

INCLINAZIONE AERODINAMICA DEL ROTORE PRINCIPALE DI UN ELICOTTERO

L'inclinazione del disco rotore in tutte le direzioni, avviene conseguentemente ad uno dei principi fondamentali dei corpi in rotazione: la **Precessione Giroscopica**.

Secondo detto principio, *"una forza applicata ad un corpo in rotazione, si manifesta 90° dopo il punto di applicazione della forza stessa, nel senso di rotazione del rotore, e nella stessa direzione della forza"*.

Per ottenere il volo traslato in avanti ad esempio, il rotore deve essere inclinato in modo che le pale, quando si trovano avanti sulla prua dell'elicottero, siano al punto più basso della loro traiettoria, mentre, viceversa, quando in coda, al punto più alto.

Quanto detto si ottiene applicando la forza necessaria, diretta verso il basso, sulla pala che si trova al traverso-destra (al traverso-sinistra per gli elicotteri il cui rotore ruota in senso orario; ad esempio, gli elicotteri francesi), in modo tale da diminuirne istantaneamente la Portanza, e provocare, quindi, il massimo abbassamento della pala medesima quando essa si troverà avanti, in prua; cioè, 90° dopo il punto di applicazione della forza.

Viceversa, per ottenere il massimo sollevamento della pala quando essa si trova in coda, è necessario aumentare istantaneamente la Portanza della pala quando si trova al traverso-sinistra (al traverso-destra per gli elicotteri il cui rotore ruota in senso orario; ad esempio, gli elicotteri francesi), in modo da provocarne il massimo sollevamento quando sarà in coda (fig.1).

Tali movimenti, sul piano verticale, sono detti di **flappeggio**

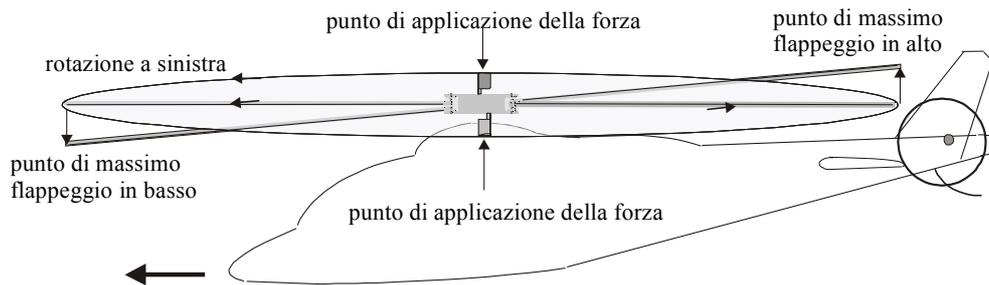


fig.1

Il risultato finale sarà l'inclinazione in avanti del disco rotore e del suo asse virtuale, ad esso perpendicolare (fig.2).

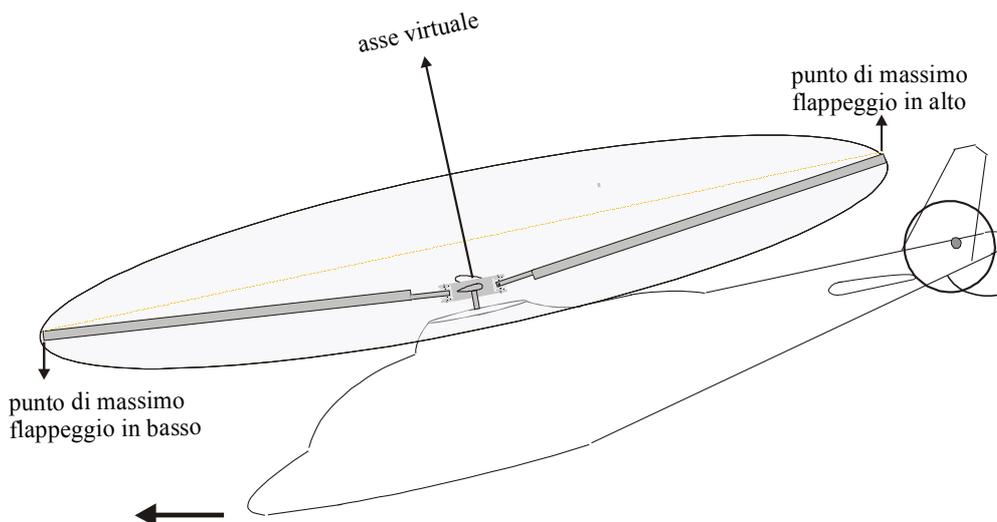


fig.2

Quanto detto è valido per qualsiasi direzione d'inclinazione del disco rotore, ricordandosi che la forza necessaria a fare abbassare e sollevare opportunamente le pale, dovrà essere applicata 90° in anticipo.

