

CORRELAZIONE TRA MODULI FISICI
E CAMPANATURA DELL'ELICA

E' più che intuibile che un'elica, specie se di dimensioni diametrali tipo quelle degli attuali FAI F 1 B ed anche OLD TIMER Wakefield, sotto l'azione della coppia motrice elastica tenda ad assumere nel piano perpendicolare all'asse di rotazione, una linea elastica ben precisa come risultato dell'equilibrio, istante per istante, di più forze e coppie agenti su di essa.

La variabilità di questa configurazione ^{dipende} v , come ben noto, dalla continua variazione della coppia C della matassa elastica durante la fase di scarica.

Il caso di un'elica per motomodelli non viene qui trattata per un ragionevole motivo di semplificazione di un problema di notevolissima difficoltà; ciò verrà in altra occasione affrontato.

In quanto segue si tenga conto, inoltre, che la difficoltà matematica viene vieppiù acuita dal fatto che i parametri fisici E (modulo di elasticità a trazione normale) e G (modulo di elasticità tangenziale) sono purtroppo assai variabili da blocco di legno a blocco di legno, balsa, cirmolo e quantaltro sia; questo perchè tali materiali non posseggono, a differenza dei metalli, un reticolo cristallino univoco, essendo la loro struttura molecolare di tipo aleatorio, a seguito di fenomeni di crescita biochimica non lineari nel tempo.

Quanto sopra comporta che la ricerca della linea elastica dell'elica, qualunque sia il metodo seguito, ha sempre carattere approssimativo; la risoluzione rigorosa di questo problema, presentando difficoltà e complicazioni matematiche è di non pratico uso.

Si intuisce, di conseguenza, che la campanatura ovvero lo spostamento del punto terminale T in T_1 , definibile con calcoli precisi in sede di progetto, può avvenire solo su base sperimentale in rapporto col materiale costruttivo.

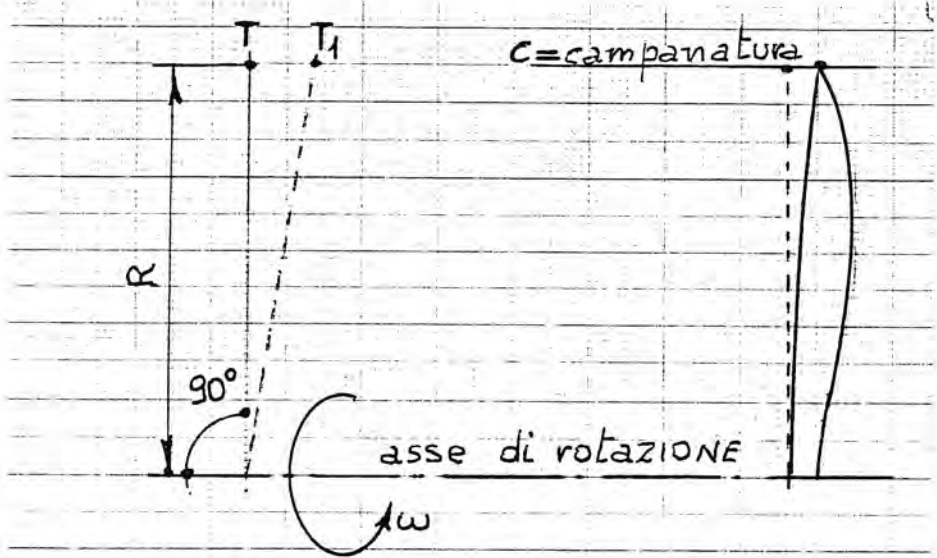


FIG 1

Non mi addentrerò nelle complicate, anche se molto interessanti, questioni matematiche; tuttavia riporterò un assai ristretto ventaglio di questioni analitiche per rendere evidenti, ai lettori di questo Convegno, le difficoltà in cui ci si dibatte.

