocità della pala U quando questa è nel punto A (pala avanzante), mentre si sottrae nel punto C (pala retrocedente).

Dal momento che la portanza varia in funzione della velocità del vento relativo avremo come risultato che la porzione destra (avanzante) del rotore in figura svilupperà maggiore portanza della porzione sinistra (retrocedente).

Anche in questo caso ci viene in aiuto la cerniera di flappeggio, la quale consentirà alle pale, nella loro rotazione, di salire e scendere liberamente e autonomamente andando a riequilibrare la dissimmetria di portanza laterale.

Se vi sembra tutto troppo complicato siete ancora in tempo...



Domanda: cosa hanno in comune un rotore di elicottero e una ballerina del Bolshoi???

Sicuramente il rotore di un elicottero ha molto più in comune con la ballerina rispetto ad un pilota (o almeno me lo auguro...); ma la cosa che li rende simili è che entrambi rispondono alla medesima legge fisica, la conservazione del momento angolare.

Quando la ballerina fa una piroetta, utilizza un metodo semplice ed efficace per variare la sua velocità di rotazione: allarga le braccia per rallentare e le avvicina a se per accelerare; ora pensiamo alla pala del nostro elicottero che

flappeggia, anche se in misura molto minore, quando la pala sale somiglia alla ballerina che avvicina a se le braccia, quando la pala scende invece è come se la ballerina allargasse le braccia. Tutto questo genera sulle pale del rotore delle forze alternative ad ogni giro che, se non adeguatamente controllate, possono letteralmente distruggere il rotore; il movimento delle pale sul piano di rotazione è possibile grazie all'articolazione di ritardo, o brandeggio, che consente loro di oscillare, la cerniera è aiutata da degli smorzatori (dampers) che limitano l'entità delle oscillazioni.

2.2 Controllo della Portanza del Rotore

Come detto all'inizio, il pilota può controllare la portanza del rotore attraverso la variazione del passo, questa variazione può essere uguale e contemporanea per tutte le pale (collettiva), oppure variare per ogni punto del piano di rotazione (ciclica); da qui i nomi dei comandi che ci consentono di effettuare tali variazioni: ciclico e collettivo!

Il collettivo verrà utilizzato per variare la portanza totale del rotore in ampiezza, quindi ci consentirà di effettuare variazioni di quota e di velocità.

Il ciclico ci consente di variare la direzione della portanza avendo effetto quindi sull'assetto e sulla velocità.