Vediamo, più dettagliatamente, quali sono le cause che generano il flappeggio della pala e come varia, in una rotazione completa, l'angolo di Passo di quest'ultima.

Sappiamo che una pala si solleva o si abbassa se aumenta o diminuisce la sua Portanza.

Inoltre, dalla formula della Portanza, vediamo che la Velocità di Avanzamento della pala ed il suo Angolo d'Attacco sono due valori che agiscono direttamente su di essa. Infatti, $P = \frac{1}{2} \rho S v^2 C_p$

Per i sistemi rotorici funzionanti a giri essenzialmente costanti, pensare di poter sfruttare una intenzionale variazione della Velocità di Avanzamento della pala (V) per creare un aumento o una diminuzione della Portanza, che provochi, conseguentemente, il sollevamento o l'abbassamento della pala stessa, sarebbe veramente assurdo (pensate alle ripercussioni sulla forza centrifuga). La superficie S è costante. La densità dell'aria ρ è quella del luogo in cui si vola. Per cui, l'unico fattore che può essere variato facilmente è l'Angolo d'Attacco (cioè, il Coefficiente di Portanza C_p).

Vediamo cosa succede quando il pilota sposta la Leva del Passo Ciclico in avanti.

Per il momento, per rendere più lineare la descrizione, consideriamo la Leva Scissoria e i tre martinetti dei servocomandi che asservono il Piatto Fisso, sul quale poggia il Piatto rotante al quale è collegato il rotore, disposti nel seguente modo (fig.3 – elicottero visto da dietro):

- la Leva Scissoria, lungo l'asse trasversale dell'elicottero, a sinistra dell'Asse Meccanico di rotazione;
- il martinetto Avanti/Indietro, lungo l'asse trasversale dell'elicottero, a destra dell'Asse Meccanico di rotazione;
- i martinetti, Laterale-Destro e Laterale-Sinistro, rispettivamente, lungo l'asse longitudinale dell'elicottero, indietro ed avanti .

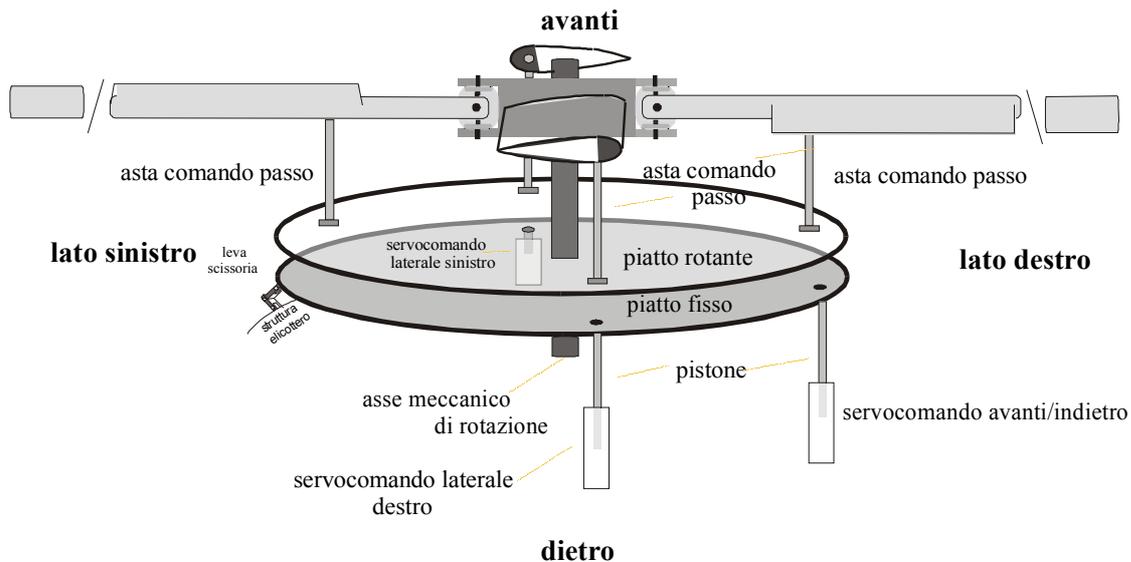


fig. 3

Ed ancora, la fig.3 mostra:

- Il Piatto Fisso (orizzontale) collegato alla struttura dell'elicottero tramite la Leva Scissoria ed i martinetti dei tre servocomandi;
- Il Piatto Mobile poggiato sul Piatto fisso, libero di ruotare con l'Asse Meccanico di rotazione, tramite un cuscinetto invisibile in figura;
- Le Aste Comando Passo che collegano il Piatto Rotante alle pale.

Il movimento in avanti della Leva del Passo Ciclico (fig.4 – elicottero visto da dietro) provoca:

- l'abbassamento dell'asta (pistone) del martinetto Avanti/Indietro di destra;
- Le aste dei due martinetti, Laterale-destro e Laterale-Sinistro, restano immobili;
- La Leva Scissoria si estende.

Ne consegue che:

- il Piatto Fisso ed il Piatto Mobile si inclineranno a destra;
- l'Asta Comando Passo della pala che si trova al traverso-destra, tirata in basso, farà ruotare in senso antiorario la pala medesima e conseguentemente, diminuirà l'angolo di Passo.

Viceversa, l'Asta Comando Passo della pala che si trova al traverso-sinistra, spinta in alto, farà ruotare in senso orario la pala medesima ed aumentare, conseguentemente, il suo Angolo di Passo.

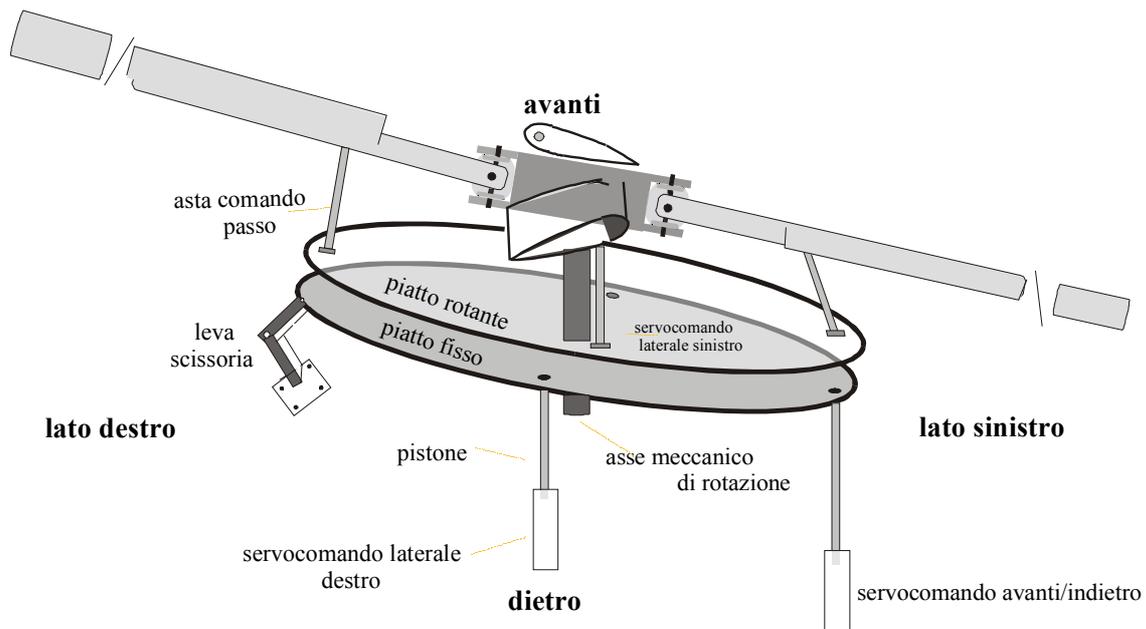


fig.4

Seguiamo, adesso, (sempre per un elicottero la cui rotazione del suo rotore è antioraria) la variazione del Passo della pala in una rotazione completa di 360°.

Quando la pala é al traverso-destra, trovandosi perfettamente al di sopra del punto di maggior inclinazione in basso del Piatto Fisso e quindi del Piatto Rotante, avrà il Passo minimo, quindi:

- la pala perderà immediatamente portanza ed inizierà ad abbassarsi in modo tale da trovarsi, per la legge della Precessione Giroscopica, al punto più basso della sua traiettoria di rotazione, 90° dopo, in prua.

