

BIBLIOTECA DELL'AEROMODELLISTA

FASCICOLO IV

GIORGIO BACHELLI

ELEMENTI
DI
AERODINAMICA



ROMA

REALE UNIONE NAZIONALE AERONAUTICA
PIAZZA DEL POPOLO, 18

REALE UNIONE NAZIONALE AERONAUTICA

ROMA - PIAZZA DEL POPOLO 18

Biblioteca dell' Aeromodellista

Sono stati pubblicati i fascicoli :

I. - GIORGIO BACHELLI

NOZIONI TEORICHE AD USO DEL CORSO INIZIALE

II. - P. C. BERGONZI

NOZIONI ELEMENTARI DI PROGETTAZIONE DEI VELIVOLI

III. - GIORGIO BACHELLI

NOZIONI TEORICHE AD USO DEL CORSO DI PERFEZIONAMENTO

Ogni volume Lire 5

BIBLIOTECA DELL' AEROMODELLISTA

FASCICOLO IV

GIORGIO BACHELLI

ELEMENTI

DI

AERODINAMICA



ROMA

REALE UNIONE NAZIONALE AERONAUTICA

PIAZZA DEL POPOLO, 18

PROPRIETÀ LETTERARIA E ARTISTICA
DELLA REALE UNIONE NAZIONALE AERONAUTICA

STABILIMENTO LUIGI SALOMONE
ROMA 1940-XVIII

I.

Azione della corrente d'aria sui corpi.

Una corrente d'aria tende a trascinare, nel proprio moto, i corpi che in essa sono immersi: sui corpi immersi in una corrente d'aria agisce dunque una spinta, o, con termine

più esatto, una *forza*, che tende a spostarli dalla posizione primitiva. La forza agente sul corpo è individuata dalla *direzio*ne e dall'*intensità*: la prima è rappresentata dalla retta lungo la quale la forza si esplica, la seconda è espressa secondo unità di misura di peso, generalmente grammi o chilogrammi, intendendo che una forza di intensità x Kg. è capace di sollevare un peso uguale alla propria intensità. Nella figura 1 è rappresentato un corpo pesante 10 Kg.: il peso (Q) è una

forza che agisce verticalmente verso il basso, la forza (F) di intensità 10 Kg. agisce verticalmente



Fig. 1.

verso l'alto. Il peso (Q) e la forza (F) sono forze uguali e contrarie che si fanno equilibrio.

Forza agente sul corpo.

La forza agente su un corpo (A) immerso nella corrente d'aria, *forza aerodinamica* (F), può avere direzione uguale o diversa da quella della corrente d'aria. Generalmente le due direzioni sono diverse, come nella figura 2. E' bene ricordare, fin da principio, che il peso (Q) del corpo è sempre diretto verticalmente verso il basso e che la sua linea d'azione passa

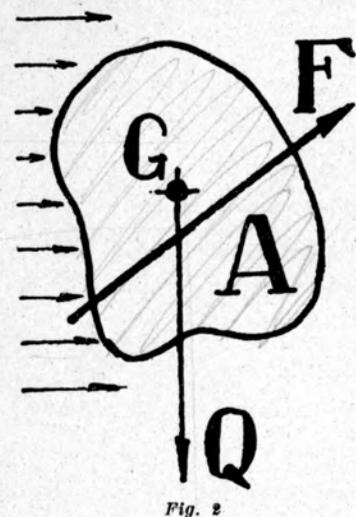


Fig. 2

per il *baricentro* (G) del corpo. Se il corpo ha una forma simmetrica rispetto alla direzione del vento, la forza aerodinamica (F) coincide con la direzione della corrente d'aria, come nella fig. 3. Se lo stesso corpo, di forma simmetrica, è



Fig. 3.

disposto con il suo asse di simmetria spostato rispetto alla direzione del vento, *incidenza* (i), la forza (F) assumerà, anche in questo caso, una certa inclinazione rispetto al vento, come nella fig. 4. La deviazione della forza (F) dalla direzione del moto del flusso è dovuta alla differenza di velocità fra le particelle che passano dalla parte del dorso e le particelle che passano dalla parte del ventre.

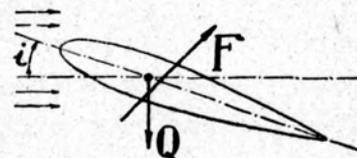


Fig. 4.

Il fenomeno si spiega con l'*effetto Magnus*, per mezzo del *cilindro di Flettner*. Se un cilindro circolare retto è immerso verticalmente in una corrente d'acqua, il moto di questa produce una spinta (F) parallela alla direzione della corrente, come nella fig. 5 nella quale il cerchio rappresenta il cilindro visto dal disopra.

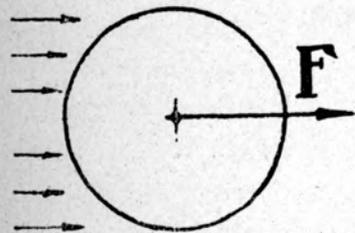


Fig. 5.

Facciamo, ora, ruotare il cilindro intorno al suo asse:

nella fig. 6 il senso della rotazione è rappresentato dalla freccia interna del cerchio. Le particelle d'acqua a contatto con la superficie del cilindro sono trascinate per attrito; ne segue che nella parte su-

periore della figura le due direzioni, della corrente e del moto dovuto alla rotazione del cilindro, coincidono ed hanno lo stesso senso, da sinistra a destra,

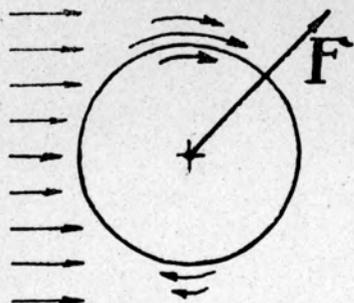


Fig. 6.

mentre nella parte inferiore hanno senso contrario. Nella parte superiore quindi la velocità dell'acqua è uguale alla somma della velocità della corrente e di quella dovuta al trascinamento

causato dalla rotazione; nella parte inferiore invece la velocità dell'acqua è uguale alla differenza fra le due velocità stesse. Concludendo abbiamo che *nella parte superiore la velocità dell'acqua è maggiore che nella parte inferiore.*

Vediamo ora, prima di proseguire, come varia la pressione di un fluido secondo la velocità. La fig. 7 rappresenta la sezione di un *tubo di Venturi*, formato da due parti tronco coniche, unite alle basi minori, in modo da formare una strozzatura. Nella strozzatura si ha un foro che comunica con un *tubo*

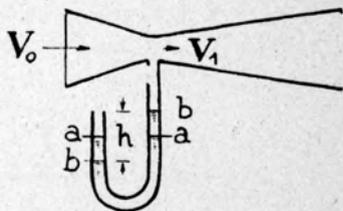


Fig. 7.

manometrico, cioè un tubo di vetro piegato ad U, aperto a tutte due le estremità. Se mettiamo dell'acqua nel tubo manometrico, i livelli nelle due branche saranno ad uguale altezza, al livello (a), poichè in tutte e due le branche si esercita soltanto la pressione atmosferica. Se si soffia dell'aria come è indicato dalle frecce, evidentemente la velocità (V_0) all'imboccatura dovrà assumere, nel passaggio della strozzatura, una velocità maggiore (V_1), essendo la sezione di passaggio minore. L'acqua del tubo manometrico si sposta ai livelli (b), innalzandosi, cioè, nella branca che si innesta nella strozzatura del tubo di Venturi, con un dislivello (h) fra una branca e l'altra. Se mettiamo un altro tubo manometrico all'imboccatura del tubo di Venturi, si otterrà lo stesso fenomeno, però il dislivello (h') fra le due branche sarà minore del dislivello (h) che si ottiene nel primo tubo manometrico applicato alla strozzatura.

Da questo si deduce che *la velocità dell'aria produce un'aspirazione, e che questa aspirazione è proporzionale alla velocità stessa.*

Si può esprimere questo concetto matematicamente, dicendo che *il prodotto della velocità (V) per la pressione (p) è uguale a una costante (k).*

$$1) \quad V \times p = k$$

Da questa formula si ricava che se aumenta la velocità (V), per ottenere lo stesso valore (k)

il valore della pressione (p) deve diminuire. Tornando al caso del cilindro di Flettner della fig. 6, avremo una pressione minore, sul lato superiore, essendo quivi la velocità dell'acqua maggiore, ed una pressione maggiore sul lato inferiore, essendo quivi la velocità dell'acqua minore: la parte superiore è soggetta ad una depressione, mentre quella inferiore è sottoposta ad una pressione.

Il cilindro quindi, oltre ad essere spinto da sinistra verso destra, è anche spinto dal basso verso l'alto, cioè dalla parte sottoposta a pressione verso quella sottoposta a depressione.

Mentre nel primo caso (fig. 5) tanto la forza (F), agente sul cilindro, che lo spostamento, subito da questo, sono paralleli alla direzione della corrente, nel secondo caso invece, poichè lo spostamento subito dal cilindro è inclinato lateralmente rispetto alla corrente, anche la forza (F)

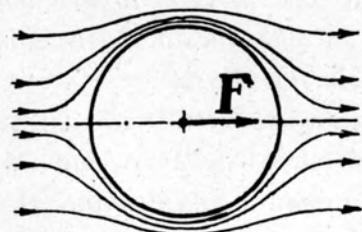


Fig. 8.

sarà inclinata rispetto alla direzione della corrente, come nella fig. 6.

Osserviamo ora il moto delle particelle del fluido: dall'esperienza si rileva

che esso è diverso se il cilindro è immobile (fig. 8) oppure se il cilindro ruota (fig. 9). Nel primo caso

la direzione della corrente è immutata, sia a monte che a valle: nel secondo invece sarà spostata, a valle, di un angolo (i) nel senso di rotazione del cilindro, poichè le particelle superiori hanno assunto velocità maggiori di quelle inferiori.

Il moto delle particelle d'acqua corrisponde, nel caso del cilindro ruotante, alla composizione di una traslazione semplice (corrente) e di una rotazione (rotazione dovuta al trasciamento per attrito).

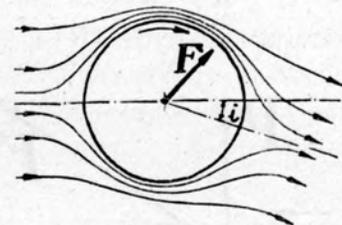


Fig. 9.

Il fenomeno si può capire intuitivamente osservando che la deviazione subita dalla corrente produce, per reazione, una spinta sul cilindro in senso contrario.

Portanza e resistenza - Efficienza.

A noi non interessa, praticamente, conoscere l'intensità e la direzione della forza aerodinamica (F) agente sul corpo per effetto della corrente d'aria, quanto conoscere le intensità di due componenti della forza (F), secondo direzioni ben definite, una parallela e l'altra normale alla corrente.

Sul cilindro della fig. 6 agisce la forza aerodinamica (F), inclinata verso l'alto, da sinistra a destra. Rappresentiamo nella fig. 10 con il punto (O) il centro del cilindro, e con (OF) la forza (F): le componenti della forza (F) nella direzione parallela ed in quella normale a quella della corrente, rappresentata dalla freccia orizzontale, sono la resistenza (R) e la portanza (P).

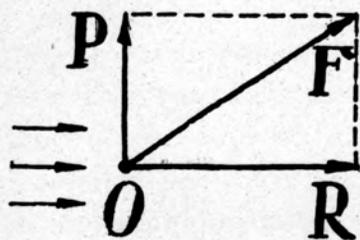


Fig. 10.

L'effetto della contemporanea azione della resistenza e della portanza è equivalente a quello della forza aerodinamica (F), che si chiama *risultante* delle due *componenti* (R) e (P). Nei laboratori di aerodinamica si misurano appunto le intensità delle due forze (P) ed (R).

Il rapporto fra l'intensità della (P) e quella della (R), *efficienza* (E), è, caso per caso, un valore ben definito.

$$2) \quad E = \frac{P}{R}$$

Questo rapporto ha un valore grandissimo, poichè indica quale forma, a parità di superficie opposta alla corrente, produce una portanza mag-

giore in confronto con la resistenza. *Quanto maggiore è l'efficienza, tanto maggiore è la portanza a parità di resistenza, e viceversa a parità di portanza è minore la resistenza.*

Corpi di minima resistenza.

Tra le infinite forme, geometriche o no, dei corpi, alcune godono della caratteristica di avere una *resistenza minima*: sono queste le forme affusolate, con lo spessore massimo verso l'avanti, a circa 1/4 od 1/3 della lunghezza, arrotondate all'estremità investita dalla

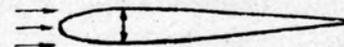


Fig. 11.

corrente, ed appuntite verso l'estremità di distacco. La fig. 11 ne dà un esempio. La causa della diminuzione della resistenza di una tal forma, rispetto ad un'altra che pure presenti alla corrente



Fig. 12.

la medesima sezione trasversale, è dovuta al fatto che non si formano, a valle del corpo, i *vortici*: la corrente, cioè, scorre uniformemente sulla superficie, riunendosi gradatamente e regolarmente. Nella fig. 12 è rappresentato l'andamento dei filetti fluidi intorno ad un corpo di

minima resistenza (in alto) ed intorno ad una piastra di superficie uguale a quella della sezione maggiore del primo (in basso).

Il movimento disordinato del fluido a valle della piastra è dovuto alle deviazioni intorno al bordo che il fluido dovrebbe compiere bruscamente per riempire il vuoto che viene a formarsi, ed è causa dell'aumento della resistenza.

Praticamente, poichè ogni fluido ha una propria viscosità ed un'aderenza con i corpi che in esso si trovano immersi, l'andamento del flusso non è identico a quello ideale nemmeno per le forme di minima resistenza, ma si forma a valle una scia di vortici con sensi di rotazione alternati, che si trasportano insieme con la corrente dimi-



Fig. 13.

nuendo di intensità a mano a mano che si allontanano: è questa la *scia di Karman*. La fig. 13 ne dà una rappresentazione schematica. Questo spiega il fatto naturale ed intuitivo che ogni corpo oppone una certa resistenza, per quanto minima, alla corrente che lo investe.

Per l'osservazione dei fenomeni descritti è molto utile la *vasca a circolazione d'acqua*, con polvere di alluminio (porporina) in sospensione.

Le considerazioni svolte per l'acqua valgono per l'aria, sebbene intervengano, tra un fluido e

l'altro, variazioni di intensità delle forze, dovute alle differenze di densità, fluidità, viscosità ed aderenza con i corpi immersi.

Equivalenza degli effetti della corrente d'aria sul corpo immobile e del moto del corpo rispetto all'aria.

Finora è stato considerato il corpo immobile, immerso in una corrente, per dimostrare l'andamento della corrente e per determinare le forze che si sviluppano sul corpo. Questo sistema è usato nelle *gallerie del vento*, per avere la possibilità di determinare esattamente tali forze, ed è intuitivo che queste saranno uguali se, anzichè il fluido, è il corpo ad essere dotato di moto. Basta pensare al vento che si sente stando su un'automobile in corsa, per rendersi conto di questo fatto. Considereremo ugualmente le due componenti della forza aerodinamica (F), una in direzione normale e l'altra in direzione parallela a quella del moto, che chiameremo ugualmente *portanza* (P) e *resistenza* (R). E' proprio in questo caso, anzi, che è veramente appropriata quest'ultima denominazione, poichè per far muovere il corpo, nel fluido immobile, con la stessa velocità della corrente dianzi considerata, dovremo vincere una resistenza allo

avanzamento, e quindi impiegare una forza uguale alla resistenza (R).

In quanto agli spostamenti che le particelle del fluido devono subire al passaggio del corpo, equivalgono, rispetto a questo, a quelli già considerati: in altri termini, un osservatore posto sul corpo in moto vedrebbe le particelle del fluido muoversi di un moto identico a quello che noi vediamo nella corrente intorno al corpo immobile. Più esattamente, *se l'osservatore situato sul corpo in moto segna su un foglio, fisso anch'esso con il corpo, le posizioni successive delle particelle del fluido, le curve che otterrebbe sarebbero uguali a quelle descritte dalle stesse particelle nel caso della corrente intorno al corpo immobile.*

Poichè sono uguali tali percorsi, è ovvio che uguali devono essere le cause che li producono, e quindi anche gli effetti, od, in ultima analisi, la forza aerodinamica (F) che agisce sul corpo in moto: poichè questa forza, in ambedue i casi, è uguale come intensità, linea d'azione e direzione, uguali saranno anche le due componenti (P) ed (R), portanza e resistenza.