3. Il Rotore di Coda e la Coppia di Rotazione

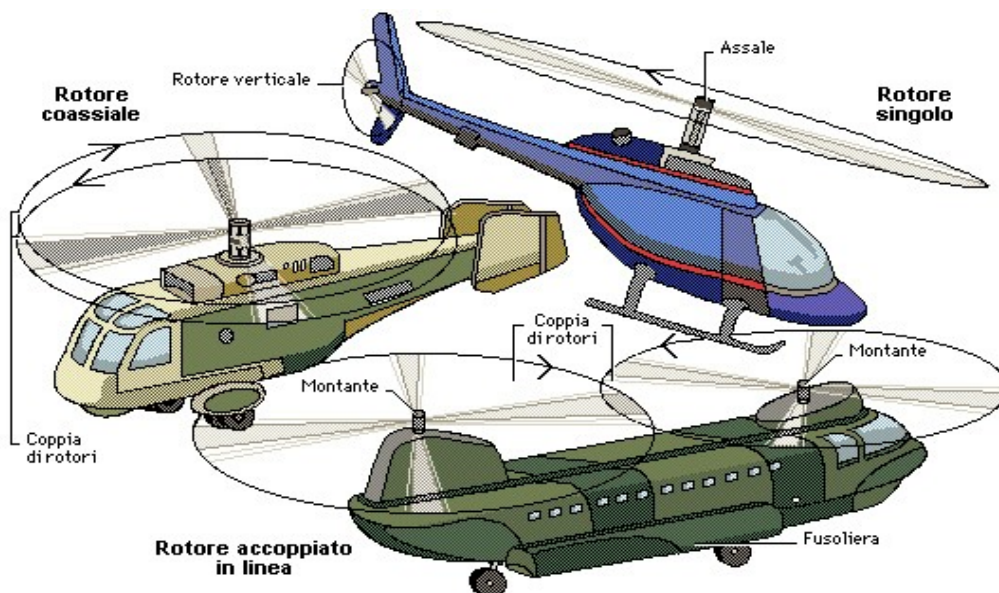
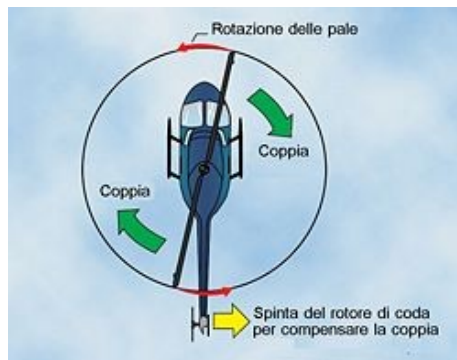
Alla coppia motrice applicata al rotore principale, per il 3° Principio della Dinamica, corrisponde una coppia uguale e contraria, detta coppia di reazione che, applicata alla cellula, la spingerà a ruotare in senso opposto a quello del rotore principale; per bilanciare questa coppia di reazione (che altrimenti renderebbe impossibile il volo) esistono diverse soluzioni, la più comune è l'installazione di un rotore di coda.

Poiché la coppia di reazione non è costante, ma varia notevolmente in base al passo collettivo applicato, il rotore di coda è dotato di articolazioni di cambio passo e di flappeggio; l'azione del pilota sulla pedaliera ha l'effetto di variare il passo delle pale del rotore di coda permettendogli di dosare la forza correttiva (in modo da eguagliare la coppia di reazione) e ottenere un volo coordinato.

E il KA-50? Dove ce l'ha il rotore di coda? Pare che quei burloni dei russi, stanchi delle soluzioni tradizionali, abbiano deciso di mettere ai loro elicotteri il rotore di coda per cappello!

Difatti questo elicottero monta due rotori principali sovrapposti; questi, essendo coassiali (i due alberi passano uno dentro l'altro) e controrotanti, e grazie alla possibilità di ripartire opportunamente la coppia fra i due rotori, bilanciano fra loro le coppie di reazione risultanti e non necessitano quindi di rotore di coda.

Qualunque sia il sistema scelto (ce ne sono molti altri) quasi sempre viene installato un pianetto di coda, e in eventuale aggiunta degli stabilizzatori orizzontali, opportunamente profilati per stabilizzare il comportamento dinamico dell'elicottero.



4. Limitazioni di Volo e di Manovra

L'elicottero è soggetto a diverse limitazioni per via della sua particolare "scarsa attitudine al volo", nonostante ciò, rispettando l'inviluppo di volo, questa macchina è capace di fare cose strabilianti!

Andiamo con ordine.

4.1 Limiti di Velocità

Gli elicotteri più veloci oggi in produzione riescono a malapena a superare i 300 Km/h, questo nonostante i motori attuali riescano a produrre potenze notevoli; come mai?

Diversamente dagli aeroplani, la velocità massima raggiungibile da un elicottero non dipende direttamente da quanta potenza esprimono i suoi motori/e, bensì dai fenomeni aerodinamici che avvengono sul rotore ad elevate velocità; questi sono sostanzialmente due: lo stallo della pala avanzante e lo stallo della pala retrocedente.



Vi ricordate che nella pala retrocedente la velocità all'aria si sottraeva alla velocità relativa della pala? Ovviamente ogni punto della pala avrà una velocità periferica diversa, nello specifico più è lontano dal centro e maggior è la velocità periferica.