Si conosce il Momento principale M_1 dovuto alla spinta aerodinamica che agisce nel piano contenente l'asse di rotazione dell' elica; se l'elica ha campanatura (cosa che quasi sempre avviene) si può conglobare anche la parte M' dovuta all'effetto della forza centrifuga sulla campanatura come a seguito schematizzato

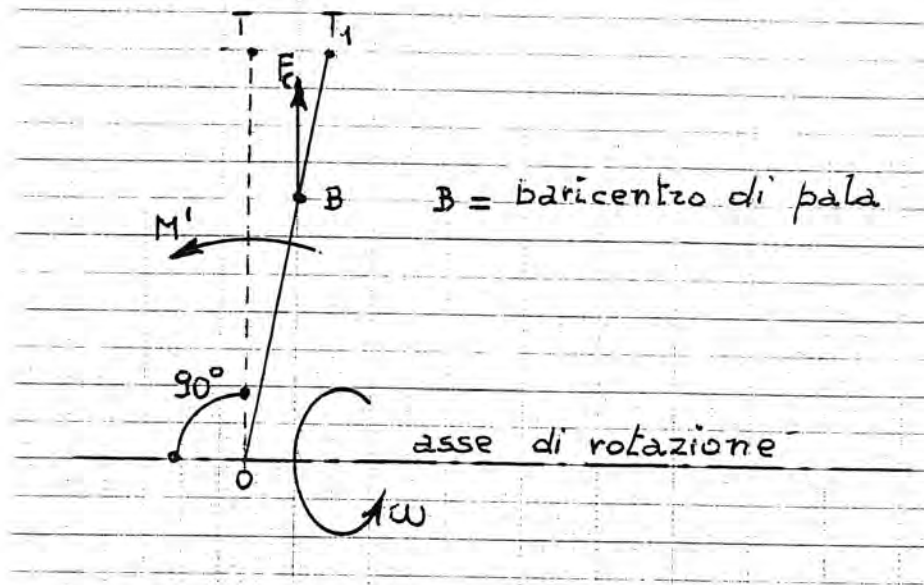


FIG 2

Si conosce pure il Momento M_2 dovuto alla coppia applicata (coppia della matassa elastica variabile durante la scarica), agente nel piano di rotazione della pala.

Pertanto il Momento totale noto, tralasciando le complesse questioni relative all'ellisse centrale d'inerzia, vale :

$$M_0 = M_1 \cos \beta + M_2 \sin \beta$$

ove β è l'angolo che l'asse minore dell'ellisse d'inerzia forma con la direzione dell'asse di rotazione dell'elica.

Il perchè entri in scena l'ellisse d'inerzia è dovuto al fatto che gli sforzi, le forze e i momenti (o coppie) della pala dell'elica si scaricano sul mozzo ed è qui, zona che presiede alla resistenza generale, che entra in gioco tutto il sistema matematico tipico della Scienza delle Costruzioni, con sbocco agli assi principali e secondari di tensione e

quindi all'ellisse centrale d'inerzia.

Se indichiamo con η (eta) e ξ (zeta) le frecce effettive della pala, sotto rotazione, nei due piani principali dell'ellisse d'inerzia, si ha che per effetto della forza centrifuga esse producono due momenti correttivi, principale e secondario,:

$$\begin{aligned} m_1 &\propto \eta \\ m_2 &\propto \xi \end{aligned} \tag{1}$$

con il simbolo \propto a rappresentare la dipendenza reciproca.

Le conclusioni analitiche a cui si arriva sono che, nelle due direzioni degli assi dell'ellisse, agiscono due Momenti M'_1 ed M'_2 somma di una parte nota e di una incognita:

$$\begin{aligned} M'_1 &= M_1 + m_1 \\ M'_2 &= M_2 + m_2 \end{aligned}$$

Nel campo di eliche per FAI - F1B ed Old Timer , come già accennato, tutto si aggrava per via dei parametri fisici E e G , che entrano decisamente nelle equazioni, assai variabili.

Per concludere questo breve richiamo matematico, faccio presente che volendo risolvere la questione in essere, occorrerebbero due poligoni di ^{in flessione} per i due assi dell'ellisse d'inerzia.

Quì però, se non si hanno indicazioni piuttosto precise circa la dipendenza reciproca nelle equazioni (1) ci si deve giocare forza immergersi in un complesso e delicato gruppo di equazioni che rende il procedimento lento, faticoso ed assai impegnativo.

Prego il lettore di scusare la possibile noia arrecata da quanto sopra, ma è comunque necessario avere un'idea della complessità dei fatti analitici in gioco.

Fortunatamente le eliche per gli "elastico" F1B e Old Timer facilitano le cose per due ragioni:

- 1) sono di struttura piuttosto rigida;
- 2) hanno diametri e sezioni di pala non critici.

Per "critico" si intendono valori geometrici di pala facilmente variabili sotto trazione e coppia motrice dovuta alla matassa elastica.