E' questo il principio della reciprocità di effetti.

Anche in questo caso potremo dunque fare le considerazioni già svolte nei riguardi della forma del corpo, dell'efficienza e delle forme di minima resistenza.

II.

L'ala - Forma in pianta - Superficie - Allungamento.

L'ala è la parte alla quale è affidata la funzione del sostentamento. Soltanto l'ala ha tale funzione, mentre le altre parti possono essere considerate, in certo modo, accessorie o di collegamento fra l'una e l'altra. L'ala dunque deve possedere tutte le doti necessarie ad assicurare il sostentamento, cioè la capacità di sostenere, per effetto delle forze che si sviluppano su di essa a causa del moto, il peso totale dell'apparecchio. Dovrà quindi avere una forma tale che la forza aerodinamica (F) che si sviluppa su di essa abbia la componente verticale (P) molto grande in rapporto a quella orizzontale (R): cioè la portanza sia grande in rapporto alla resistenza, in maniera che l'efficienza (E) risulti massima. Questa condizione è necessaria, perchè bisogna tenere presente che tutte le altre parti dell'apparecchio non contribuiscono alla portanza, ma aumentano soltanto, in misura notevole, la resistenza all'avanzamento, e quindi ne risulta diminuita l'efficienza (E) complessiva.

La forma in pianta non ha influenza sulle qualità dell'ala se non per quanto riguarda le estremità, come si vedrà più avanti, e per quanto riguarda la stabilità longitudinale e la stabilità di rotta.

La superficie (S) è calcolata esternamente alla fusoliera, cioè dall'attacco con questa fino alle estremità, ed in base alla proiezione dell'ala su un piano orizzontale, e quindi può differire dalla superficie reale: infatti se un'ala rettangolare ha le estremità sollevate rispetto alla mezzeria come

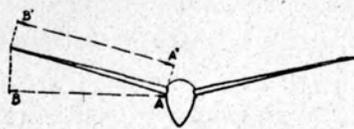


Fig. 14.

nella fig. 14, per superficie si intenderà il doppio del prodotto della distanza (AB), misurata orizzontalmente fra l'attacco (A) con la fusoliera ed il punto (B), per la profondità (l). Se si considerasse invece la lunghezza reale della semi-ala (A'B'), maggiore di quella (AB), si avrebbe una misura maggiore.

L'allungamento λ è dato da una delle formule seguenti:

$$3) \quad \lambda = \frac{b}{l}$$

$$4) \quad \lambda = \frac{b^2}{S}$$

La formula 3) si può usare tutte le volte che l'ala ha profondità costante (forma rettangolare), oppure è di forma tale che sia facile determinare la corda media (forma trapezoidale o triangolare),

in maniera che il rettangolo di uguale apertura dell'ala e di profondità uguale alla corda media ha superficie uguale a quella dell'ala.

Quando invece la forma dell'ala è complessa, e curvilinea, e quindi risulta difficile la determinazione della corda media, diviene utile usare la formula 4) per il calcolo dell'allungamento.

La determinazione dell'allungamento è necessaria soprattutto per il calcolo della resistenza (R), come si vedrà in seguito.

Profili alari - Incidenza - Portanza e resistenza.

I profili alari sono forme tali che il moto dell'aria intorno ad essi assume le stesse caratteristiche di quello che si è visto per il cilindro di Flettner: cioè una composizione di un moto rettilineo (corrente del fluido) e di un moto di rotazione (trascinamento per effetto della rotazione) chiamato *circuitazione*. Anche nei profili dunque si ha che la corrente uniforme subisce un aumento di velocità lungo il dorso, ed un rallentamento lungo il ventre. Anche qui si avrà una depressione sul dorso ed una pressione sul ventre, e per tale ragione una spinta verso l'alto, portanza (P); per causa della scia di Karman, anche il profilo è soggetto alla resistenza all'avanzamento (R).

Altra proprietà comune a tutti i profili è quella di non produrre vortici (esclusa la scia di Karman), almeno fino a che il profilo non assume posizioni molto lontane da quelle normali rispetto alla corrente d'aria, o, più esattamente, *incidenze* molto forti: per questa ragione, nei limiti normali d'incidenza, la resistenza dei profili è molto piccola.

I profili presentano caratteristiche diverse secondo i tipi: quelli concavo-convessi, particolarmente con una concavità del ventre molto accentuata, sono i più portanti, ma nello stesso tempo oppongono la massima resistenza all'avanzamento. Con la diminuzione della concavità del ventre, passando ai profili piano-convessi, e procedendo ai biconvessi, si ha un miglioramento nei riguardi della resistenza, in quanto viene diminuita, ma in pari tempo diminuisce anche la portanza. I profili biconvessi simmetrici sono quelli che godono della proprietà di opporre la minima resistenza all'avanzamento, ma hanno portanza piccolissima. In tutti i profili ha importanza lo spessore relativo massimo, nel senso che la diminuzione di questo è causa della diminuzione tanto della portanza che della resistenza.

Fra le diverse incidenze è caratteristica, per ogni profilo, quella di portanza nulla, quella cioè, per la quale non si ha portanza: per incidenze superiori si ha portanza *positiva*, cioè diretta

verso l'alto, mentre per incidenze inferiori si ha portanza *negativa*, cioè diretta verso il basso. Il profilo biconvesso simmetrico, ad esempio, ha portanza nulla per incidenza $i = 0^\circ$: con incidenze positive si avrà portanza positiva, mentre con incidenze negative si avrà portanza negativa.

Un'altra incidenza caratteristica è quella di portanza massima: procedendo dall'incidenza di portanza nulla verso questa incidenza, la portanza aumenta fino ad un valore massimo, dopo il quale un ulteriore aumento di incidenza provoca una diminuzione di portanza. Oltre alla diminuzione di portanza si ha un aumento sempre più notevole della resistenza. Questo fatto è dovuto alla formazione di vortici sul dorso, dovuti al distacco dei filetti fluidi dalla superficie del profilo (fig. 15). Il profilo si comporta in tal caso come una lastra piana, secondo quanto si è visto a proposito dei corpi di minima resistenza.

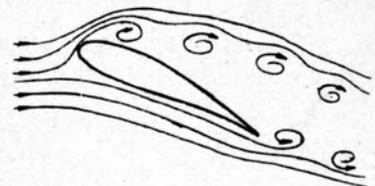


Fig. 15.

L'incidenza di portanza massima è, in media, di valore intorno a 14° .

L'efficienza del profilo è massima per un certo valore dell'incidenza, che sarà *l'incidenza di massima efficienza*. Anche questo dunque è un valo-

re caratteristico dell'incidenza da aggiungere a quelli già visti di resistenza minima e di portanza massima. A questo proposito si può aggiungere che per l'incidenza di portanza nulla si avrà efficienza nulla: infatti essendo $P = 0$ si avrà anche il rapporto $P/R = 0$.

L'insieme dei valori della portanza, della resistenza e dell'efficienza per ogni profilo, a seconda delle diverse incidenze, costituisce ciò che si chiama le *caratteristiche* del profilo.

Coefficienti unitari di portanza (C_p) e di resistenza (C_r) - Efficienza (E)

Nei laboratori d'aerodinamica si determinano sperimentalmente, a mezzo delle *gallerie del vento*, le caratteristiche dei profili. Il modello del profilo in esame, sospeso ad un sistema di bilance, subisce per effetto della corrente d'aria degli spostamenti dovuti a forze che vengono misurate per mezzo delle bilance stesse.

Una delle bilance misura la forza verticale, portanza, un'altra la forza orizzontale, resistenza.

Secondo che si variano le dimensioni del modello e la velocità della corrente, si avranno valori differenti per le intensità delle forze: è intuitivo che su un modello più grande sottoposto all'azione di una corrente più veloce, si svilupperanno forze

di intensità maggiore che non su un modello più piccolo in corrente più lenta.

Per semplificare l'uso dei risultati sperimentali, i risultati vengono ridotti ad un modello di superficie 1 in corrente di velocità 1. *Per la superficie l'unità di misura è il metro quadrato, per la velocità è il metro al secondo, e per la forza è il chilogrammo.*

I risultati così ridotti sono indipendenti dalle dimensioni del modello e dalla velocità: sono quindi *adimensionali*, ed i valori della portanza e della resistenza sono *coefficienti* proporzionali rispettivamente alla portanza ed alla resistenza: si chiamano *coefficiente di portanza*, o semplicemente ancora portanza, e *coefficiente di resistenza*, o semplicemente ancora resistenza, e si indicano rispettivamente con i simboli (C_p) e (C_r).

Come il rapporto fra la portanza (P) e la resistenza (R) rappresenta l'efficienza (E), anche il rapporto fra i coefficienti (C_p) e (C_r) dà ugualmente il valore dell'efficienza (E).

$$5) \quad \frac{C_p}{C_r} = \frac{P}{R} = E$$

Diagrammi.

Il valore dei coefficienti unitari di portanza (C_p) e di resistenza (C_r), relativi ad ogni valore dell'incidenza del profilo, sono rappresentati per mezzo di *diagrammi*.

I diagrammi, a seconda della loro costruzione, sono chiamati *ortogonali* oppure *polari*. In ognuna delle due specie esistono due linee di riferimento: una orizzontale, chiamata *asse delle ascisse*, l'altra verticale chiamata *asse delle ordinate*. Le distanze

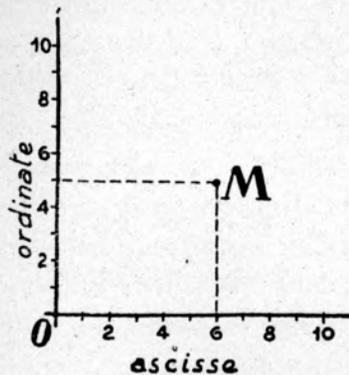


Fig. 16.

sull'asse delle ascisse e sull'asse delle ordinate si chiamano rispettivamente *ascissa* ed *ordinata*. Su ogni asse è segnata la scala dei valori (fig. 16), che ha inizio dall'incrocio degli assi, *origine*, nel quale si

trovano i valori zero delle scale, e che viene indicata con la lettera (O).

Le coppie di valori ascissa-ordinata di un punto si chiamano *coordinate* del punto.

Nella fig. 16 è rappresentato il punto (M): le coordinate del punto si ottengono tracciando, per il punto, due rette normali agli assi: queste rette intersecano gli assi nel punto di valore 6, sulla scala delle ascisse, e nel punto di valore 5, sulla scala delle ordinate. Le coordinate del punto (M) sono dunque: ascissa 6, ordinata 5.

Inversamente, date le coordinate di un punto, si tracciano due rette normali agli assi e passanti

per i punti delle scale corrispondenti ai valori delle coordinate: l'intersezione delle due rette determina sul diagramma il punto dato.

Diagrammi ortogonali.

In questi diagrammi (fig. 17) si ha lungo l'asse delle ascisse la scala delle incidenze (i); lungo l'asse delle ordinate si hanno le scale del coefficiente di portanza (C_p), di resistenza (C_r), dell'efficienza (E).

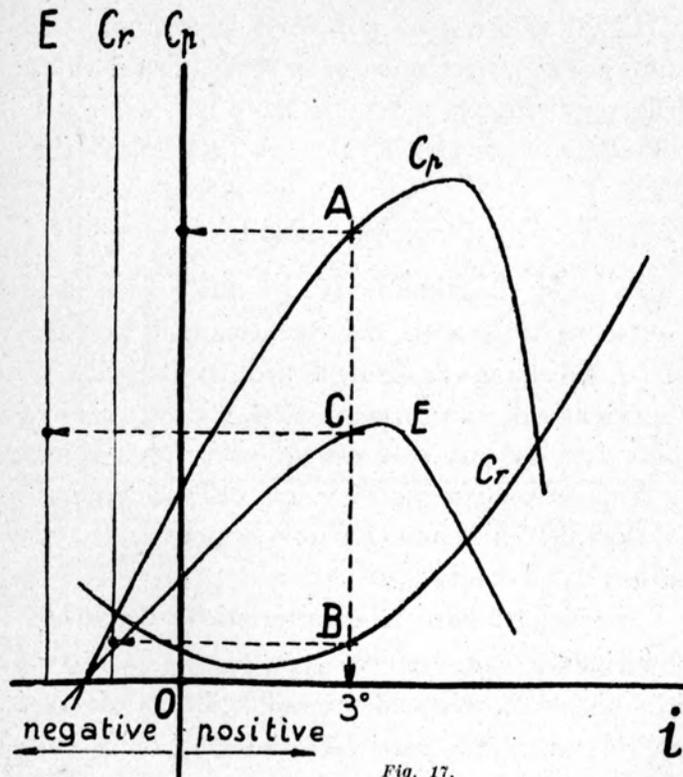


Fig. 17.

Nel diagramma sono tracciate tre curve: una della portanza (C_p), una della resistenza (C_r) ed una dell'efficienza (E).

Per ottenere le caratteristiche del profilo ad una determinata incidenza, ad esempio $i = +3^\circ$, si traccia una retta verticale per il punto corrispondente della scala delle incidenze: tale retta interseca le tre curve nei punti (A), (B) e (C). Da questi punti si tracciano tre rette orizzontali: la prima passante per (A), determina sulla scala (C_p) il valore della portanza, la seconda, passante per (B), determina sulla scala (C_r) il valore della resistenza, la terza, passante per (C), determina sulla scala (E) il valore dell'efficienza.

Diagrammi polari.

In questi diagrammi, fig. 18, lungo l'asse delle ascisse si ha la scala del coefficiente di resistenza (C_r), e lungo l'asse delle ordinate la scala del coefficiente di portanza (C_p). Le caratteristiche sono date da una sola curva, *polare* del profilo, sulla quale sono segnati i valori dell'incidenza (i). I valori dell'efficienza (E) sono segnati sulle rette partenti dall'origine.

Per determinare le caratteristiche del profilo all'incidenza, ad esempio $i = +4^\circ$, dal punto della curva corrispondente all'incidenza data si traccia una retta verticale, che determina sulla

scala delle resistenze il valore del coefficiente (C_r); si traccia una retta orizzontale che determina sulla scala delle portanze il valore del coefficiente (C_p). L'efficienza (E) è data dalla retta partente dal-

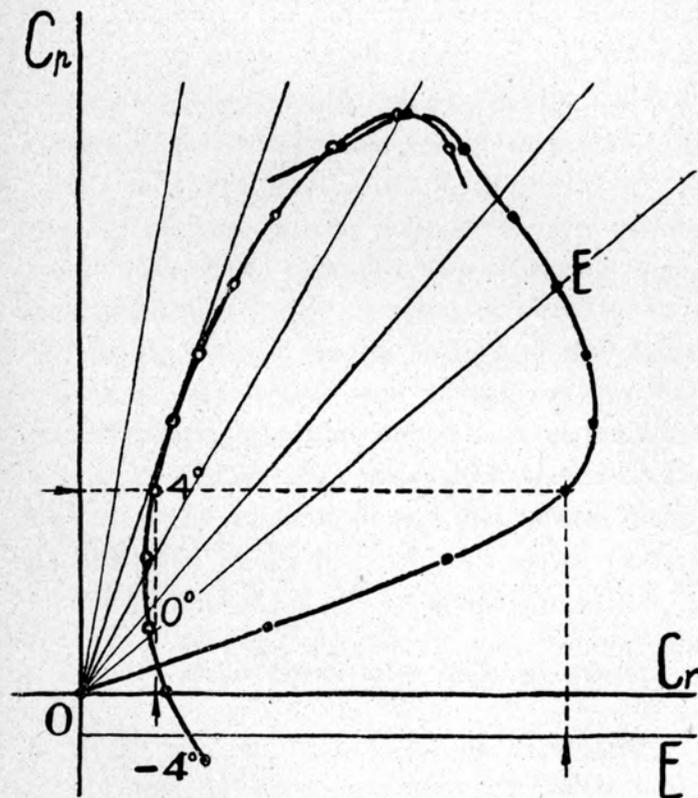


Fig. 18.

l'origine e passante per il punto della curva corrispondente all'incidenza $i = +4^\circ$. Il valore massimo di (E) è dato dalla retta, passante per l'ori-

gine (O), e tangente alla polare: il punto di tangenza dà anche il valore relativo dell'incidenza.