Prendiamo la porzione di pala più vicina al centro, lì avremo velocità periferiche basse, così basse che ad un certo punto la nostra velocità di avanzamento sarà più grande di quella periferica... il flusso d'aria quindi, in quella porzione, non investirà la pala dal bordo d'attacco verso il bordo d'uscita... ma esattamente al contrario!!!! Ovviamente questo crea un grande scompenso sul rotore, fortunatamente lo stallo in

questione tende a rientrare da solo, l'insorgere di questo fenomeno, infatti, genera un momento a cabrare che, diminuendo la velocità, porta la situazione a normalizzarsi autonomamente (in figura sono mostrate altre due zone su cui avvengono fenomeni leggermente diversi ma che hanno effetti del tutto simili e che non spiego perché mi rendo conto che avete cose migliori da fare...)

Teoricamente potrei far girare il mio rotore più velocemente e aggirare il problema a mio piacimento, tanto la potenza ce l'ho!! Spostiamoci quindi sulla pala avanzante e vediamo cosa succede: se prendiamo la porzione periferica del rotore, questa avrà una velocità molto elevata, essendo quella più lontana dal centro di rotazione; trattandosi della pala avanzante questa velocità andrà a sommarsi a quella di traslazione portando la velocità relativa pericolosamente vicina al mach critico.

Nella condizione esposta la nostra povera pala (che ovviamente non è stata progettata per i regimi supersonici) subirà uno stallo d'urto; ciò genererà un momento picchiante molto pericoloso, poiché incrementando la velocità questo non farà altro che aggravare il problema fino alle peggiori conseguenze.

Poiché i progettisti sanno che i piloti sono degli scavezzacollo, hanno progettato i rotori in modo che lo stallo della pala retrocedente sopraggiunga prima di quello dell'avanzante, riportando perciò l'elicottero automaticamente a velocità ridotta.

Le situazioni che rendono probabile uno stallo, oltre alla velocità elevata sono:

- 1) *Peso elevato*
- 2) *Bassi giri rotore*
- 3) *Elevata altitudine di densità*
- 4) *Virate strette o brusche*
- 5) *Aria turbolenta*

4.2 Stallo a Bassa Velocità (Over Pitch)

Questo tipo di stallo si verifica a bassa velocità o in volo stazionario, è dovuto ad un repentino aumento del passo collettivo al fine di ottenere una salita rapida o arrestare una discesa. Se l'intervento sul collettivo è eccessivamente repentino, la massa d'aria che attraversa il rotore potrebbe non accelerare a sufficienza con conseguente stallo delle pale (e discesa a ferro da stiro lanciato dal balcone...); se l'errore viene riconosciuto subito, può bastare semplicemente abbassare il collettivo e picchiare leggermente l'assetto per uscire da questa condizione; se la manovra correttiva è tardiva sarà necessario abbassare il collettivo al minimo ed entrare in autorotazione.

4.3 Limitazioni di Giri

Il pilotaggio dell'elicottero si basa sul mantenimento dei giri rotore ad un valore costante o comunque entro limiti di tolleranza!!!

Se permettiamo ai giri di calare questo comporterà un aumento dell'angolo di incidenza delle pale del rotore principale, sino a quando queste non andranno in stallo; mentre nell'aeroplano basterà buttare il muso giù per ridurre quest'angolo, per l'elicottero la faccenda si complica (e quando mai...).

Quando il rotore stalla, l'elicottero inizia una caduta verticale (il ferro da stiro del paragrafo precedente) che aumenta ulteriormente il valore dell'angolo d'incidenza delle pale, portandolo ad un valore così elevato che nemmeno abbassando al minimo il collettivo è possibile rendere governabile l'elicottero, tutto questo rende il KA-50 estremamente confortevole grazie alla presenza di un comodo seggiolino eiettabile!