Addentrando nel problema della miglior campanatura arriveremo ad alcune tabelle e a grafici applicativi.

L'espressione più generale del rendimento è notoriamente dato dalla equazione:

$$\eta = \frac{V_0 \int_{R_1}^R dT}{\Omega \int_{R_1}^R dQ}$$

- ove :
- V_0 = velocità di volo
 - Ω = velocità angolare dell'elica
 - R_1 = raggio del mozzo
 - R = raggio esterno = $D/2$; D = diametro dell'elica
 - dT = trazione agente su un elemento generico di elica posto a raggio "r"
 - dQ = coppia agente sull'analogo elemento citato.

Per semplicità e perchè quanto segue deriva da ben precise risultanze sperimentali, non vengono riportate le espressioni analitiche di dT e dQ . Quanto ad Ω è bene ricordare che essa varia durante la scarica; la sua espressione più familiare è:

$$\Omega = \frac{2\pi n}{60}$$

ove "n" = numero dei giri compiuti dall'elica in un minuto primo.

Nei modelli ad elastico tale numero di giri tende bruscamente a diminuire dopo lo spunto iniziale rimanendo però entro limiti di modesta variabilità.

Circa R_1 = raggio del mozzo, le risultanze sperimentali per via ottica hanno mostrato che su un'elica di raggio 26 cm, il valore di R_1 oscilla attorno ai 45 + 50 mm, ossia un 18 % medio di raggio dell'elica non contribuisce alla trazione ovvero alla velocità di volo.

Da notare che tale 18 % è indipendente dalla forma della pala dell'elica ed è proporzionale al raggio della medesima.

Orbene l'espressione sopra riportata è vista, così scritta, come risultante di parametri dinamici quali V, Ω, dT, dQ .

La si può peraltro vedere anche come risultato di singoli rendimenti riferiti ad elementi differenziali di pala, ciò che porta a risultati molto ben applicabili al caso di modelli F1B ed OLD TIMER. Per questo è utile,

per non dire indispensabile, definire i rendimenti η_r, η_i, η_E .

Il rendimento η_r (eta indice r) di un elemento di d'elica, posto al raggio "r", può considerarsi come il prodotto di due rendimenti : il rendimento indotto η_i ed il rendimento alare η_E

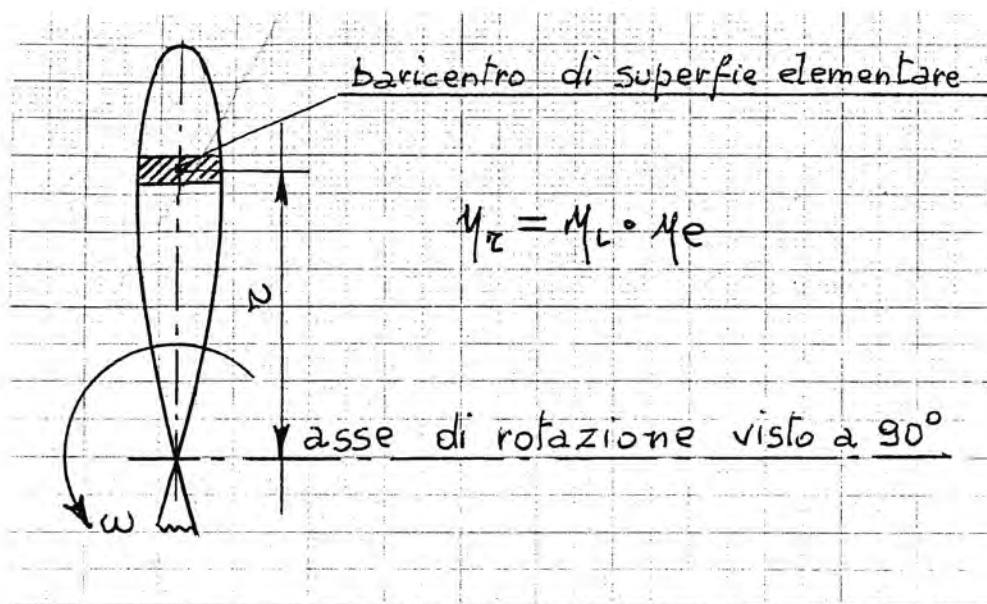


FIG 3

Il rendimento indotto η_i può, nella maggior parte dei casi, ritenersi con buona approssimazione indipendente dall'elemento di elica che si considera : esso dipende invece dal raggio R dell'estremità dell'elica crescendo al crescere dello stesso (ecco perchè sono più efficienti eliche di diametro maggiore rispetto a quelle di diametro minore) e dallo spostamento (è la CAMPANATURA) del punto estremo dell'elica dalla perpendicolare all'asse di rotazione