La portanza massima si ha nel punto nel quale la polare ha per tangente una retta orizzontale, e la resistenza minima nel punto nel quale la polare ha per tangente una retta verticale.

Oltre alla polare del diagramma è data un'altra curva: la curva (E), dell'efficienza. La scala relativa a questa curva si trova lungo l'asse delle ascisse.

Per la lettura del valore di (E) si prolunga la retta orizzontale passante per il valore dell'incidenza data fino ad incontrare la curva (E): per il punto di intersezione così ottenuto si traccia una retta verticale, che determina sulla relativa scala (E) il rispettivo valore.

Nella fig. 18 è rappresentata la costruzione prendendo per l'incidenza il valore $i = + 4^\circ$.

Riassumendo si ha che le coordinate, nei due diagrammi, sono date dalle seguenti coppie di valori:

Diagramma ortogonale:

sull'ascissa: incidenza i — sull'ordinata: coefficiente C_p
» » i — » » C_r
» » i — » efficienza E

Diagramma polare (incidenze segnate sulla polare):

sull'ascissa: coefficiente C_r - sull'ordinata: coefficiente C_p
» efficienza E - » » C_p

Il diagramma polare dà una visione più immediata delle caratteristiche del profilo, bastando l'osservazione di una sola curva, la polare, per averne un'idea approssimata: quanto più la polare è avvicinata all'asse delle ordinate, e quanto più è raddrizzata, tanto più il profilo è di buone caratteristiche.

Generalmente in tutti i diagrammi i valori delle scale (C_p) e (C_r) sono moltiplicati per 100, quindi le cifre segnate su di esse sono centuplicate rispetto a quelle reali, e nei calcoli bisognerà introdurre i valori letti sul diagramma divisi per 100.

Formule della portanza e della resistenza.

Si è visto, nel 1° capitolo, che la corrente di aria provoca sul corpo una forza che, decomposta in direzione normale ed in direzione parallela a quella della corrente, dà la portanza e la resistenza.

Inoltre si è visto che la forza, e quindi le due

componenti, dipendono dalla velocità dell'aria e dalla superficie del corpo.

Per mezzo delle caratteristiche del profilo di un diagramma si possono calcolare le intensità della portanza e della resistenza, od in altri termini, date la velocità e la superficie dell'ala, quale peso (P), in Kg., può essere sollevato e quale forza (R) occorre impiegare per vincere la resistenza affinché l'ala possa muoversi con la velocità voluta.

Le due formule sono le seguenti:

per la portanza (P):

$$6) \quad P = C_p \times d \times S \times V^2$$

Il valore di (P), affinché possa aversi la sustentazione, deve essere uguale al peso (Q);

per la resistenza (R):

$$7) \quad R = C_r \times d \times S \times V^2$$

La resistenza (R), affinché possa aversi la velocità (V) necessaria alla sustentazione della formula 6), deve essere vinta da una trazione di uguale valore.

In queste due formule il simbolo (d) indica la densità dell'aria, che al livello del mare, ed alla pressione di 760 m/m di mercurio, è di valore 1/8, ovvero 0,125. Si tratta quindi di un valore

fisso, o, come si dice in linguaggio matematico, di una *costante*, almeno per quanto riguarda le possibilità dei modelli volanti.

Da queste due formule si vede che la portanza e la resistenza sono proporzionali: ai coefficienti (C_p) e (C_r) relativi ad ognuna, alla densità dell'aria (d), alla superficie alare (S), ed al quadrato della velocità (V).

Le considerazioni che si possono fare su queste formule sono principalmente le seguenti:

1) *dalla formula 6) risulta che aumentando la velocità, per ottenere lo stesso valore di (P) si può diminuire la superficie portante (S), oppure adottare un valore minore del coefficiente (C_p).*

Questo equivale ad adottare un profilo ed una incidenza per la quale anche il valore del coefficiente (C_r) sarà minore.

Ne segue, dalla formula 7), che anche la resistenza (R) sarà diminuita.

Questi sono i motivi per i quali negli apparecchi veloci si ha piccola superficie alare e profili biconvessi, sottili o semi-spessi, a piccola incidenza e quindi piccola resistenza.

2) *Dalla formula 7) risulta che a piccola velocità, pur non oltrepassando un dato valore di (R), si può aumentare il valore del coefficiente (C_r) e la superficie portante (S).*

Si può quindi adottare un profilo ed un'inci-

denza con maggiore valore del coefficiente (C_D).

Ne segue, dalla formula 6), che la portanza (P) rimane elevata nonostante il piccolo valore di (V).

Per questa ragione negli apparecchi destinati al trasporto di grande carico, o nei quali la velocità non può essere elevata, si ha una grande superficie alare e profili concavo-convessi, anche di notevole spessore.

E' questo il caso dei modelli volanti in genere, e dei veleggiatori in particolare.

Dalla formula 6) si ricava il valore del *carico alare* ammissibile data una coppia dei valori (C_D) e (V). Si ottiene che il carico alare è il seguente:

$$8) \quad \frac{P}{S} = C_D \times d \times V^2$$

Anche da questa formula si ricava che per velocità basse occorre adottare un profilo ed una incidenza per la quale il valore (C_D) sia alto: per velocità elevate si può adottare un profilo ed una incidenza per il quale il valore (C_D) sia relativamente basso, anzi queste sono le condizioni che occorre soddisfare, insieme con la riduzione delle superficie portante, per ottenere velocità elevate.

Anche in questo caso le considerazioni concordano con quelle fatte precedentemente.

Dalla formula 8) risulta ancora che se il ca-

rico alare è elevato, è necessario accrescere la velocità, mentre a bassa velocità il carico alare deve essere basso.

Variazione del coefficiente di resistenza per variazioni dell'allungamento.

Per poter svolgere questo argomento occorre considerare un fenomeno che si manifesta alle estremità di un'ala.

La fig. 19 rappresenta un'ala di superficie (S), investita da una corrente di aria di velocità (V).

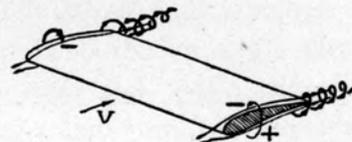


Fig. 19.

Sappiamo che dalla parte del dorso si ha una depressione, segnata con il segno (-), mentre dalla parte del ventre si ha una pressione, segnata con il segno (+). L'aria tenderà a trasportarsi dalla zona di pressione in quella di depressione, e presso le estremità compirà questo passaggio girando intorno alle estremità stesse. Le frecce che partono dai segni (+) e dirette verso i segni (-) indicano tali percorsi: poichè la corrente si muove secondo la direzione (V), il percorso delle particelle d'aria intorno alle estremità si trasforma in due vortici, con gli assi in direzione della corrente, rappresentati dalle linee a spirale.

Sono questi i *vortici di estremità*, che produ-

cono un aumento della resistenza dovuta alla scia di Karman.

Quanto più è esteso il bordo di estremità, naturalmente tanto maggior campo si avrà per la formazione dei vortici di estremità, e tanto più intensi saranno questi ed in conseguenza la resistenza da essi opposta all'avanzamento.

L'aumento dell'allungamento, che si ottiene aumentando l'apertura (b) lasciando invariata la superficie (S), è causa di una diminuzione della corda (l), e quindi della lunghezza dei bordi di estremità. Per tale ragione quindi i vortici di estremità saranno meno intensi, e ne risulta diminuita la resistenza che essi oppongono all'avanzamento.

La diminuzione del coefficiente (C_r), in funzione dell'allungamento, è data dalla formula seguente:

$$9) \quad \Delta C_r = \frac{2 C_p^2}{3,14} \times \left(\frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda} \right)$$

nella quale (λ) indica l'allungamento del diagramma (in generale 5 oppure 6) e λ' l'allungamento voluto.

Ne segue che il valore del coefficiente (C_r) relativo all'allungamento (λ'), avrà il valore seguente:

$$10) \quad C'_r = C_r + \frac{2 C_p^2}{3,14} \times \left(\frac{1}{\lambda'} - \frac{1}{\lambda} \right)$$

E' da notare che quando (λ') è superiore a (λ), si avrà ($1/\lambda'$) minore di ($1/\lambda$), e quindi il termine fra parentesi risulta negativo, e per questa ragione il segno (+) diviene (-). La formula si può anche scrivere nella forma:

$$11) \quad C'_r = C_r - \frac{2 C_p^2}{3,14} \times \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right)$$

che è equivalente a quella precedente.

Tanto nella formula 10) che nella 11) il valore (C_r) è quello preso dal diagramma di allungamento (λ).

La fig. 20 rappresenta una polare di allungamento (λ) (linea piena).

Eseguendo il calcolo della formula 9) per diversi punti della polare si hanno i seguenti risultati:

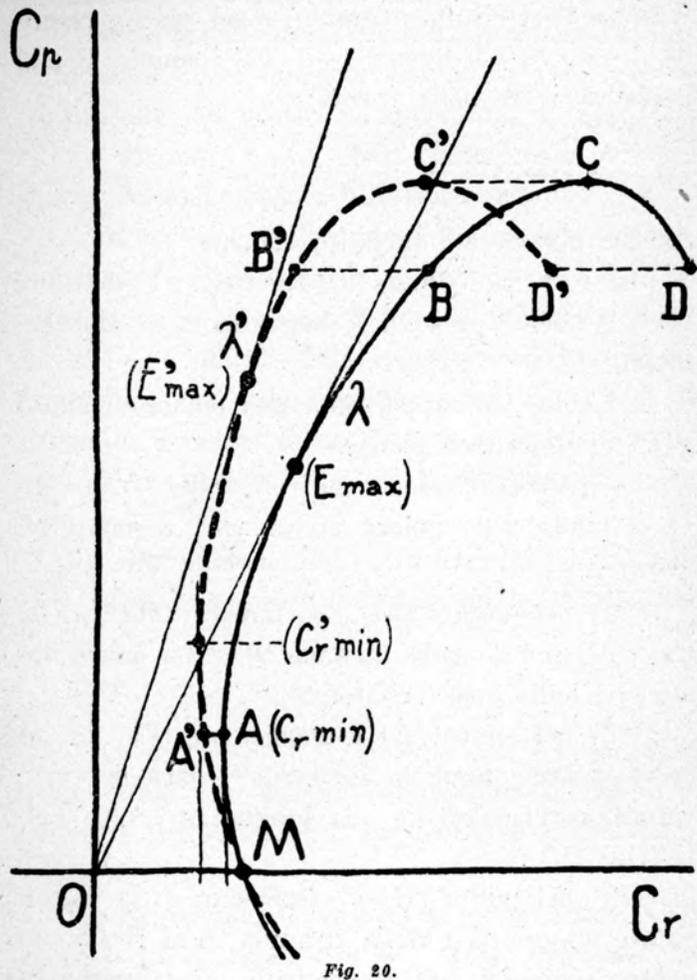
1) nel punto (M), portanza nulla, si ha $C_p = 0$, quindi dalla formula 9) si ha una diminuzione nulla della resistenza;

2) nel punto (A) il coefficiente (C_p) ha un certo valore, quindi la formula 9) darà un certo valore, corrispondente alla lunghezza (AA') nella scala (C_r);

3) nel punto (B) il coefficiente (C_p) ha un valore maggiore, e dalla formula 9) si ricava un valore maggiore, corrispondente alla lunghezza (BB');

4) nel punto (C), di portanza massima,

dalla formula 9) si ricava il massimo valore, corrispondente alla lunghezza (CC');



5) proseguendo lungo la polare, nel punto (D), per il quale si ha lo stesso valore di (C_p) che

in (B), la formula 9) dà un valore (DD') uguale a quello (BB').

Nella nostra trattazione non è il caso di considerare le variazioni della portanza con l'allungamento, e quindi considereremo che la portanza rimanga invariata per ogni valore dell'allungamento. Si può ottenere la polare relativa all'allungamento (λ') portando, dai punti (A), (B), (C), (D), i segmenti (AA'), (BB'), (CC'), (DD'), e riunendoli con una curva come quella tratteggiata nella fig. 20, che rappresenta la polare con l'allungamento (λ').

A causa di quanto si è visto in 1), in rapporto al punto (M) di portanza nulla, le due polari devono coincidere in questo punto.

Dall'osservazione delle due polari si ricavano variazioni notevoli per le incidenze di resistenza minima e di efficienza massima.

Infatti la resistenza minima e l'efficienza massima con l'allungamento (λ) si hanno nei punti indicati sulla polare a tratto pieno, mentre sulla polare di allungamento (λ') la resistenza minima e l'efficienza massima si trovano in corrispondenza di incidenze maggiori.

Anche in considerazione di questo si ricava che le caratteristiche del profilo migliorano con l'aumentare dell'allungamento.

Prima di passare all'altro argomento di que-

sto capitolo, è opportuno osservare come anche la forma dell'ala, alle estremità, può influire sulle doti dell'ala stessa.

Un'ala rettangolare sarà soggetta alla formazione di due vortici di una certa entità: se con la stessa superficie si fa un'ala trapezoidale, aumentando la corda al centro e diminuendo quella di estremità, risultano diminuite le zone di formazione dei vortici e quindi anche questi saranno meno notevoli, producendo una resistenza all'avanzamento minore, particolarmente se le estremità sono arrotondate.

La forma più conveniente d'ala è quella ellittica, alla quale equivale, praticamente, quella trapezoidale. Per semplicità di costruzione si può ricorrere all'ala rettangolare al centro, rastremata ed arrotondata alle estremità, che è ugualmente ottima.

Calcolo dei coefficienti di portanza e di resistenza d'ali composte con diversi profili e diverse incidenze, di forma non rettangolare.

La composizione di ali con diversi profili può portare un notevole miglioramento delle caratteristiche generali, oltre che dal lato aerodinamico anche dal lato costruttivo.

Un profilo spesso, o semi-spesso, all'attacco

dà modo di realizzare una robusta unione con la fusoliera, dove gli sforzi sono di maggiore entità; disponendo profili di spessore minore verso le estremità, si diminuisce lo sforzo sui longheroni; con l'adozione di profili biconvessi alle estremità, specialmente se l'incidenza di questi risulta nulla, si eliminano al massimo i vortici di estremità, e quindi si diminuisce notevolmente la resistenza all'avanzamento, ottenendo infine un aumento dell'efficienza (E).

In queste ali la differenza di incidenza fra un profilo e l'altro si chiama *calettamento* di un profilo rispetto all'altro. Ad esempio, se il profilo centrale ha incidenza $i = + 4^\circ$ e quello di estremità ha incidenza $i' = + 1^\circ$, il profilo di estremità ha calettamento $- 3^\circ$ rispetto a quello centrale, perchè quello di estremità ha una incidenza di 3° minore di quella del profilo centrale.



Fig. 21.

La fig. 21 rappresenta due profili con calettamento di $- 3^\circ$.

Tra un profilo e l'altro si avranno dei profili intermedi, in modo da avere un passaggio graduale dall'uno all'altro, sia come forma che come caratteristiche.

Per il disegno di questi profili si segue il pro-

cedimento grafico rappresentato nella fig. 22. Il profilo (I) ed il profilo (II) vengono disegnati

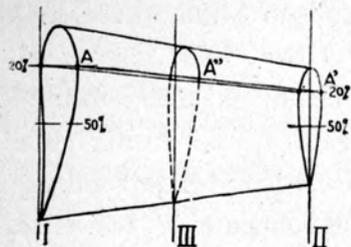


Fig. 22.

nella loro posizione e dimensione. Si uniscono i punti del dorso al 20 % della corda, punti (A) ed (A'), e si dimezza il segmento (AA'): il punto (A'') dà il punto

del dorso, al 20 %, del profilo (III) intermedio fra i profili (I) e (II).

Ripetendo questa costruzione per tutti i punti corrispondenti dei due profili si ottengono tutti i punti del profilo (III).

Dimezzando i segmenti (AA'') ed (A''A') si ottengono i punti di altri profili intermedi tra i profili (I) e (III), e tra i profili (III) e (II).

In linea generale si dividono i segmenti, compresi fra i punti corrispondenti dei due profili dati, con tanti punti quanti sono i profili intermedi che si devono disegnare.