Attenzione, però: mentre la pala nella sua rotazione dal traverso-destra in avanti perde quota, il suo Angolo di Passo viceversa, comincia pian piano e gradatamente ad aumentare (fig.5) – (per migliorare la comprensione, l'elicottero è visto da sinistra).

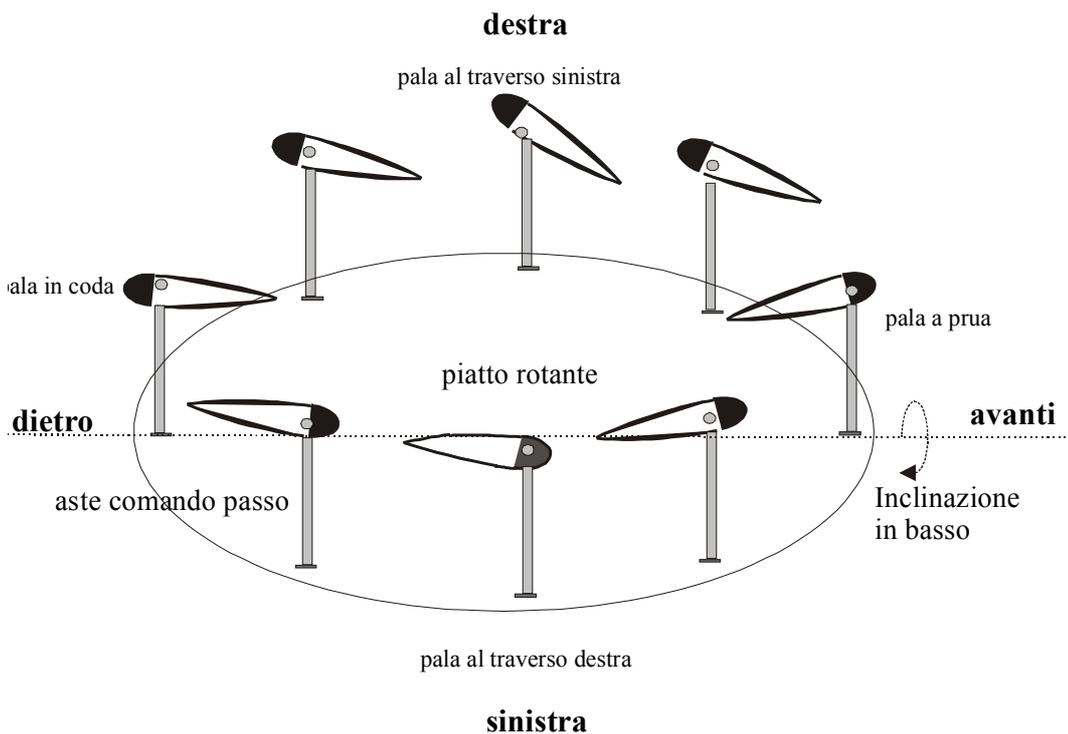


fig.5

Ciò avviene meccanicamente, perché il Piatto Mobile rotante, al traverso-destra, è alla massima inclinazione in basso, ed il suo bordo, man mano, verso prua è più in alto.

L'Angolo di Passo della pala quindi, comincerà ad aumentare gradatamente fino ad essere al massimo valore quando avrà effettuato 180° di rotazione e sarà al traverso-sinistra. Questo è il punto più alto del Piatto Fisso e conseguentemente, del Piatto Rotante che vi gira sopra, ed al quale sono collegate le pale.

La pala invece, come già detto, dal traverso-destra, pur aumentando, durante la rotazione e pian piano il suo Angolo di Passo, per la Precessione Giroscopica perderà quota e si troverà al suo massimo flappeggio in basso, quando sarà in prua.

Da questo punto, la pala invertirà la traiettoria e comincerà a sollevarsi, continuando, nel mentre e come già detto, ad aumentare il suo Angolo di Passo.

Al traverso-sinistra, l'angolo di Passo è al massimo valore, ma la pala, sempre per la ben nota legge della Precessione Giroscopica, avendo ricevuto il comando che la porta al massimo Angolo di Passo e quindi d'Attacco, ruotando dal traverso-sinistra alla coda, continuerà a sollevarsi, ma a diminuire il suo Angolo di Passo.