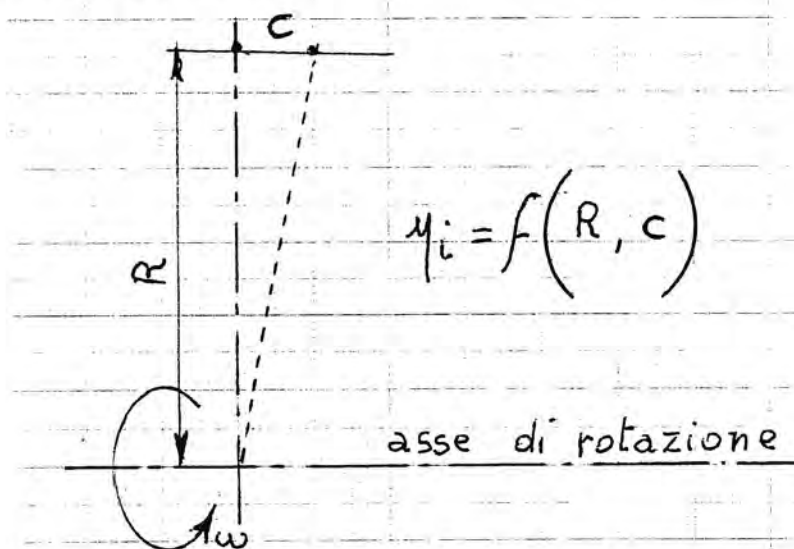


FIG 4

Questa dipendenza essendo dovuta a complessi fenomeni di circuitazione del fluido gassoso secondo diversi angoli di attacco al profilo delle varie sezioni dell'elica.

Il rendimento alare η_E dell'elemento d'elica dipende sostanzialmente solo dalle caratteristiche aerodinamiche del profilo dell'elemento stesso. Sperimentalmente nei laboratori tedeschi di Hamburg ho potuto rilevare che la curvatura migliore del profilo dell'elica, per una corda di 50 mm, è 3,2 mm al 40 % della corda, in un arco compreso tra 68 e 80 % del raggio dell'elica peraltro poco incidendo l'usuale dimensionamento in spessore.

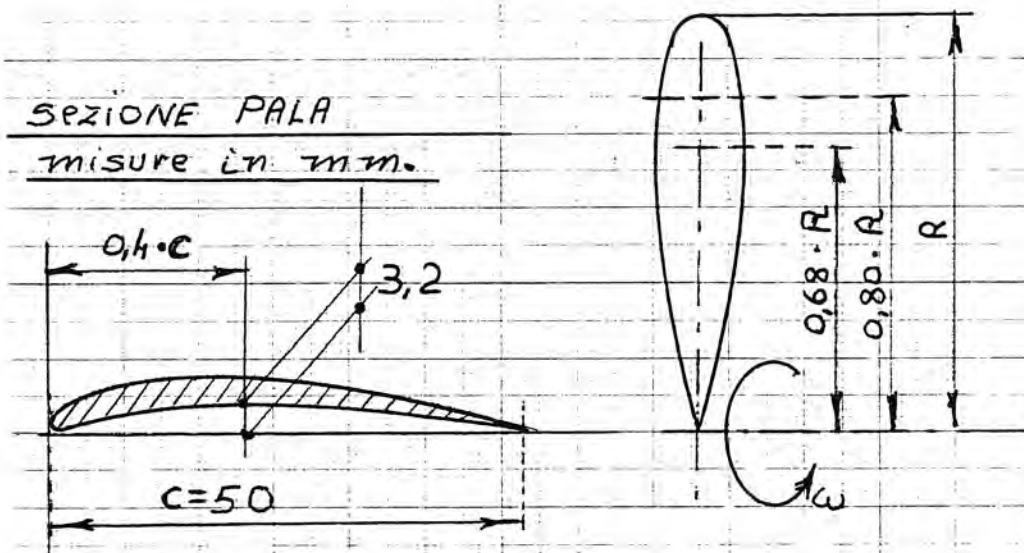


FIG. 5

Tale valore, peraltro, gode di buona proporzionalità lineare con la corda.