Per il calcolo di un'ala composta di due profili, come in fig. 23 nella quale si ha al centro il profilo (I), corda (l_1), ed all'estremità il profilo (II), corda (l_2), si divide la distanza fra i due profili con la retta (m), corda (l_3), equidistante dai due profili. Nella semi-ala rappresentata si considera che tutta la parte compresa fra il pro-

filo (I) e la retta (m) abbia le caratteristiche del profilo (I), e che la parte compresa fra la retta (m) ed il profilo (II) abbia le caratteristiche del profilo (II).

La superficie di semi-ala relativa al profilo (I) sarà uguale al trapezio di altezza ($b/4$) e basi

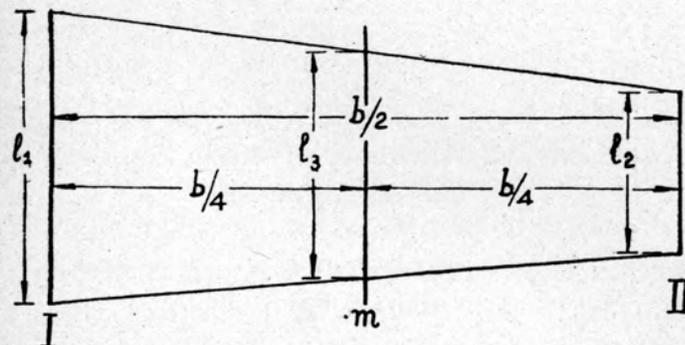


Fig. 23.

(l_1), ed (l_3); quella relativa al profilo (II) sarà uguale al trapezio di uguale altezza ($b/4$) e basi (l_3) ed (l_2).

Per l'ala le superfici relative ad ogni profilo saranno doppie di quelle ora considerate. Chiamiamo queste superfici parziali con (S_1) e con (S_2).

I rapporti fra queste superfici parziali e la superficie alare (S) saranno i seguenti:

per il profilo (I):

$$12) \quad \frac{S_1}{S} = x_1$$

per il profilo (II):

$$13) \quad \frac{S_2}{S} = x_2$$

Evidentemente, per riprova, dovrà risultare:

$$14) \quad x_1 + x_2 = 1$$

Chiamiamo i valori (x_1) ed (x_2), dati dalle formule 12) e 13), *coefficienti di riduzione* rispettivamente per il profilo (I) e per il profilo (II).

Le caratteristiche dei profili, ridotte all'allungamento alare adottato, si moltiplicano per i coefficienti di riduzione ad ognuno di essi spettante, di modo che le polari risultano ridotte, sia per la portanza che per la resistenza, proporzionalmente ai valori (x_1) ed (x_2).

Infine si sommano i valori ottenuti, tenendo conto dell'eventuale calettamento di un profilo rispetto all'altro.

Se i profili sono più di due, il procedimento è lo stesso, esteso ad ogni profilo adottato.

Occorre notare tuttavia che questo calcolo non ha un carattere di esattezza rigorosa, poichè non si può asserire che i profili intermedi abbiano effettivamente caratteristiche intermedie fra quelle dei profili adottati, ed inoltre uno dei profili influisce sulle caratteristiche dell'altro in maniera imprevedibile ed incalcolabile.

Purtuttavia un calcolo di questo genere può costituire una base per giudicare, molto grossolanamente, le caratteristiche dell'ala, salvo ad avere la conferma di una più o meno grande approssimazione, dall'esperienza.

III.

L'equilibrio dell'ala - Centro di pressione (C. P.) e suoi spostamenti per variazioni dell'incidenza - Instabilità dell'ala.

Il *centro di pressione*, indicato con il simbolo (C. P.), è il punto della corda del profilo nel quale si considera applicata la forza aerodinamica (F); le variazioni d'incidenza sono causa dello spostamento del centro di pressione (C. P.) lungo la corda: per la *legge di Avanzini* si ha che nei profili alari questi spostamenti avvengono nel senso di aumentare la variazione di incidenza, tanto più notevolmente quanto più è accentuata la curvatura del profilo.

I profili biconvessi simmetrici fanno eccezione: in questi il centro di pressione è praticamente stabile, in un punto compreso fra 1/4 ed 1/3 della corda dal bordo d'attacco.

Per la superficie piana, contrariamente a quanto si verifica nei profili, il centro di pressione

si sposta in senso contrario a quello indicato dalla legge Avanzini per i profili.

Si ha dunque che:

nei profili concavo-convessi il centro di pressione (C. P.) si sposta, in seguito ad una variazione d'incidenza, in modo da aumentare la variazione stessa dell'incidenza;

nei profili biconvessi simmetrici il centro di pressione (C. P.) non si sposta e quindi non contribuisce nè ad aumentare nè a diminuire le variazioni d'incidenza;

nella superficie piana il centro di pressione (C. P.) si sposta, in seguito ad una variazione di incidenza, in modo da correggere la variazione stessa dell'incidenza.

Caratteristiche dei diversi profili nei riguardi dell'equilibrio.

Mentre il centro di pressione (C. P.) della superficie piana si sposta, per una variazione di incidenza, in modo da riportarla nella posizione d'origine, nel profilo alare invece, particolarmente se concavo-convessi con accentuata curvatura, il centro di pressione (C. P.) si sposta in modo da allontanarlo ancora dalla posizione iniziale. Si ha dunque che la superficie piana è *stabile*, mentre

il profilo alare è *instabile*, ad eccezione di quello biconvesso simmetrico che è in condizione di *equilibrio indifferente*.

L'*instabilità* dell'ala è massima per i profili concavo-convessi con accentuata curvatura, e *diminuisce* passando ai profili con curvatura minore, piano convessi e biconvessi, fino ai profili biconvessi simmetrici.

Per ognuna delle diverse specie di profili la *instabilità* decresce con la diminuzione dello spessore.

La misura dell'*instabilità* del profilo è data dallo spostamento del centro di pressione (C. P.) dovuto ad una determinata variazione dell'incidenza.

Ad esempio, se un profilo (A) cambia d'incidenza dal valore $i = + 4^\circ$ al valore $i = + 6^\circ$ (variazione di incidenza di $+ 2^\circ$), il centro di pressione si sposta dalla posizione 35 % della corda a quella 30 %: *lo spostamento del centro di pressione equivale al 5 % della corda*.

Per un profilo (B) abbiamo, per una stessa variazione dell'incidenza dal valore $i = + 4^\circ$ al valore $i = + 6^\circ$, che il centro di pressione si sposta del 36 % al 33 % della corda: *lo spostamento del centro di pressione equivale al 3 % della corda*.

Il profilo (A) è più instabile del profilo (B), perchè il centro di pressione si è spostato mag-

giormente, rispetto alla corda, che non quello del secondo, a causa di una variazione uguale della incidenza.

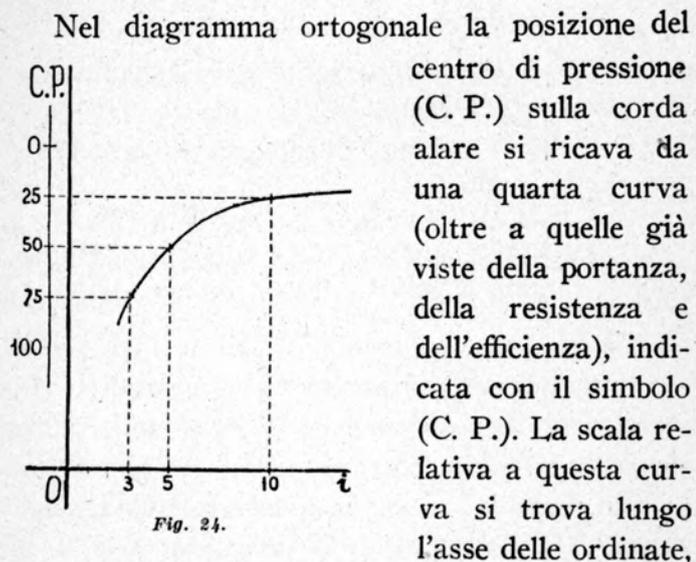


Fig. 24.

ed è graduata da 0 a 100, e rappresenta valori percentuali della corda.

Nella fig. 24 è rappresentata una curva (C.P.) e la costruzione per determinare la posizione sulla corda del centro di pressione, relativamente all'incidenza $i = + 5^\circ$. Il valore che si legge sulla scala equivale al 50 % della corda. Per l'incidenza $i = + 3^\circ$ si ha C. P. = 75 %, e per $i = + 10^\circ$ si ha C. P. = 25 %.

Questa rappresentazione è molto imprecisa, date le possibilità di disegno e di lettura dei dia-

grammi. Si ricorre quindi, con miglior risultato, ad un concetto diverso, che risponde molto più esattamente allo scopo al quale si vuole giungere.

Momento dell'ala e coefficiente del momento (C_m) rispetto al bordo d'attacco, o rispetto ad altro punto della corda.

Se si immagina che un'ala sia impernata su un asse passante per il bordo d'attacco, indicato con (m) nella fig. 25, si ha che la forza aerodinamica (F) fa ruotare tutta l'ala, intorno all'asse (m), nel senso indicato dalla freccia.

Noi possiamo determinare l'intensità della forza (F): infatti dall'esperienza alla galleria

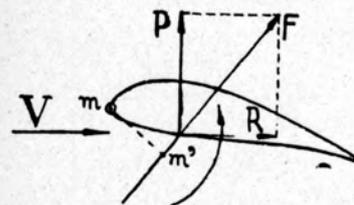


Fig. 25.

del vento si ricavano i valori delle due componenti (P) ed (R) della (F): poiché queste forze sono ortogonali fra loro, la risultante (F),

ipotenusa del triangolo rettangolo che ha per cateti i valori (P) ed (R), avrà il valore seguente:

$$15) \quad F = \sqrt{P^2 + R^2}$$

Supponiamo ora di conoscere il braccio della forza (F) rispetto all'asse (m), cioè la lunghezza del segmento di perpendicolare calata da (m) sul-

la linea d'azione della (F): tale segmento è rappresentato, nella fig. 26, dalla linea tratteggiata (m m').

Il prodotto della forza (F) per il braccio di essa rispetto al punto (m), segmento (m m'), dà il valore del momento (M), della forza (F), rispetto al punto (m).

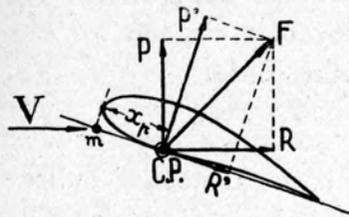


Fig. 26.

Alla galleria del vento si misura, per mezzo di una bilancia, il valore di tale momento, che ha il valore:

$$16) \quad M = F \times (m m')$$

Sui diagrammi polari è dato il valore del coefficiente unitario di momento, o *coefficiente di momento* (C_m), rispetto al punto (m) della fig. 26, piede della perpendicolare calata del bordo d'attacco sulla corda (nei profili biconvessi, nei quali per corda si assume la retta bordo d'attacco-bordo d'uscita, il punto (m) coincide con il bordo d'attacco del profilo).

Nella stessa figura sono rappresentate le componenti della (F) rispetto alla normale alla corda (P') e lungo la corda (R').

Il momento (M) della forza (F) rispetto al punto (m) sarà uguale alla somma dei due momenti parziali, rispetto allo stesso punto (m), delle

due componenti (P') ed (R'). Chiamiamo questi momenti parziali rispettivamente con (M') e con (M''). Poichè il braccio della componente (P')

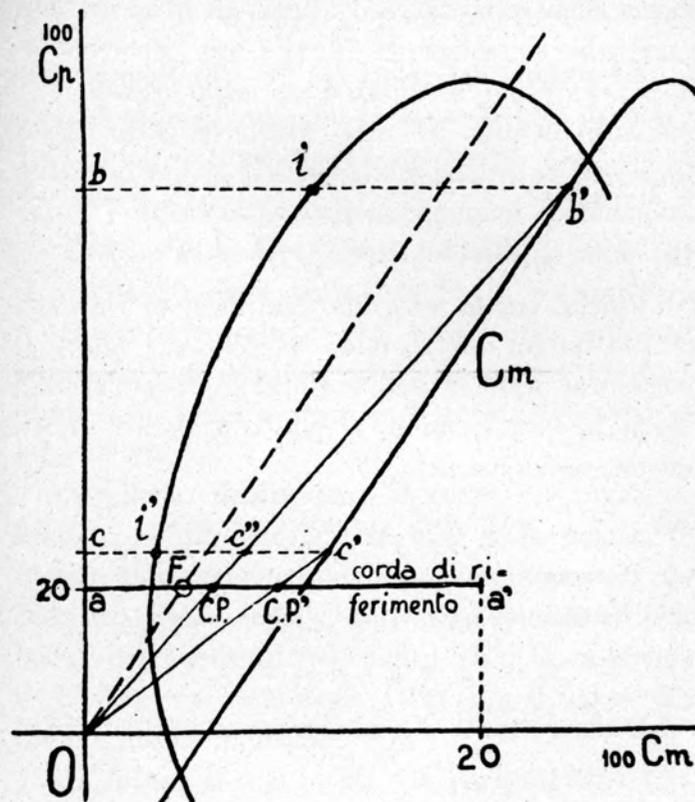


Fig. 27.

rispetto al punto (m) è uguale alla distanza (x_p) compresa fra (m) e (C. P.), il momento (M') avrà il valore:

$$17) \quad M' = P' \times x_p$$

Per la (R') il braccio è nullo, poichè la (R') passa per il punto (m), ed il momento (M'') sarà di valore nullo:

$$18) \quad M'' = R' \times 0 = 0$$

La somma dei valori (M') ed (M'') equivale al valore di (M), cosicchè risulta che il valore del momento (M), della forza (F) rispetto al punto (m), è di valore:

$$19) \quad M = M' + M'' = P' \times x_p$$

Poichè fra le linee d'azione della (P) e della (P') si ha un angolo molto piccolo, nei limiti di incidenza utili, si può considerare che (P') sia uguale a (P), e quindi si può considerare la seguente uguaglianza:

$$20) \quad M = P' \times x_p = P \times x_p$$

Passando dal valore del momento al rispettivo coefficiente (C_m), si ottiene:

$$21) \quad M = C_m \times d \times S \times V^2 \times l$$

Dalla formula 20) si ottiene il valore di (x_p):

$$22) \quad x_p = \frac{M}{P} = \frac{C_m \times d \times S \times V^2 \times l}{C_p \times d \times S \times V^2} = \frac{C_m}{C_p} \times l$$

che permette, data la corda (l) ed i coefficienti di portanza (C_p) e di momento (C_m), di calcolare la

distanza del centro di pressione (C. P.) dal bordo d'attacco (m).

Nella fig. 27 sono rappresentate una polare ed una curva di momento. Caratteristica della curva di momento, per i profili normalmente adoperati, è di essere quasi perfettamente rettilinea per il tratto delle incidenze utili. Si può determinare graficamente la posizione del centro di pressione (C. P.) sulla corda, con la seguente costruzione.

Si traccia una retta orizzontale passante per il valore 20 della scala (100 C_p) e si considera il segmento compreso fra l'asse delle ordinate, punto (a), ed il valore 20 della scala (100 C_m), punto (a'). Questo segmento si chiama *corda di riferimento*.

Vogliamo determinare il centro di pressione relativo all'incidenza (i) segnata sulla polare. Si traccia una retta orizzontale passante per (i) che interseca l'asse delle ordinate nel punto (b) e la curva dei momenti nel punto (b'). Il segmento (b b') misura, sulla scala (100 C_m), il valore del coefficiente di momento.

Si unisce il punto (b') con l'origine (0): l'intersezione (C. P.) con la corda di riferimento dà la posizione del centro di pressione.

Analoga costruzione è eseguita per un valore dell'incidenza (i').

Se vogliamo determinare il coefficiente di momento, anzichè rispetto al bordo d'attacco, ri-

spetto ad un qualsiasi punto della corda, ad esempio, il punto (C. P.) della corda di riferimento della fig. 27, uniamo il punto (C. P.) con l'origine (O): otteniamo che il coefficiente di momento relativo all'incidenza (i') è dato dal segmento ($c'' c'$), compreso fra la retta (O-C. P.) e la curva di momento.