4.4 Limitazioni di manovra

Oltre ad essere limitato in velocità, l'elicottero è anche influenzato da limiti di manovra che possono variare in base alla configurazione del rotore utilizzato (bipala, quadripala, semirigido ecc..), vediamo dunque di cosa si tratta.

4.4.1 Mast bumping

Il Mast bumping è un'oscillazione forzata indotta da un rapido spostamento dei comandi di volo con il rotore scarsamente caricato, si verifica nei rotori a bilanciere (Huey) a causa della loro eccentricità nulla; un fenomeno simile, chiamato "droop stop pounding", può verificarsi anche nei rotori articolati, che ad ogni modo garantiscono dei limiti di manovra molto più ampi. Il Mast bumping si verifica quando, in un rotore scarico, a causa della azioni sul ciclico le pale urtano violentemente contro i fermi di flappeggio, ciò causa un elevato stress sull'albero (detto appunto "Mast") che può rompersi con conseguenze disastrose; anche in questo caso il livello di confort garantito dal seggiolino eiettabile del KA-50 è ineguagliabile!

Le manovre tipiche che possono portare al Mast Bumping sono:

- 1) *Piantata motore (reale o simulata)*
- 2) *Perdita del rotore di coda*
- 3) *Manovre ai limiti dell'involuppo di volo*
- 4) *Volo tattico (Contour Map oppure N.O.E.)*

Per evitare di incorrere in questo terribile inconveniente è bene sempre ricordarsi di non effettuare manovre brusche con poco passo collettivo applicato e/o in aria turbolenta.

4.4.2 Dynamic rollover

Per Dynamic rollover si intende il ribaltamento dinamico dell'elicottero al suolo; è sufficiente abbassare il passo collettivo in maniera decisa ma non brusca per uscire da questa condizione.

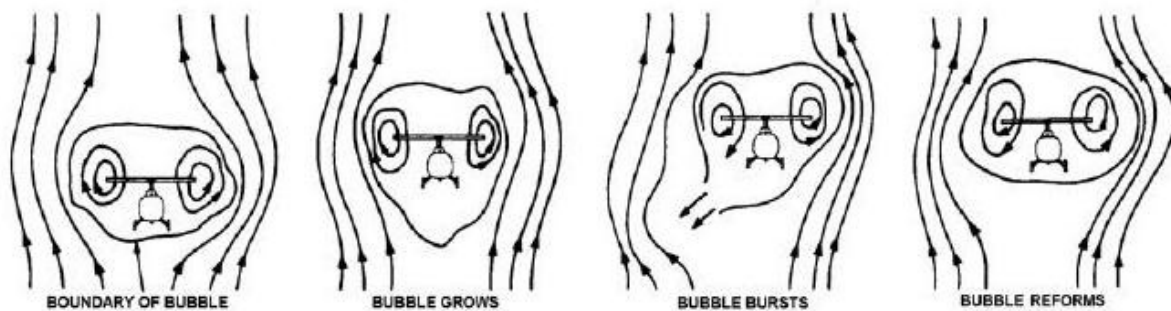
4.4.3 Blade Strike

È causato da un flappeggio elevato che porta all'urto della pala con la trave di coda. Le cause più comuni sono atterraggi duri o strisciati, in particolar modo con assetto cabrato.

4.4.4 L.T.E. (Loss of Tail Rotor Effectiveness)

L'L.T.E è una perdita di efficacia del rotore di coda con conseguente imbardata dell'elicottero, essa può avvenire per una molteplicità di concause, data la particolare configurazione del Kamov è inutile dilungarsi oltre.

4.5 Anello vorticoso (Power Settling)



In questa situazione l'elicottero è avvolto in una sorta di bolla d'aria, il rotore continuando a "mulinare" la stessa aria non fa altro che alimentare questa bolla aumentando la potenza richiesta (power settling) e iniziando a scendere inesorabilmente.