La tabella ed il diagramma che sotto vengono riportati riassumono i dati sperimentali relativi ad una campanatura, rivelatasi ottimale di 14 mm. Tale valore, in realtà, dipende fortemente dai parametri fisici (che sono la genetica del materiale con cui è costruita l'elica) E e G già richiamati all'inizio di queste note.

In particolare è assai più prevalente il modulo E rispetto al modulo G; ciò per il motivo che, per complesse equazioni differenziali alle derivate parziali, che qui per brevità ometto, il modulo E è legabile al peso specifico del materiale, balsa, cirmolo o quant'altro.

Sperimentalmente il valore ottimale di 14 mm di campanatura è strettamente correlato, nel caso di eliche in balsa omogeneo, ad un balsa di peso specifico oscillante fra 95 +100 gr/dm³.

Al di fuori di tale ristretta forbice, il valore di campanatura è difficilmente assegnabile potendo oscillare tra 6 e 20 mm³ decadimento dei vari rendimenti citati fino al 40 %.

Con quanto sopra il diagramma e la tabella sperimentali, coi valori citati di 14 mm per campanatura per legno di balsa con 95 g/ dm³ di peso specifico sono questi:

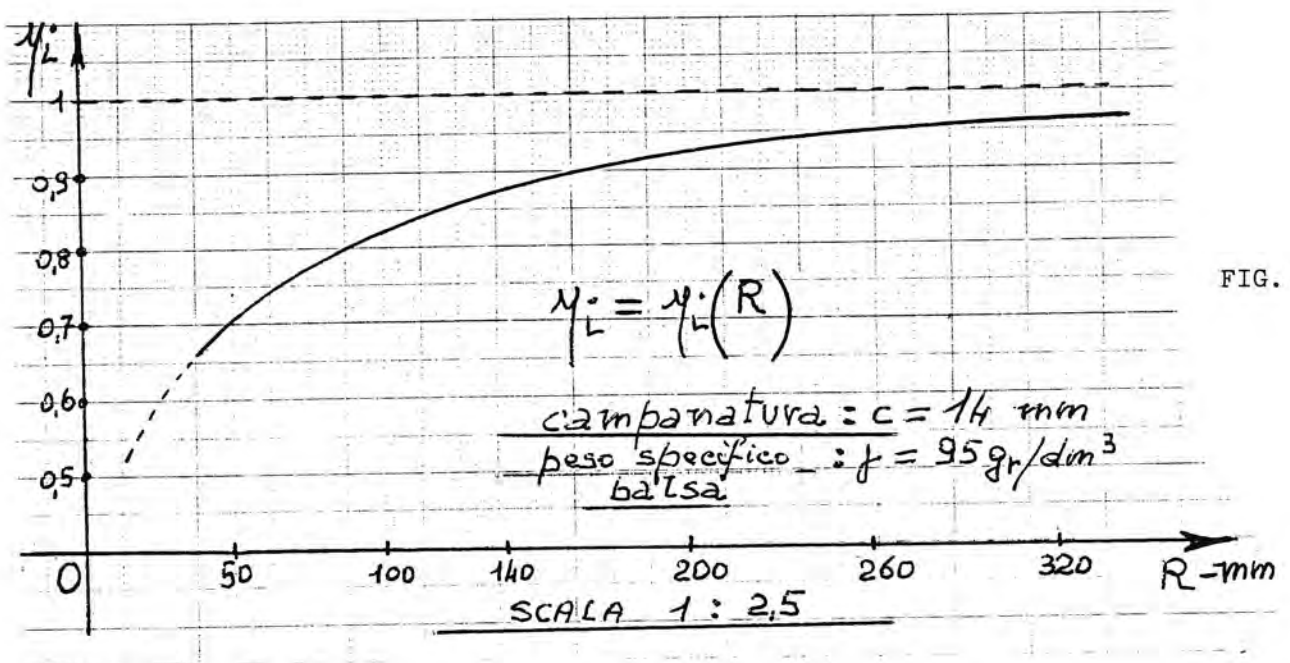


FIG. 6

Oltre un diametro di circa 650 mm non si ha più alcun incremento di η_i .
Come è facile notare, il rendimento η_i cresce, anche se non linearmente, al crescere del diametro dell'elica.