Se tracciamo, dal punto (O), una retta parallela al tratto rettilineo della curva di momento, otteniamo sulla corda di riferimento il punto (F), che si chiama *fuoco del profilo*, il quale ha la caratteristica che *rispetto ad esso il momento ha valore costante*.

Dall'osservazione superficiale della curva di momento si può avere un concetto esatto dell'instabilità del profilo:

quanto più la curva di momento taglia l'asse delle ascisse in un punto prossimo all'origine e quanto più la curva di momento è raddrizzata, tanto meno il profilo è instabile.

Nei profili biconvessi simmetrici la curva di momento passa per l'origine (O), e nei profili *auto-stabili* la curva di momento taglia l'asse delle ascisse in un punto situato a sinistra, anzichè a destra, dell'origine (O). Eseguendo, con una siffatta curva di momento, la determinazione del centro di pressione sulla curva di riferimento (costruzione della fig. 27), si ottiene uno spostamento di (C. P.) verso il bordo d'attacco per una diminuzione del-

l'incidenza, e viceversa verso il bordo d'uscita per un aumento dell'incidenza. Questo concorda con quanto si è detto sugli spostamenti del centro di pressione per variazioni dell'incidenza.

Condizioni dell'equilibrio - Retta baricentrica nel diagramma polare - Diversità di assetto.

Supponendo, come è stato supposto precedentemente, che l'ala sia imperniata su un asse passante per il bordo d'attacco, avremo che essa sarà in condizione d'equilibrio quando il momento (M) dovuto alla forza aerodinamica (F) sarà di valore uguale a quello (M_q) dovuto al peso (Q) dell'ala stessa.

Considerando la formula 20), e sapendo che ai fini della sustentazione dobbiamo avere la portanza (P) uguale al peso (Q), otteniamo facilmente che deve essere:

$$23) \quad M = M_q$$

e quindi

$$24) \quad P \times x_p = Q \times x_g$$

nella quale con x_g indicheremo la distanza del baricentro (G) dal bordo d'attacco (m).

Poichè si sa che (Q) deve essere uguale a (P), risulta che anche (x) essere uguale a (x_p): il ba-

ricentro (G) deve distare dal punto (m) di quanto dista, dallo stesso punto (m), il centro di pressione (C. P.).

Il baricentro può coincidere con il centro di pressione, oppure essere situato sulla verticale passante per questo.

Data la posizione del baricentro (G) sulla corda di riferimento, ad esempio, il punto (C. P.) della fig. 27, la retta passante per tale punto e per l'origine (O) si chiama *retta baricentrica*.

L'ala è in equilibrio con l'incidenza (i) corrispondente al momento (b b'): infatti il centro di pressione, con tale incidenza, coincide con il baricentro.

Dato dunque il baricentro (G) sulla corda di riferimento, potremo determinare l'incidenza di equilibrio, tracciando la retta baricentrica, fino ad intersecare la curva di momento. Dall'intersezione si traccia una retta orizzontale, parallela all'asse delle ascisse, e dall'intersezione di questa con la polare si determina l'incidenza (i), la portanza e la resistenza.

Anzichè determinare l'incidenza è più utile considerare la portanza e la resistenza: infatti la prima è esclusivamente una questione costruttiva, mentre le seconde quantità sono necessarie per determinare il carico alare, la superficie alare, la velocità e la potenza, che sono le condizioni necessarie al volo.

Il complesso incidenza, portanza e resistenza si chiama *assetto*, e d'ora in avanti diremo *assetto per la portanza*, anzichè *incidenza*, considerando la portanza come quantità necessaria, rispetto alla quale determineremo il momento per le condizioni di equilibrio, la resistenza per determinare la potenza necessaria, ed infine l'incidenza per ragioni costruttive affinchè l'ala mantenga, rispetto al moto, la posizione voluta.

La diversità di posizione del baricentro viene a cambiare l'assetto di equilibrio, ed in conseguenza cambiano la portanza e la resistenza, e quindi il carico alare, la superficie, la velocità e la potenza necessaria.

Calcolo del coefficiente di momento d'ali composte con diversi profili e diverse incidenze, o di forma non rettangolare.

Il coefficiente di momento di un'ala composta di diversi profili e con diverse incidenze si ottiene analogamente ai coefficienti di portanza e di resistenza dell'ala simile.

Se l'ala, anzichè essere rettangolare, è di forma trapezoidale, il calcolo sarà effettuato rispetto ad un asse qualsiasi, ad esempio, passante per il bordo d'attacco al centro, oppure passante per il bordo d'attacco in un punto intermedio. In questo

caso, poichè i diversi profili sono più o meno distanti dall'asse dei momenti, bisognerà tener conto per ognuno del momento non rispetto al relativo bordo d'attacco, ma rispetto al punto della corda corrispondente all'asse assunto come asse dei momenti.

IV.

Il modello completo e le sue caratteristiche - Aumento della resistenza dovuta alle parti oltre l'ala - Interferenza aerodinamica.

E' già stato accennato che tutte le parti oltre l'ala non contribuiscono alla portanza, ma sono causa esclusivamente di un aumento della resistenza all'avanzamento.

La determinazione di tale aumento tuttavia, pur essendo facile la misura del coefficiente di resistenza opposto da ognuna delle parti a sè stante, è complicata dal fenomeno dell'*interferenza aerodinamica*, quel fenomeno, cioè, per il quale un oggetto che isolato risente per effetto della corrente una determinata forza aerodinamica, qualora sia collocato presso ad un altro oggetto risente una forza aerodinamica diversa.

Questo fenomeno è dovuto alla deviazione ed alla perturbazione che la corrente subisce per la presenza del secondo oggetto.

Le diverse parti dell'apparecchio, sottoposte isolatamente alla corrente, danno i seguenti coefficienti medi resistenza:

$$\text{fusoliera} : 100 c_r = 14$$

$$\text{carrello} : 100 c_r = 80$$

$$\text{galleggianti} : 100 c_r = 8$$

E' da notare che il coefficiente medio $100 c_r = 14$ per la fusoliera varia da un massimo $100 c_r = 20$ per una fusoliera quadrata di sezione anteriore piana uguale alla sezione maestra, a un minimo $100 c_r = 8,5$ per una fusoliera di sezione circolare all'estremità anteriore, ed ellittica alla sezione maestra e posteriormente a questa.

Per gli impennaggi il coefficiente di resistenza è quello (C_r) del profilo, secondo l'incidenza e l'allungamento adottato.

Riduzioni dei coefficienti di resistenza in rapporto alla superficie alare - Polare del modello.

I coefficienti medi indicati si riferiscono alla superficie massima opposta alla corrente dalla fusoliera, dal carrello o dai galleggianti. Per poterli sommare al coefficiente di resistenza dell'ala bisognerà riferirli invece alla superficie alare. A tale scopo *si divide la superficie massima di ognuna delle parti per la superficie alare, e si moltiplica il rapporto ottenuto per il coefficiente indicato.*

Indicando con (s_1) la sezione maestra della fusoliera, con (s_2) la superficie opposta al vento del carrello (tiranti, gambe e ruote visti di fronte), con (s_3) la sezione maestra complessiva del galleggianti, con (s_4) la superficie degli impennaggi, si ottiene che rispetto alla superficie alare (S) i coefficienti medi di resistenza divengono di valore:

$$\text{fusoliera} : 100 C_r = \frac{s_1}{S} \times 14$$

$$\text{carrello} : 100 C_r' = \frac{s_2}{S} \times 80$$

$$\text{galleggianti} : 100 C_r'' = \frac{s_3}{S} \times 8$$

$$\text{impennaggi} : 100 C_r''' = \frac{s_4}{S} \times 100 C_r$$

Eseguite le operazioni si esegue la somma dei tre coefficienti ottenuti, ($100 C_r$) per la fusoliera ($100 C_r'$) per il carrello (oppure ($100 C_r''$) per i galleggianti), e ($100 C_r'''$) per gli impennaggi, ottenendo il valore dell'aumento del coefficiente di resistenza d'ala.

Nella fig. 28 è rappresentata una polare di ala, a linea tratteggiata; i segmenti (aa') sono di valore uguale a quello determinato per l'aumento di resistenza dovuto a tutte le parti, oltre l'ala, costituenti il modello.

La polare del modello, segnata a linea piena, è identica a quella dell'ala, spostata di un valore uguale all'aumento del coefficiente di resistenza dovuto a tutte le parti oltre l'ala.

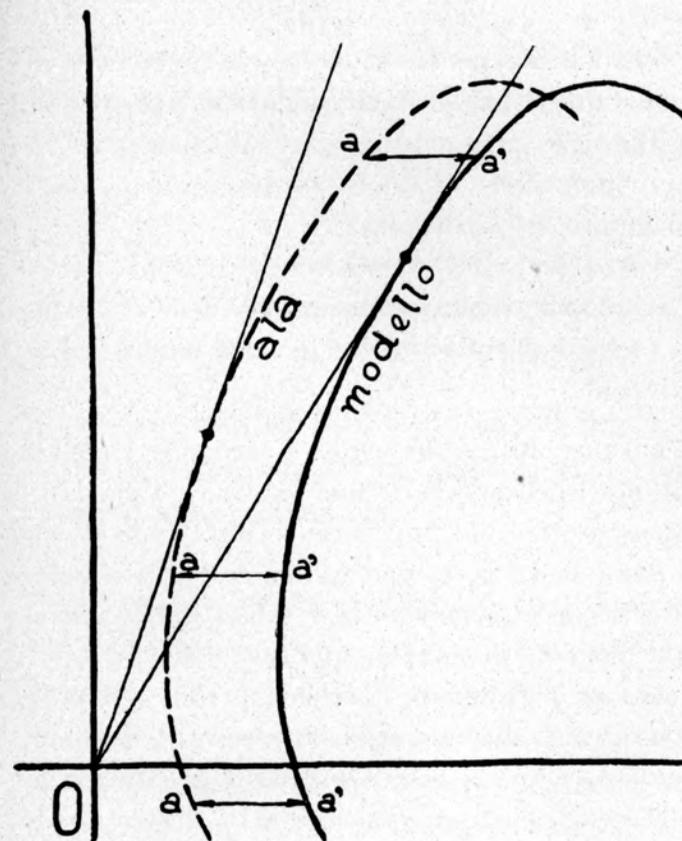


Fig. 28.

Si è già accennato alla interferenza aerodinamica, e ne risulta che non si può asserire rigorosamente che due corpi, sottoposti insieme alla cor-

rente, oppongono una resistenza uguale alla somma delle resistenze opposte da ognuno separatamente. Dunque la costruzione indicata può risultare, all'atto sperimentale, falsata: tuttavia può ugualmente costituire un termine di paragone utile.

Dall'osservazione delle due polari si ricava che le caratteristiche della seconda sono peggiori di quelle della prima: tuttavia l'efficienza massima, pur diminuendo di valore, si sposta ad un valore maggiore della portanza.

Cenno sulle migliori sistemazioni dei raccordi e degli attacchi fra le varie parti.

E' sempre bene evitare gli spigoli vivi e le rientranze ad angolo acuto: i raccordi fra le varie parti del modello hanno lo scopo di variare il passaggio fra una superficie e l'altra in modo che il flusso dell'aria intorno ad una di esse non sia disturbato eccessivamente dal flusso intorno all'altra. *Questo è importante soprattutto all'attacco dell'ala con la fusoliera*, dove le superfici a contatto sono generalmente maggiori, e dove il flusso intorno all'ala deve essere disturbato al minimo per non compromettere gravemente la sustentazione. In questo caso giova tenere presente che dall'esperienza risulta che:

1) *la posizione più vantaggiosa dell'ala rispetto alla fusoliera è quella per la quale viene*

attraversata dall'ala, in maniera che la sommità del dorso coincida con la sommità della fusoliera; inoltre è sempre bene che il dorso dell'ala sia quanto più possibile liscio;

2) *l'angolo formato dall'ala e dalla fusoliera deve essere, possibilmente, di 90°, per evitare una rientranza troppo acuta, dalla parte del dorso o dalla parte del ventre;*

3) *il raccordo deve essere molto ridotto al bordo d'attacco e lungo il ventre, mentre invece lungo il dorso ed al bordo d'uscita deve essere ampio.*

4) *i raccordi mal fatti producono un peggioramento notevole, anzichè un miglioramento, delle caratteristiche complessive.*

Da questo risulta, poichè la costruzione dei raccordi è molto difficile data la piccolezza, che *la posizione migliore dell'ala, nei modelli volanti, è quella sovrapposta direttamente alla fusoliera, o, al massimo, incassata fino al bordo d'attacco, con un raccordo del bordo d'uscita, e che all'attacco dell'ala con la fusoliera è opportuno adottare un profilo biconvesso simmetrico.*

V.

L'equilibrio del modello - Variazione del momento dovuto agli impennaggi orizzontali - Calettamento degli impennaggi - Coefficiente di momento (Cm) del modello completo.

Gli impennaggi orizzontali producono, nel complesso del modello, una variazione del momento dell'ala dovuta al momento degli impennaggi stessi.

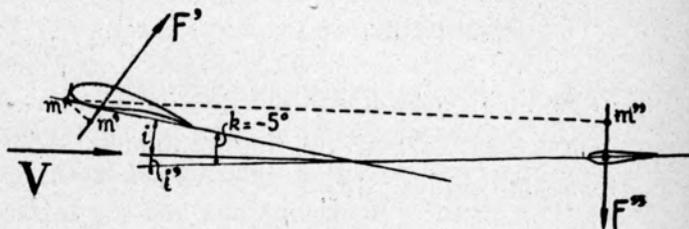


Fig. 29.

Nei riguardi della reciproca posizione degli impennaggi e dell'ala, precisiamo innanzi tutto che con il termine *calettamento* degli impennaggi rispetto all'ala si intende l'angolo formato dalle corde degli impennaggi e dell'ala. Nella fig. 29 sono rappresentati schematicamente un'ala ed un impennaggio, con calettamento (k) negativo (-5°).

Per poter valutare la variazione del momento rispetto al punto (m), bordo d'attacco dell'ala, con-

sideriamo le forze che entrano in giuoco nel complesso ala — impennaggio.

Per effetto della velocità V, si sviluppa una forza aerodinamica (F') sull'ala, ed una forza aerodinamica (F'') sull'impennaggio (fig. 29). Dall'osservazione della figura si ricava che l'incidenza dell'ala è uguale all'angolo (i), che l'incidenza dell'impennaggio è uguale all'angolo (i'), e che fra le due incidenze ed il calettamento sussistono le seguenti relazioni:

$$25) \quad k = i + i'$$

$$26) \quad i' = k - i$$

La forza (F') ha un momento (M_a), rispetto al bordo d'attacco (m) dell'ala, di valore

$$27) \quad M_a = F' \times (m m')$$

La forza (F'') ha un momento (M_e), rispetto al bordo d'attacco (m) dell'ala, di valore:

$$28) \quad M_e = F'' \times (m m'')$$

E' da notare, innanzi tutto, che i due momenti (M_a) ed (M_e) sono contrari, infatti mentre nella figura la forza (F') tende a far ruotare il modello intorno al punto (m) in senso contrario alle lancette dell'orologio, la forza (F'') tende a far ruotare il modello, intorno allo stesso punto (m), nel senso delle lancette dell'orologio.

Il senso del momento della F' , picchiante, è assunto come positivo, ed il senso del momento della F'' , cabrante, è da assumere come negativo.

Avremo che il momento totale (M) sarà uguale alla somma dei due momenti (M_a) ed (M_o):

$$29) \quad M = F' \times (m m') + F'' \times (m m'')$$

L'espressione del momento (M_a) è nota:

$$30) \quad M_a = C_m \times d \times S \times V^2 \times 1$$

Analogamente avremo, per l'impennaggio, un momento (M_o) rispetto al proprio bordo d'attacco:

$$31) \quad M_o = C_{m_o} \times d \times s \times V^2 \times l_o$$

nella quale espressione i termini C_{m_o} , s , l_o , sono rispettivamente il coefficiente di momento, la superficie e la corda dell'impennaggio.