Sulla coda, la pala è al massimo flappeggio in alto, ma continuerà a diminuire ancora il suo Angolo di Passo.

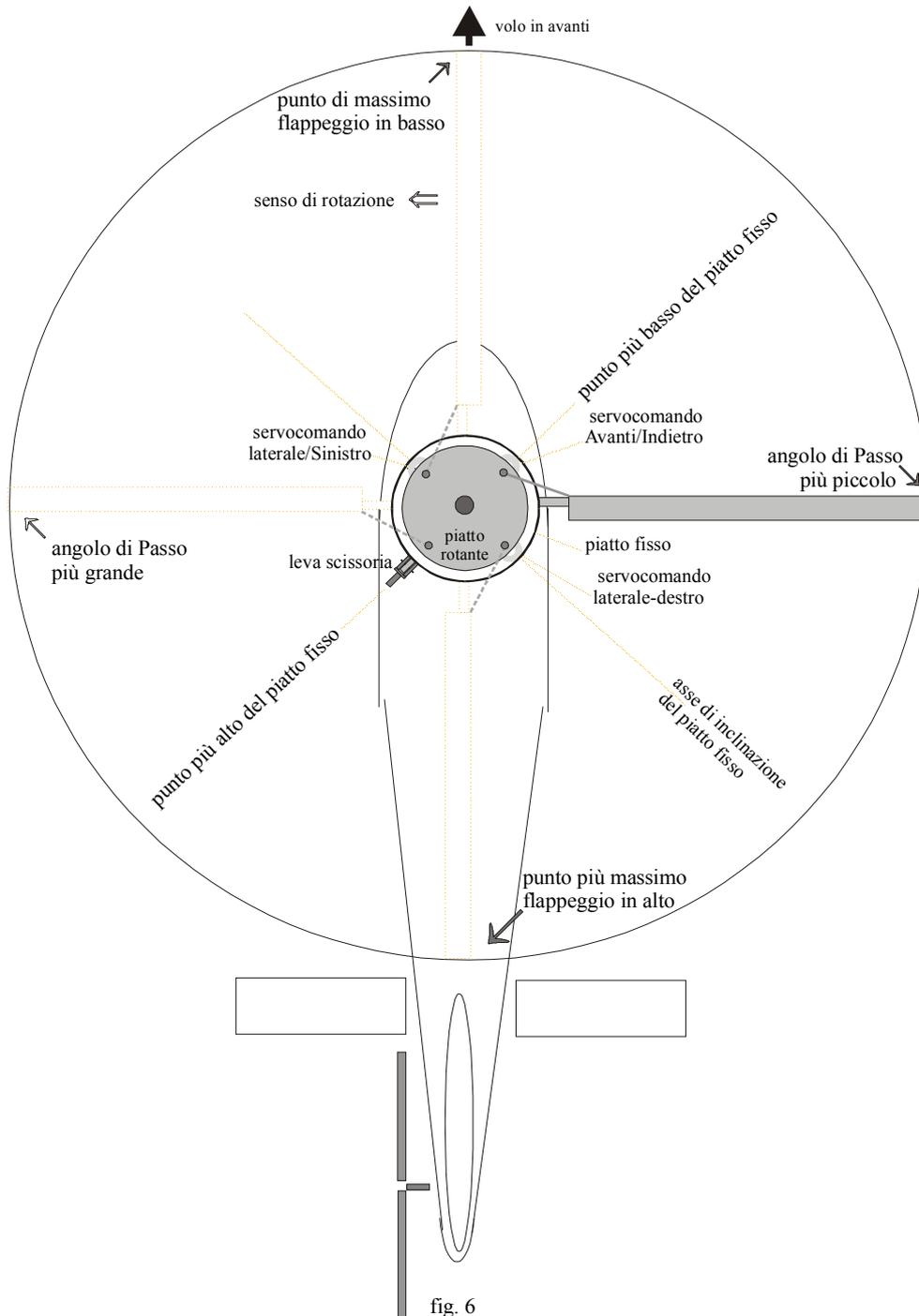
Tale diminuzione continuerà fino al traverso-destra.

Dalla coda, la pala comincerà ad abbassarsi fino a quando non sarà avanti, in prua.