I sintomi dell'anello vorticoso sono:

- 1) *forti vibrazioni*
- 2) *parziale perdita di controllo dell'elicottero*
- 3) *riduzione significativa della forza di sostentamento*

Un incremento di passo collettivo in questa condizione non farà altro che alimentare ulteriormente la bolla d'aria peggiorando la situazione; la manovra correttiva consiste nel ridurre il collettivo e assumere un assetto a picchiare per guadagnare velocità ed uscire dallo stato di vortice.

Le condizioni favorevoli all'ingresso in stato di vortice sono:

- 1) *velocità di traslazione quasi nulla*
- 2) *elevata potenza impiegata*
- 3) *rateo di discesa fra i 300 e i 600 fpm (1,5-3 m/s)*

5. Portanza di Traslazione e Effetto Suolo

Probabilmente a pochissimi di voi frega qualcosa del modo in cui si riesca a rendere frizzante una birra, ma sicuramente vi interessa che quelle dannate bollicine ci siano!!! Ecco, i due concetti che seguono sono per un pilota di elicottero come le bollicine della birra, esaltano il gusto, e chi se ne frega come ce le mettono!

La portanza di traslazione è un fenomeno grazie al quale, superata una certa velocità (circa 40Km/h) la potenza richiesta per il volo diminuisce man mano che la velocità aumenta (almeno per un po' - 110 km/h circa), dopo di che, a causa dell'elevata potenza necessaria a vincere la resistenza della fusoliera, la potenza richiesta tornerà ad aumentare.

L'effetto suolo è un fenomeno che si ha in volo stazionario quando questa manovra viene fatta vicino al terreno, grazie a ciò avremo una notevole diminuzione della potenza richiesta per mantenere l'elicottero in volo stazionario, e più l'elicottero sarà vicino al suolo, meno potenza sarà richiesta.

6. Dov'è la manetta?!?!?!?

Uno dei maggiori disagi che vive un pilota di aeroplano che inizia a volare sugli elicotteri è la scarsa comprensione dei sistemi di comando dei motori, spendiamo quindi alcune parole sull'argomento.

La manetta negli aeroplani è come l'acceleratore delle automobili, più lo spingi e più spinta hai, chiaro e diretto, poteva mai essere così semplice su un elicottero? Ovviamente la risposta è no!

Questo perché i rotori degli elicotteri sono progettati per dare il meglio di sé ad un dato regime di rotazione, quindi il compito dei motori è di dosare la potenza erogata per mantenere costante la velocità di rotazione del rotore al di là del carico applicato su di esso (passo collettivo applicato); in soldoni le turbine devono girare sempre allo stesso regime di giri.

Nel Kamov abbiamo le due Engine Cutoff Valve, queste servono a immettere combustibile in camera di combustione ed a portare il T/M ad un regime in cui è in grado di "autoalimentarsi", a voi sembrano le manette ma in realtà sono come le chiavi dell'auto, una volta che le avete girate e il motore è partito non dovete toccarle finché non decidete di spegnerlo.

A questo punto il controllo dei motori passa al Governor (EEG): nella procedura di messa in moto, quando premiamo PAGE UP x 2, non facciamo altro che portare i giri nel range operativo e dire all'EEG di prendere il controllo dei motori (nell'elicottero reale avremmo fatto questa operazione azionando le leve gialle sul pannello posteriore sinistro); da questo momento in poi sarà l'EEG a decidere quanto combustibile immettere in camera di combustione in base alle richieste di potenza del rotore, richieste che derivano dall'uso che facciamo del collettivo. Una volta regolati i giri quindi non dovremo occuparci più di nulla che non sia evitare di usare il collettivo come fosse una zappa di 20 kg, a tutto il resto ci penserà l'EEG.

Ringraziamenti:

Autore : =36=Hypnos

36SV Format Designer : =36=Pigon

Adattamento e Pubblicazione : =36=Karma

Project Manager : =36=Karma