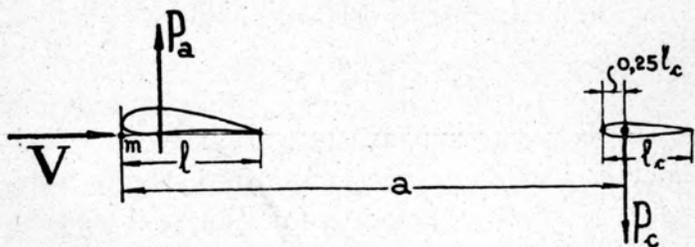


Fig. 30.

Osserviamo ora la fig. 30, schema di un modello. Sappiamo che per l'impennaggio possiamo

assumere come centro di pressione il 25 % della corda (l_o). Chiamando con il simbolo (a) la distanza del centro di pressione dell'impennaggio dal punto (m), otterremo che rispetto a questo punto il momento (M_o) della corda sarà uguale al momento dato dalla formula 31) moltiplicato per il rapporto a/l_o : si ottiene, eseguendo le operazioni e sommando con la formula 30), il valore del momento (M) complessivo:

$$32) \quad M = \left(C_{m_a} + 4 \times C_{m_o} \times \frac{s}{S} \times \frac{a}{l} \right) \times d \times S \times V^2 \times 1$$

che è una formula analoga a quella comune del momento in funzione del coefficiente di momento, e nella quale *il termine fra parentesi è il coefficiente di momento complessivo*.

Con questa formula il calcolo è riportato alla superficie (S) ed alla corda (l) alare, mentre la superficie (s) dell'impennaggio, e la distanza (a) del centro di pressione dell'impennaggio dal bordo d'attacco dell'ala entrano solamente per la variazione del coefficiente di momento (C_{m_o}).

Il coefficiente di momento complessivo (C_m) è uguale al coefficiente di momento dell'ala (C_{m_a}) rispetto al bordo d'attacco (m), più quattro volte il coefficiente di momento dell'impennaggio (C_{m_o}) rispetto al proprio bordo d'attacco moltiplicato per

i rapporti (s/S), fra le superfici, ed (a/l), fra la distanza (a) del centro di pressione dell'impennaggio dal bordo d'attacco dell'ala (m) e la corda alare (1).

Rette isocline - Curve del coefficiente di momento del modello completo - Superficie dell'impennaggio orizzontale.

Per tracciare le curve di momento del modello completo è utile un procedimento grafico basato sulla proprietà delle *rette isocline*: le curve di momento relative a diversi valori del calettamento (k) sono sensibilmente rette, e su ognuna di esse i punti relativi alle diverse incidenze sono allineati fra loro secondo rette inclinate del rapporto 1/a, dette *rette isocline*.

Nella fig. 31 è rappresentata una curva di momento di un'ala, modello parziale; sulla scala (C_m) è preso un segmento (OA) proporzionale ad (a), dal punto (A) si prende il segmento (AB), proporzionale, sulla scala (C_p), ad (1). La retta (OB) dà la direzione delle rette isocline.

Per ogni punto della curva di momento del modello parziale si tracciano le rette isocline (tratteggiate).

Si calcola, per un valore qualsiasi del calettamento, ad es. $k = 0^\circ$, il coefficiente di momento del

modello completo per un valore basso e per un valore alto dell'incidenza (i), ad es. per $i = -4^\circ$ e per $i = +4^\circ$, con la formula 32), tenendo conto dell'incidenza (i') del piano di coda data dalla formula 26) in rapporto al calettamento (k), ed all'in-

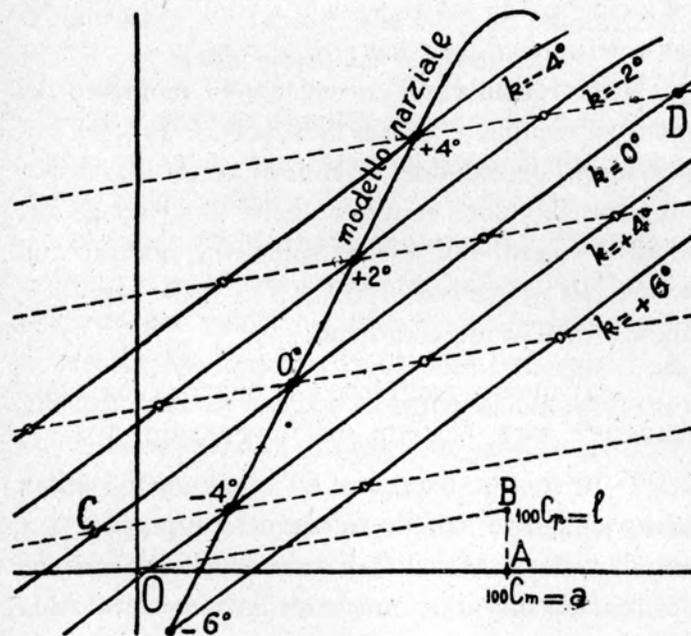


Fig. 31.

cidenza (i) dell'ala. Si ottengono due valori, rispettivamente (C) e (D), sulle due rette isocline passanti per $i = -4^\circ$ e per $i = +4^\circ$. Si uniscono questi due punti ottenendo la curva di momento del modello completo relativo al calettamento $k = 0^\circ$.

Le curve di momento relative ad altri valori del calettamento (k) sono parallele a quella ottenuta, e per facilitare la costruzione si può ammettere che ognuna passi per il punto, della curva di momento del modello parziale, corrispondente all'incidenza di valore uguale e contrario a quello del calettamento considerato.

Nella formula del coefficiente di momento del modello completo, entra la superficie (s) dell'impennaggio orizzontale. E' quindi necessario determinarne il valore minimo: nella costruzione dei modelli volanti può essere sufficiente adottare un valore di (s) pari ad $1/5$ od $1/6$ della superficie alare (S), tenendo conto che:

a) quanto maggiore è la distanza (a), tanto maggiore sarà l'effetto dell'impennaggio;

b) quanto maggiore è l'allungamento alare, tanto maggiore sarà il valore del rapporto a/l e quindi viene accresciuto il valore della variazione del coefficiente di momento dell'ala della formula 32); inoltre, con forte allungamento alare la corda (l) essendo diminuita, ne risulta una minore escursione, in valore assoluto, del centro di pressione dell'ala, ed in conseguenza l'impennaggio orizzontale dovrà compensare una minore variazione di momento.

In conclusione, si può adottare il valore detto per la superficie (s) dell'impennaggio orizzontale,

da $1/5$ ad $1/6$ della superficie alare (S); tenendo presenti le condizioni costruttive: lunghezza (l) ed allungamento dell'ala. Per alti valori di questi elementi si diminuirà la superficie (s).

Il centramento e l'assetto del modello - Ripartizione degli sforzi sui longheroni.

Per il modello completo valgono le stesse considerazioni svolte per l'ala nei riguardi del centramento e dell'assetto.

Notando che le curve di momento si inclinano, e vengono a passare a sinistra dell'origine (O), soprattutto per valori negativi del calettamento (k), si desume che in queste condizioni il modello è stabile per assetti corrispondenti a calettamenti tali che le relative curve di momento passino a sinistra dell'origine (O).

Anche per il modello completo considereremo la corda di riferimento (corda media alare), sulla quale segneremo il centro di pressione del modello completo, la retta baricentrica ed il relativo assetto di equilibrio, il fuoco del modello relativo alle curve di momento del modello completo, come è stato visto per l'ala.

E' da notare che *per posizioni del baricentro avanzate, rispetto al fuoco, il modello risulta stabile, mentre per posizioni arretrate il modello risulta ancora instabile.*

La curva di momento è molto utile per determinare la ripartizione degli sforzi ai quali sono assoggettati i longheroni.

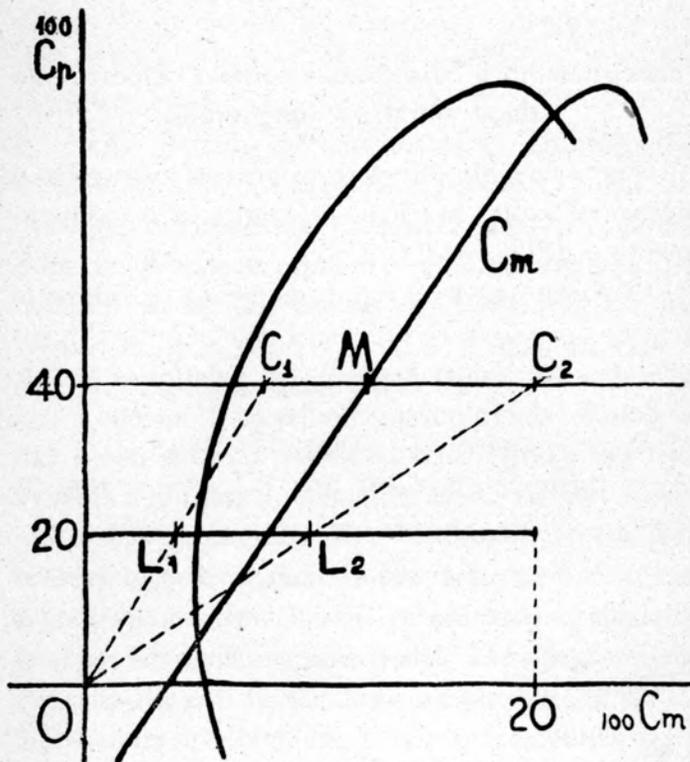


Fig. 32.

Supponiamo che i longheroni siano posti al 20 % ed al 50 % della corda (1). Segneremo sulla corda di riferimento, della fig. 32, i punti (L_1) ed (L_2) rispettivamente al 20 % ed al 50 % della

corda di riferimento stessa. Questi punti rappresentano la posizione dei due longheroni.

Tracciamo le due rette congiungenti l'origine (O) con i punti (L_1) ed (L_2).

Se l'assetto voluto è, ad esempio, quello corrispondente alla portanza $100 C_p = 40$, tracciamo la retta orizzontale passante per questo valore: i punti di intersezione con la curva di momento e con le rette (OL_1) ed (OL_2) sono rispettivamente segnati con (M), (C_1), (C_2).

Lo sforzo sopportato dal longherone anteriore è proporzionale al segmento (MC_2), e lo sforzo sopportato dal longherone posteriore è proporzionale al segmento (MC_1).

Se, ad esempio, il segmento (MC_2) è doppio del segmento (MC_1), il longherone anteriore sopporta uno sforzo doppio di quello sopportato dal longherone posteriore: dato che lo sforzo complessivo va ripartito proporzionalmente sui due longheroni, risulta che quello anteriore dovrà resistere ai $2/3$ dello sforzo, mentre su quello posteriore graverà $1/3$ dello sforzo complessivo.

Il costruttore provvederà quindi ad adottare dimensioni tali che risultino proporzionali ai valori così ottenuti.

La stabilità laterale e la stabilità di rotta - Il diedro trasversale.

Per ottenere la stabilità laterale si costruisce l'ala a *diedro*, in modo che le estremità risultino rialzate rispetto alla mezzeria. L'inclinazione più opportuna è quella compresa fra il 10 ed il 12 per cento.

Anche la posizione del centro di pressione rispetto al baricentro influisce sulla stabilità laterale: se il baricentro è situato al disotto del centro di pressione, si avrà maggiore stabilità che nel caso nel quale il baricentro sia coincidente con il centro di pressione. Qualora poi il baricentro risulti situato al disopra del centro di pressione, uno sbandamento laterale sarà causa addirittura del rovesciamento del modello.

E' sempre opportuno quindi, nei modelli, porre l'ala alta, sovrapposta alla fusoliera o attraversante questa alla sommità.

Gli impennaggi verticali - Ala a freccia.

Per ottenere la stabilità di rotta servono gli impennaggi verticali, la funzione dei quali è analoga a quella dell'impennaggio orizzontale. Per la superficie dell'impennaggio verticale si adotta un valore pari, generalmente, alla metà della superficie (s) dell'impennaggio orizzontale.

Anche la costruzione dell'ala a freccia contribuisce alla stabilità di rotta. Infatti la semi-ala spostata in avanti presenta al vento una lunghezza di bordo d'attacco maggiore di quella presentata, in proiezione, dalla semi-ala spostata all'indietro: sulla prima si esercita una resistenza maggiore di quella che si esercita sulla seconda, ed il modello riprende la direzione originaria.

Posizione del centro di deriva rispetto al baricentro.

Se consideriamo il modello sottoposto ad una corrente che lo investe trasversalmente, avremo che la spinta totale può essere concentrata in un punto, chiamato *centro di deriva*, coincidente con il baricentro della figura piana della vista di fianco del modello (*da non confondere con il baricentro (G) del modello*).

Quando il modello si sposta dalla direzione di marcia, viene investito da una corrente laterale, che agisce sul centro di deriva. Se il centro di deriva è situato posteriormente al baricentro del modello, il modello riprende la propria direzione, mentre se il centro di deriva è situato anteriormente al baricentro del modello, il modello vira fino a disporsi con il vento in coda.

Occorre dunque che il centro di deriva sia più indietro del baricentro.

La distanza fra il centro di deriva ed il baricentro deve tuttavia essere piccola, poichè, se è trop-

po grande, durante la scivolata d'ala si ha un sollevamento della coda troppo forte ed il modello, cambiando direzione, viene a trovarsi in assetto fortemente picchiato, e quindi perde quota. Se invece il centro di deriva è quasi coincidente con il baricentro, la scivolata d'ala si risolve in una oscillazione laterale senza variazione di direzione, e con una perdita di quota minore.

VII.

Il volo senza motore - Condizioni di equilibrio sulla traiettoria - Pendenza della traiettoria.

Per studiare il volo è sufficiente considerare il percorso compiuto dal *baricentro* (G) del modello: la linea tracciata da questo è la *traiettoria*. Mentre le traiettorie curve interessano il progettista dei veri aeroplani, per il modello volante non si considerano che traiettorie molto semplici, rettilinee, percorse in aria calma.

Il volo di un modello veleggiatore, in aria calma, si svolge lungo una retta inclinata sull'orizzonte, ed è il volo *librato*.

Nella fig. 33 il baricentro (G) del modello percorre la traiettoria (A-B): l'angolo formato dalla traiettoria (A-B) con la retta orizzontale (B-C) si

indica con la lettera greca (ϵ) (epsilon), e si chiama *angolo di planata*: il rapporto fra la distanza percorsa, misurata sull'orizzonte, (D) e la perdita di quota (h), fra il punto (A) ed il punto (B), si chiama *rapporto di planata*.

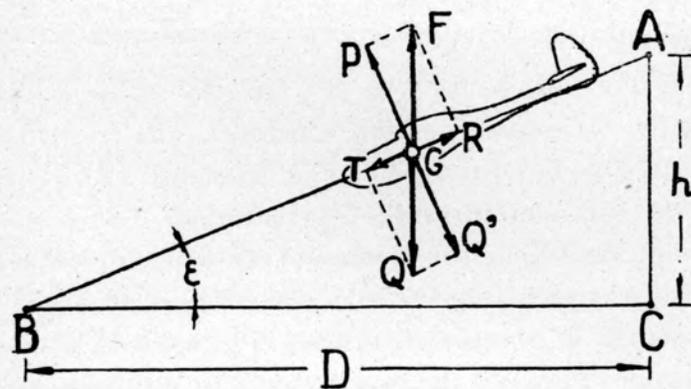


Fig. 33.

Le forze che agiscono sul modello sono:
 il *peso* (Q) applicato nel baricentro (G);
 la *forza aerodinamica* (F).

Affinchè si abbia l'*equilibrio sulla traiettoria*, cioè la condizione che il modello si muova secondo la traiettoria, le due forze (Q) ed (F) si devono fare equilibrio: quindi la (F) dovrà essere diretta verticalmente verso l'alto, poichè la (Q) è diretta verticalmente verso il basso, e le due linee d'azione dovranno coincidere con la verticale passante per il baricentro (G).

Supponiamo per semplicità che il modello sia « *a centri confusi* », cioè che i punti di applicazione delle due forze siano coincidenti con il baricentro (G), punto d'applicazione del peso (Q).

La fig. 33 rappresenta la condizione d'equilibrio, con la forza aerodinamica (F) uguale e contraria al peso (Q).

Le componenti della (F) secondo le due direzioni ortogonali, normale e parallela alla traiettoria, sono la portanza (P) e la resistenza (R).