Quanto detto è valido per qualsiasi movimento della Leva del Passo Ciclico. Ovviamente, varierà il verso dell'inclinazione dei piatti Fisso e Mobile e conseguentemente, la direzione del flappeggio delle pale, ma rimarrà sempre valido il principio che il massimo flappeggio in basso di ciascuna pala avverrà 90° dopo il punto in cui il piatto Mobile, inclinandosi, ha ridotto al minimo il Passo della pala che vi si trova sopra. Viceversa, il massimo flappeggio in alto avverrà

90° dopo il punto in cui il piatto Mobile, alzandosi, ha aumentato al massimo il Passo della pala che vi si trova sopra.

All'inizio del paragrafo, per rendere più lineare la descrizione, avevamo considerato la Leva Scissoria e i tre martinetti dei servocomandi che asservono il Piatto Fisso, ortogonali tra loro e disposti lungo gli assi, longitudinale e trasversale. In realtà, vantaggi meccanici, normalmente, consigliano una diversa disposizione, cioè: la rotazione di circa 45° in senso antiorario (fig.6 e 7).



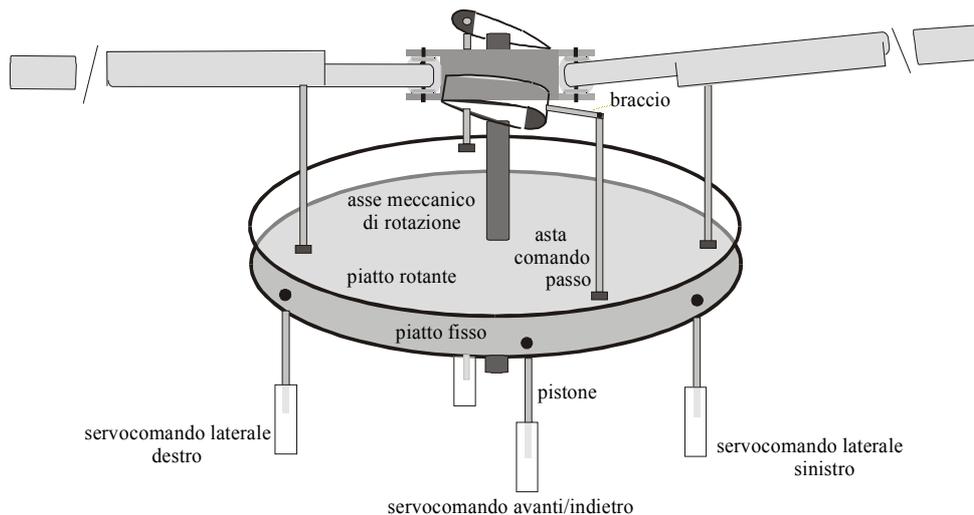


fig.7

Tale configurazione permette la realizzazione del levismo, Aste Comando Passo/Braccio, delle rispettive pale, il quale facilita la variazione dell'angolo di Passo intorno ai cuscinetti del loro manicotto. Del resto, i bracci delle singole pale, trasferiscono il comando imposto dalle Aste Comando Passo, 45° in ritardo, per cui, nulla varia in merito alla nota legge della Precessione Giroscopica precedentemente vista.

Nel nostro esempio, mentre l'asta Comando Passo è direttamente sull'asta del martinetto Avanti-Indietro posto 45° avanti al traverso-destra del velivolo, la variazione dell'Angolo di Passo, attraverso l'insieme Asta/Braccio, è rinviata indietro alla pala che si trova sul traverso-destra.

Nota:

A coloro che volessero approfondire gli argomenti di aerodinamica, con particolare riferimento all'impiego pratico dell'elicottero, si consiglia di acquistare la nuova edizione del testo scritto dal Com. Gian Bruno MINGIARDI: "PRINCIPI DI AERODINAMICA E TEORIA DEL VOLO DEGLI ELICOTTERI" – IBN Editore.

In tale edizione, i disegni, creati con un programma grafico particolarmente efficiente, rendono gli argomenti ulteriormente semplici, chiari ed esaurienti. Inoltre, il libro contiene in allegato un interessante e pratico "floppy disk" dal titolo "PROFILI DI DECOLLO E ATTERRAGGIO DEGLI ELICOTTERI CHE OPERANO IN TRASPORTO PUBBLICO PASSEGGERI (secondo la JAR – OPS 3 - *Commercial Air Transportation – Helicopters*) che illustra, con collegamenti alla teoria del libro, lo svolgimento delle operazioni svolte.