Se si modificano i valori segnalati di campanatura nel senso di un aumento della stessa, i valori riportati tendono bruscamente a decadere, così come per un ben diverso valore del peso specifico del balsa dell'elica; ciò perchè non si realizzano più, durante il volo, quegli equilibri elastico-aerodinamici tra materiale e forze nonchè coppie legate al dinamismo dell'elica.

A riguardo è mia viva speranza, in futuro, poter esibire in un simposio le sofisticate riprese cinematografiche eseguite ad oltre 50.000 fot/sec presso i laboratori di ~~Am~~burgo.

Presenta molto interesse la tabella del rendimento alare (in funzione della percentuale di R), relativo ai dati citati/e cioè: corda del profilo, elica 50 mm, relativa distanza dall'asse di rotazione di circa il 70 % del raggio, con curvatura di 3,2 mm al 40 % della corda (fig 7)

R:mm	50	100	140	200	260	320
η_e	0,70	0,819	0,869	0,918	0,947	0,960

FIG 7

η_e	0,61	0,63	0,741	0,816	0,824	0,787	0,728
% R	40	50	60	70	80	90	100

$$\eta_e = \eta_e(R)$$

Tale tabella mette chiaramente in evidenza l'andamento del rendimento alare in funzione della distanza della forma ottimale della sezione di pala dall'asse di rotazione.

Dalla tabella si nota come nelle zone periferiche dell'elica i rendimenti alari siano piuttosto bassi e quindi siano i diretti responsabili del basso rendimento complessivo dell'elica essendo per contro abbastanza elevati i valori del rendimento indotto η_i .

La cosa non deve sorprendere stante le complesse situazioni di vortici sia in zona di mozzo che in zona di periferia d'elica.

Si sarà notato che , in quanto sopra espresso, non si è fatto riferimento alla forma della pala vista in pianta e neppure a quella di lato; sperimentalmente tali questioni geometriche hanno poco effetto sui vari valori .

Volendo proprio ottimizzare i dati, la miglior vista laterale dell'elica è quella simmetrica rispetto al piano di rotazione

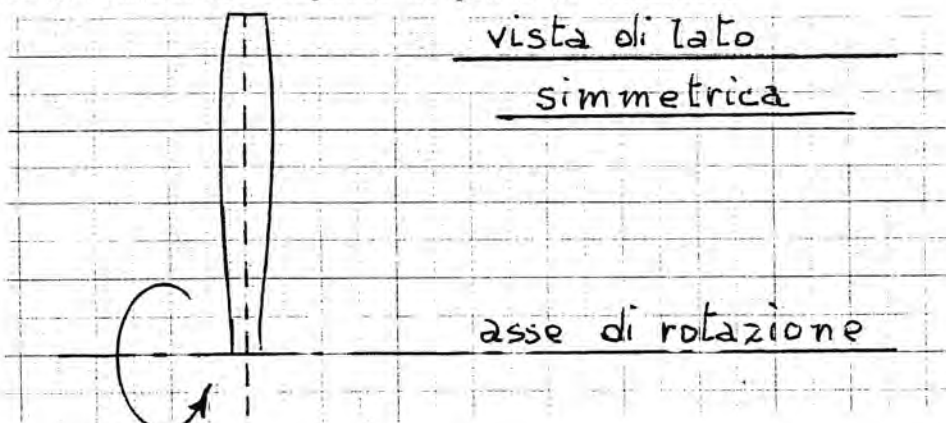


FIG 8

Trattasi di guadagni dell'ordine di 0,3 % rispetto ad altre forme di vista laterale.

Circa la vista in pianta, da cui dipende in buona parte la distribuzione della poeranza (o se si vuole la trazione) lungo le pale dell'elica, poco si può fare .

Qualunque sia la forma di tale vista, purchè non realizzata i modo spigoloso, si possono avere distribuzioni di portanza alquanto diverse nelle varie regioni della pala, ciò che comporta magari un miglior rendimento a scapito però di un peggioramento resistenza indotta _i . e

Anche qui i dati sperimentali hanno dato valore inequivocabile: la miglior forma di vista in pianta è quella classica, tipica dei vari modelli che solcano i campi di volo e cioè quella pseudoellittica.

a chiusura di queste note,ringrazio la FIAM per l'ospitalità riservatami in questo Convegno nonchè il lettore per l'attenzione prestatami e prego scusare la stringatezza nonchè le varie lacune, le imprecisioni e ristrettezze nelle quali mi sono permesso di concentrare una materia si affascinante , ma del pari assai ostica.

GInfranco Pelliccia