Le componenti della (Q) secondo le due stesse direzioni, (Q') e (T), dovranno essere uguali e contrarie rispettivamente alla portanza ed alla resistenza: la componente del peso (Q) secondo la direzione parallela alla traiettoria (GT), è la *trazione* che il peso del modello esercita lungo la traiettoria.

Abbiamo dunque che:

$$33) \quad \begin{cases} Q = F \\ Q' = P \\ T = R \end{cases}$$

I triangoli (FGP), (QQ'G) sono uguali, ed inoltre sono simili al triangolo (ABC).

Si ricavano dunque le seguenti proporzioni:

$$34) \quad \frac{P}{R} = \frac{D}{h}$$

Ricordando che il rapporto (P/R) è uguale all'efficienza (E), si ottiene il valore del rapporto di planata:

$$35) \quad \frac{D}{h} = E$$

Quanto maggiore è l'efficienza (E) del modello tanto maggiore diviene il rapporto di planata, ossia più piccolo l'angolo di planata (ϵ).

In altre parole si può dire:

1) *il modello percorre una distanza (D), misurata orizzontalmente, uguale alla perdita di quota (h), moltiplicata per l'efficienza (E);*

2) *a parità di perdita di quota (h), la distanza (D), misurata orizzontalmente, è proporzionale all'efficienza (E) del modello.*

La *pendenza* (p) della traiettoria sarà data dal rapporto fra la perdita di quota (h) e la distanza (D), ossia all'inversa della efficienza (E):

$$36) \quad p = \frac{h}{D} = \frac{1}{E}$$

Quanto maggiore è l'efficienza (E), tanto minore risulta la pendenza (p) della traiettoria.

Trigonometricamente si ricava facilmente che:

$$37) \quad \frac{h}{D} = \operatorname{tg} \epsilon$$

ed inoltre, dalla formula 35):

$$38) \quad E = \frac{1}{\operatorname{tg} \varepsilon}$$

Questa formula dà una rappresentazione geometrica dell'efficienza (E), per mezzo del valore della tangente trigonometrica di un angolo.

Velocità (V) lungo la traiettoria - Velocità verticale di discesa (V_y).

La velocità lungo la traiettoria è determinata dalla trazione (T) che per effetto del peso (Q) agisce sul baricentro (G) del modello: essendo (T) uguale ad (R), si ha, dalla formula 7), che il modello si muove lungo la traiettoria con una velocità (V) il cui valore è dato dall'espressione:

$$39) \quad V = \sqrt{\frac{T}{C_r \times d \times S}}$$

ed inoltre, dovendo essere soddisfatta anche la condizione 2^a delle formule 33), si avrà anche:

$$40) \quad V = \sqrt{\frac{Q'}{C_p \times d \times S}}$$

Data la piccolezza dell'angolo (ε) si ha che praticamente il valore di (Q') è uguale al peso (Q), quindi dalla 40) si ricava:

$$41) \quad V = \sqrt{\frac{Q}{S} \times \frac{1}{C_p \times d}}$$

Da questa formula si deduce la velocità (V) lungo la traiettoria, quando sia dato il carico alare (Q/S).

Poichè la velocità verticale di discesa (V_y) ha il valore:

$$42) \quad V_y = \frac{V}{E}$$

dalla formula 41) si ricava, sostituendo ad (E) il valore 5):

$$43) \quad V_y = \sqrt{\frac{Q}{S} \times \frac{C_r^2}{C_p^2} \times \frac{1}{d}}$$

Da questa formula si deduce che la velocità verticale di discesa (V_y), a parità del carico alare (Q/S), è proporzionale al rapporto (C_r²/C_p²): si ottiene dunque la minima velocità verticale di discesa (V_y), con l'assetto per il quale si ha il minimo valore del rapporto (C_r²/C_p²).

Normalmente, nelle tabelle delle caratteristiche dei profili, è dato il valore (C_p³/C_r²): in questo caso la minima velocità verticale di discesa (V_y) si ha con l'assetto per il quale risulta massimo il valore del rapporto (C_p³/C_r²).

E' questo dunque un altro assetto caratteristico, di minima velocità verticale di discesa, oltre a quelli già considerati di portanza nulla, di resistenza minima, di efficienza massima.

Quando il punto di applicazione della forza

aerodinamica (F), rappresentato dal centro di pressione (C. P.), non coincide con il baricentro (G), il modello è « a centri distinti »: i tre casi possibili sono rappresentati dalla fig. 34, nella quale si hanno tre posizioni del baricentro.

Nella posizione (G), nella quale il baricentro ed il centro di pressione sono sulla stessa verticale, le forze (Q) ed (F) sono uguali e contrarie, e quindi il caso è uguale a quello dei « centri confusi ».

Nella posizione (G_1), il baricentro è arretrato rispetto alla verticale passante per (C. P.). Si ha un momento cabrante (M_1), poichè le due forze (F) e (Q) sono disposte in modo da far cabrare il modello. Il piano di coda deve avere una portanza positiva (p_1), impennaggio *portante*, per compensare il momento cabrante (M_1).

Nella posizione (G_2), il baricentro è avanzato rispetto alla verticale passante per (C. P.). Si ha un momento picchiante (M_2), poichè le due forze (F) e (Q) sono disposte in modo da far picchiare il modello. Il piano di coda deve avere una portanza negativa (p_2), impennaggio *deportante*, per compensare il momento picchiante (M_2).

Nel capitolo V si è visto che il modello risulta stabile con calettamento negativo dell'impennaggio orizzontale e con posizioni avanzate del baricentro (G) rispetto al fuoco dell'ala. E' questa appunto, nella fig. 34, la condizione della posizione (G_2) del baricentro.

Le condizioni di equilibrio sulla traiettoria, nel caso dei « centri distinti », sono le medesime di quelle del caso dei « centri confusi », poichè i momenti cabranti o picchianti sono compensati dall'impennaggio orizzontale, con effetto rispettivamente picchiante o cabrante.

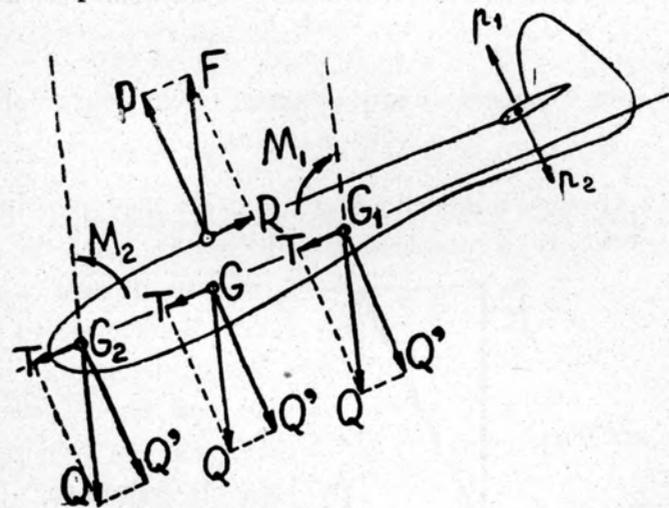


Fig. 34.

Si può tuttavia notare che nel caso della posizione (G_1), essendo portante anche l'impennaggio orizzontale, viene ad essere diminuito il carico alare (Q/S), quindi dalle formule 41) e 43) si ottiene una diminuzione tanto della velocità (V) lungo la traiettoria quanto della velocità verticale di discesa (V_y).

Nel caso invece della posizione (G_2), essendo l'impennaggio deportante, viene ad essere aumen-

tato il carico alare (Q/S), quindi dalle formule 41) e 43) si ottiene un aumento tanto della velocità (V) lungo la traiettoria quanto della velocità verticale di discesa (V_y).

VIII.

Il volo a motore - Leggi generali - Volo orizzontale e volo in salita.

Quando il modello è fornito di un *gruppo motore-propulsore*, il complesso cioè del motore e dell'elica,

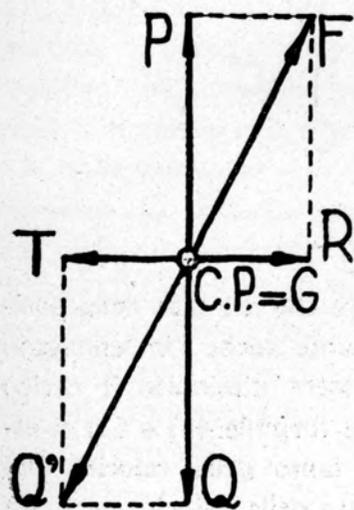


Fig. 35.

agisce su di esso una forza di trazione (T), a causa della quale il volo può essere effettuato non più soltanto lungo la traiettoria del volo librato, ma anche su altre traiettorie meno inclinate, fino al volo orizzontale ed al volo in salita.

Consideriamo dapprima il caso dei « centri confusi ».

La fig. 35 rappresenta il sistema di forze agenti sul modello in condizione di equilibrio, data la

trazione (T) di valore uguale alla resistenza (R). In questo caso la portanza (P) dovrà fare equilibrio al peso (Q), e quindi è diretta verticalmente verso l'alto, con intensità uguale al peso (Q).

Il volo si svolge lungo una traiettoria orizzontale, e si hanno le seguenti condizioni di equilibrio:

$$44) \quad \begin{cases} Q = P = C_p \times d \times S \times V^2 \\ T = R = C_r \times d \times S \times V^2 \\ \varepsilon = 0 \end{cases}$$

Dalle due prime formule si ricava facilmente:

$$45) \quad \frac{Q}{T} = \frac{P}{R} = E$$

e quindi:

$$46) \quad T = \frac{Q}{E} = Q \times \frac{h}{D}$$

La trazione (T) necessaria al volo orizzontale è uguale al peso (Q) diviso per il valore dell'efficienza (E), ovvero sia moltiplicato per la pendenza del volo librato (h/D).

Se si aumenta nella seconda formula delle 44) la trazione (T), si aumenta la velocità (V), e quindi aumenta, dalla prima formula delle 44), il valore di (Q) che può essere sollevato. Il rapporto (Q/T) rimane invariato.

Quando il modello è convenientemente centrato,

in modo che mantenga il proprio asse di trazione orizzontale, un aumento della trazione, causando un aumento della portanza, ha per risultato un aumento di quota, poichè non sussiste più l'equilibrio fra la portanza (P) ed il peso (Q), la prima essendo

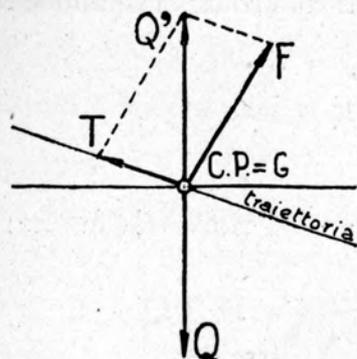


Fig. 36.

divenuta maggiore del secondo; la traiettoria è in salita.

Generalmente tuttavia il modello, quando abbia una esuberanza di potenza rispetto a quella occorrente al volo orizzontale, si dispone con l'asse di trazione in-

clinato verso l'alto. Le condizioni di equilibrio sono rappresentate nella figura 36.

La risultante (Q') della trazione (T) e della forza aerodinamica (F), è diretta verticalmente verso l'alto, ed ha intensità uguale al peso (Q).

Posizione dell'asse dell'elica.

La trazione (T) si esercita lungo la linea rappresentata dall'asse dell'elica. Nel caso dei « centri confusi » si è veduto che, data la linea d'azione della trazione, l'asse dell'elica passa per il baricentro.

Nel caso dei « centri distinti », come nella fig. 37, se l'asse dell'elica passa per il baricentro (G), quando viene a cessare l'azione del motore il modello è centrato per il volo librato.

Questa condizione è importantissima, poichè il modello a motore, particolarmente a matassa elastica, deve essere in grado di sfruttare, durante il

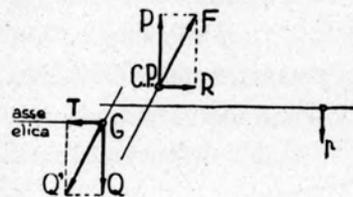


Fig. 37.

tempo del volo librato, tutte le possibilità di veleggiamento: deve quindi essere centrato tanto per il volo a motore quanto per il volo librato, e

condizione necessaria è che l'asse di trazione passi per il baricentro.

Si può concludere questo capitolo con la seguente regola generale:

il modello a motore deve essere centrato, prima di tutto, per il volo librato, fino ad ottenere le migliori condizioni di assetto con spostamenti del baricentro e con il calettamento dell'impennaggio orizzontale: il centramento per il volo a motore deve essere ottenuto con variazioni della posizione dell'asse di trazione, senza più toccare il centramento precedentemente eseguito. Nella seconda fase si troverà la posizione dell'asse di trazione più favorevole per la salita più rapida.

La rotazione dell'elica ha ancora altri effetti,

in senso trasversale ed in senso longitudinale: dalla fig. 38 si vede chiaramente che la rotazione dell'elica verso sinistra, a causa della resistenza dell'aria

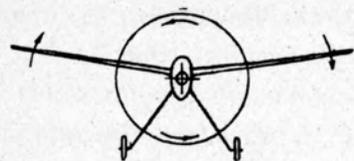


Fig. 38.

alla rotazione stessa, produce una inclinazione di tutto il modello verso destra.

Dalla fig. 39 si vede che i filetti d'aria, posteriormente all'elica, si restringono: l'ala (A) posta nella parte superiore

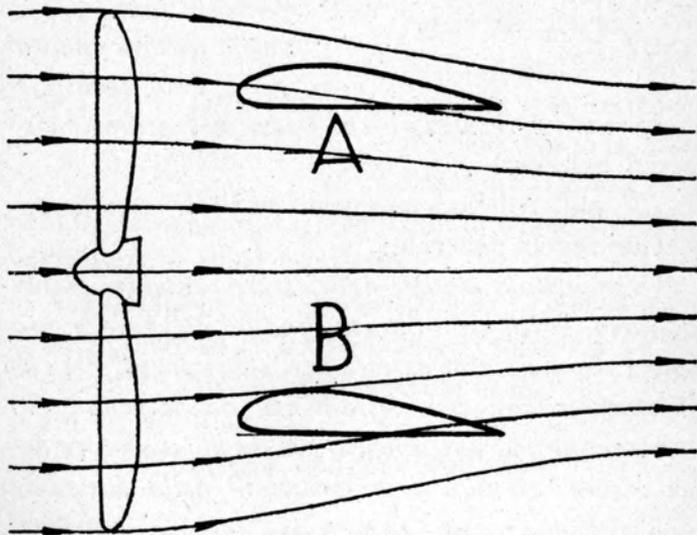


Fig. 39.

riore della corrente è investita dalla corrente stessa sotto un'incidenza minore di quella risultante per l'ala (B) posta nella parte inferiore.

Poichè l'assetto ottimo per il volo a motore corrisponde ad una incidenza minore di quella relativa all'assetto ottimo per il volo senza motore, ne risulta che è più conveniente l'ala situata superiormente all'asse dell'elica.

Resta infine da dire che per effetto della rotazione dell'elica, il modello tende a virare dalla parte opposta alla rotazione stessa dell'elica: dunque un modello che vola rettilinearmente in volo librato, virerà nel volo a motore, e viceversa. *La tendenza a virare per causa dell'elica si corregge con spostamenti laterali dell'asse.*

IX.

Il gruppo moto-propulsore - Il motore.

Il gruppo moto-propulsore più frequentemente adoperato per i modelli volanti è quello azionato da un motore a matassa elastica.

Il motore a matassa elastica ha la proprietà di restituire la forza immagazzinata durante la carica con un andamento molto regolare, dopo un primo breve periodo di intensità maggiore.

Le matasse elastiche presentano le seguenti caratteristiche:

a) *matassa lunga di piccola sezione: rile-*

vante numero di giri di carica, lunga durata, scarsa potenza e quindi bassa velocità di rotazione;

b) *matassa corta di grande sezione*: piccolo numero di giri di carica, breve durata, forte potenza e quindi alta velocità di rotazione.

Fra gli accorgimenti atti ad aumentare la durata della scarica, quando per necessità costruttive la matassa deve essere corta, si hanno i seguenti.

1) Divisione della matassa in due, tre o più matasse di sezione minore, collegate con l'asse dell'elica per mezzo di ingranaggi. Aumentando il numero delle matasse parziali, si aumenta l'attrito e quindi si diminuisce la potenza. Molto utile, perchè dà poco attrito, è la trasmissione a mezzo di bielle.

2) Formazione di una matassa, di sezione metà del necessario, lunga circa due volte e mezzo la distanza fra i ganci, e ripiegata dopo averla attorcigliata fino a dimezzarne la lunghezza iniziale. Si forma una matassa della sezione occorrente, e che può essere caricata con un numero di uguale sezione. La potenza restituita è uguale a quella della matassa corta.

3) Adozione di una matassa più lunga, con un arresto prima della fine della scarica, in modo che il residuo di giri serve a mantenere la matassa tesa fra i ganci.

4) Adozione di una matassa più lunga, fino

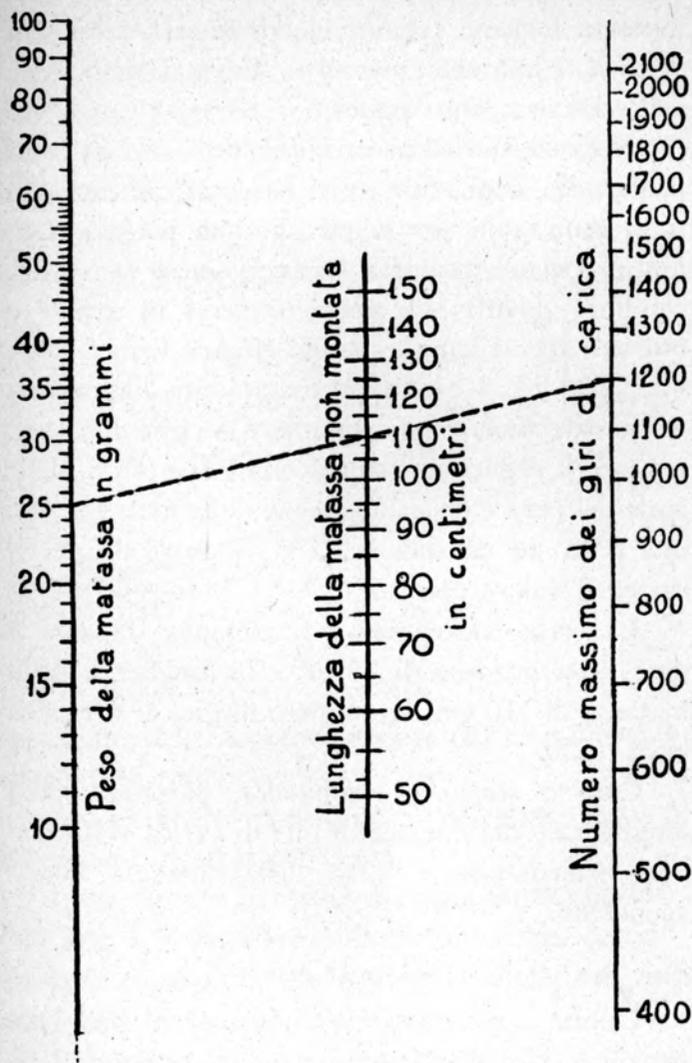


Fig. 40.

al 25 o al 30 % in più della distanza fra i ganci, montata insieme con un filo di elastico, indipendente dalla matassa, più corto, fino al 5 % in meno della distanza fra i ganci.

Nei casi 3) e 4) la matassa non si scarica completamente, negli ultimi giri che praticamente non sono utilizzabili per la piccolissima potenza fornita, e rimane tesa fra i ganci, senza provocare squilibri, dovuti agli ammassamenti in avanti o indietro che si hanno quando rimane lenta.

Nella fig. 40 è rappresentato un diagramma per la determinazione del numero dei giri di carica. L'uso è il seguente: si uniscono i due punti, delle scale del peso e della lunghezza della matassa, con una retta che dà sulla scala del numero di giri di carica il valore cercato.

La retta tratteggiata, di esempio, dà, con il peso della matassa di 25 gr. e la lunghezza della matassa di 110 cm. un numero di giri di carica di circa 1200.

Con lo stesso procedimento, partendo dalla lunghezza e dal numero di giri di carica voluto, si può determinare il peso della matassa corrispondente.

L'elica.

L'elica è composta normalmente di due pale (a volte 3 o 4, raramente una), ognuna delle quali è una semi-ala, disposta con incidenza po-

sitiva rispetto al piano normale all'asse, e dotata di movimento rotativo.

La somma delle portanze delle due pale è la *trazione* (T) agente in direzione dell'asse: la somma delle resistenze all'avanzamento, in rapporto al piano di rotazione, è la *resistenza alla rotazione* (R_r).

La fig. 41 rappresenta schematicamente la di-

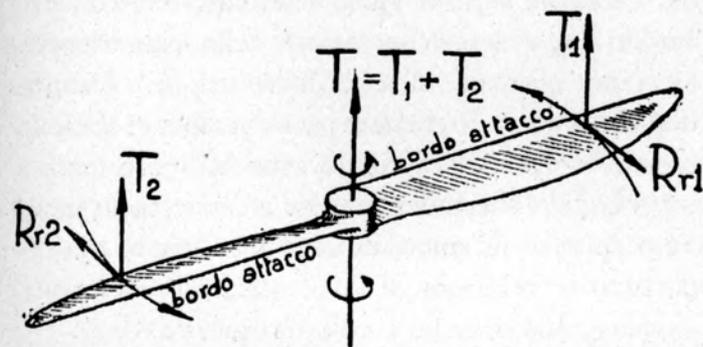


Fig. 41.

sposizione delle forze sviluppate dall'elica nel movimento di rotazione.

Gli elementi caratteristici dell'elica sono il *diametro* (D) ed il *passo* (p).

Il diametro è la distanza fra le estremità delle due pale, o il diametro della circonferenza descritta dalle estremità delle pale delle eliche con numero dispari (1 o 3) di pale.

Il passo è la misura, lungo l'asse, della distanza che l'elica percorrerebbe in un giro supponendo

l'aria un corpo rigido, a guisa della madre vite nella quale avanza, ruotando, la vite, che nel caso nostro è l'elica stessa.

Per avere un passo costante per ogni sezione della pala, ogni sezione deve essere disposta con una determinata incidenza rispetto al piano normale all'asse: sono queste le *eliche a passo costante*.

Le *eliche a passo vario* sono costruite con differenti incidenze delle sezioni della pala rispetto al piano normale all'asse di rotazione. Bisogna non confondere le eliche a passo vario con le eliche a *passo variabile* (in volo o a terra), nelle quali è tutta la pala che ruota intorno a sè stessa in modo da permettere al pilota di adottare il passo più opportuno in relazione al volo, ossia all'assetto dell'apparecchio (decollo o volo di crociera, ecc.).

Le eliche a passo vario, con passo massimo alle estremità delle pale, sono indicate per ottenere una diminuzione della resistenza alla rotazione, in modo da averne un maggiore *rendimento* (r), intendendo per rendimento il rapporto fra la trazione sviluppata dall'elica e la resistenza che l'elica stessa oppone alla rotazione.

Bisogna considerare che l'aria è un fluido, e quindi durante la rotazione parte dell'aria è spinta all'indietro: ne risulta che il passo effettivo, o più esattamente *l'avanzo per giro*, è minore del passo geometrico: la differenza si chiama *regresso*.

Dato il passo (p) e il diametro (D), si ha ancora un elemento caratteristico dato dal *rapporto* (p/D) fra il passo ed il diametro.

La variazione del rapporto (p/D) è causa di variazioni del rendimento (r), variazioni che vengono ad essere modificate inoltre dalla velocità di rotazione, che viene misurata con il *numero di giri* (n) al minuto primo.

In linea generale si può adottare, in prima approssimazione, il diametro (D) dell'elica uguale ad 1/3 dell'apertura (b).

Il rapporto fra il passo e il diametro (p/D) varia in dipendenza del carico alare (Q/S), e può essere assunto, in base al carico alare (Q/S) calcolato ad esclusione della matassa, secondo i valori seguenti:

Q/S carico alare con elica senza matassa	p/D rapporto fra il passo e il diametro per D = b/3
5 -- ÷ 7,5 gr/dmq	1,80
7,5 ÷ 9 -- »	1,50
9 -- ÷ 10 -- »	1,25
10 -- ÷ 11 -- »	1,00
11 -- ÷ 12,5 »	0,80

Praticamente, dunque, si calcola il carico alare (Q/S) del modello completo, esclusa la matassa: si assume come diametro (D) dell'elica 1/3 dell'apertura (b), e si determina il passo (p) dal valore del rapporto (p/D), risultante dallo spec-

chietto precedente, moltiplicato per il diametro (D), di valore uguale ad 1/3 dell'apertura alare (b).

La forma dell'elica ha, anch'essa, influenza sul rendimento.

L'elica a pala stretta, a somiglianza dell'ala molto allungata, ha un rendimento maggiore: il numero di giri tuttavia, a parità di passo e diametro, è maggiore di quello necessario per l'elica a pala larga, e ne segue che la matassa si scarica in tempo più breve. *Come larghezza massima della pala si può assumere un valore compreso da 1/6 ad 1/10 del diametro (D), rispettivamente per modelli leggeri e per modelli pesanti.*

E' necessario considerare, però, che a parità di diametro non si può aumentare eccessivamente il passo, poichè aumenta la resistenza alla rotazione, cosicchè l'elica, non funzionando al regime ottimo, sviluppa una trazione minore di quella necessaria al volo.

Bisogna tenere presente che, in via generale, il rendimento massimo si ha quando è soddisfatta la condizione seguente:

$$47) \quad \frac{p}{D} = \frac{V}{n \times D}$$

dalla quale segue anche:

$$48) \quad p = \frac{V}{n}$$

Il valore (V/nD) è chiamato *rapporto di funzionamento*.

Conoscendo la velocità (V) di sostentamento ed il numero di giri (n), si può determinare il passo (p).

Dato invece il rapporto (p/D), la velocità (V) di sostentamento ed il diametro (D) dell'elica, si può determinare il numero di giri di regime ottimo, che risulta di valore:

$$49) \quad n = \frac{V}{p}$$

La sezione della matassa.

Rimane da determinare la sezione della matassa occorrente affinché l'elica abbia la velocità di rotazione necessaria.

Questa determinazione dipende, come si è visto in principio di questo capitolo, dalla lunghezza della matassa, dalla qualità della gomma e dal trattamento preventivo (*snervamento*). Grande influenza ha anche la sezione della gomma (quadrata, o rettangolare, più o meno grossa).

A parità di sezione complessiva, la matassa composta di minor numero di fili (ognuno dei quali di grande sezione) ha un numero di giri di carica minore e rendimento minore.

E' conveniente dunque scegliere gomma di piccola sezione, rettangolare, molto piatta.

In queste condizioni la matassa restituisce una percentuale massima del lavoro immagazzinato durante la carica, ed inoltre la scarica è più regolare.

All'atto pratico delle prove di volo, si aumenterà o si diminuirà la sezione della matassa, cambiando eventualmente l'elica, fino ad ottenere il risultato migliore.

I N D I C E

I. - Azione della corrente d'aria sui corpi.	Pag. 3
Forza agente sul corpo	" 4
Corpi di minima resistenza	" 11
Equivalenza degli effetti della corrente d'aria sul corpo immobile e del moto del corpo rispetto all'aria	" 13
II. - L'ala - Forma in pianta - Superficie - Allungamento	" 15
Profili alari - Incidenza - Portanza e resistenza	" 17
Coefficienti unitari di portanza (C_p) e di resistenza (C_r) - Efficienza (E)	" 20
Diagrammi	" 21
Diagrammi ortogonali	" 23
Diagrammi polari	" 24
Formule della portanza e della resistenza	" 27
Variazione del coefficiente di resistenza per variazioni dell'allungamento	" 31
Calcolo dei coefficienti di portanza e di resistenza d'ali composte con diversi profili e diverse incidenze, di forma non rettangolare	" 36
III. - L'equilibrio dell'ala - Centro di pressione (C. P.) e suoi spostamenti per variazioni dell'incidenza - Instabilità dell'ala	" 41
Caratteristiche dei diversi profili nei riguardi dell'equilibrio	" 42
Momento dell'ala e coefficiente del momento (C_m) rispetto al bordo d'attacco, o rispetto ad altro punto della corda	" 45
Condizioni dell'equilibrio - Retta baricentrica nel diagramma polare - Diversità di assetto	" 51
Calcolo del coefficiente di momento d'ali composte con diversi profili e diverse incidenze, o di forma non rettangolare	" 53

IV.	- Il modello completo e le sue caratteristiche - Aumento della resistenza dovuta alle parti oltre l'ala - Interferenza aerodinamica.	Pag. 54
	Riduzioni dei coefficienti di resistenza in rapporto alla superficie alare - Polare del modello.	" 55
	Cenno sulle migliori sistemazioni dei raccordi e degli attacchi fra le varie parti	" 58
V.	- L'equilibrio del modello - Variazione del momento dovuto agli impennaggi orizzontali - Calettamento degli impennaggi - Coefficiente di momento (C_m) del modello completo	" 60
	Rette isocline - Curve del coefficiente di momento del modello completo - Superficie dell'impennaggio orizzontale	" 64
	Il centramento e l'assetto del modello - Ripartizione degli sforzi sui longheroni	" 67
VI.	- La stabilità laterale e la stabilità di rotta - Il diedro trasversale	" 70
	Gli impennaggi verticali - Ala a freccia	" 70
	Posizione del centro di deriva rispetto al baricentro	" 71
VII.	- Il volo senza motore - Condizioni di equilibrio sulla traiettoria - Pendenza della traiettoria	" 72
	Velocità (V) lungo la traiettoria - Velocità verticale di discesa (V_y)	" 76
VIII.	- Il volo a motore - Leggi generali - Volo orizzontale e volo in salita	" 80
	Posizione dell'asse dell'elica	" 82
IX.	- Il gruppo moto-propulsore - Il motore	" 85
	L'elica	" 88
	La sezione della matassa.	" 93

Istruzioni per la costruzione e il montaggio del modello volante "M 12"

CARATTERISTICHE DEL MODELLO

Apertura alare	mm. 800	Diametro dell'elica	mm. 260
Lunghezza totale	mm. 800	Passo medio dell'elica	mm. 390
Superficie portante	dcm. 9	Sezione della matassa	mm. 24
Peso	grammi 130	Giri di carica max	N. 550

Il modello M. 12 a bastone è il tipo più semplice di modello volante con motore ad elastico sia per quanto riguarda la costruzione che le prove di volo, ed è particolarmente indicato per chi inizia la propria attività aeromodellistica.

Si costruisca il modello attenendosi scrupolosamente alle misure e forme date dal disegno, non variandone quindi i particolari costruttivi e seguendo le norme per la costruzione dei modelli volanti descritte sul «Vademecum dell'Aeromodellista».

ALA

L'ala, monolongherone, a pianta rettangolare con estremità arrotondate, è composta di dieci centine fra loro uguali, del bordo d'attacco in fondino e del bordo d'uscita in listello triangolare. La struttura dell'ala è completata dagli alettoni (N. 5) e dagli elementi di unione delle semiali: diaframma (N. 6) e riempimenti in sughero (N. 7 e 8).

Si noti che tutte le centine hanno identici alloggiamenti per i longheroni, ad eccezione delle due centine centrali A e B che oltre gli alloggiamenti detti presentano un intaglio che permette l'incastro col corrispondente intaglio del diaframma, facilitando così la unione delle semiali e determinando il voluto diedro.

Dopo aver effettuata la unione delle semiali, si dovranno interporre fra le centine A e B, rispettivamente in corrispondenza del bordo d'attacco e del bordo d'uscita due blocchetti di sughero opportunamente sagomati che oltre a determinare un ulteriore irrigidimento del complesso favoriscono il raccordo e la perfetta copertura della zona centrale dell'ala (vedi i particolari illustrati sul disegno).

Gli elementi di fissaggio dell'ala con la fusoliera sono costituiti da gancetti di filo metallico in numero di tre: i due primi sono solidali col diaframma centrale, mentre il terzo è fissato al fazzoletto N. 9 che ricopre il riempimento di sughero N. 8.

Il fissaggio dell'ala alla fusoliera avviene a mezzo di anelli elastici che allacciano la fusoliera stessa con i ganci sopradetti.

L'alettone è fissato sulla superficie inferiore del bordo d'uscita a mezzo di due ribattini di alluminio.

L'estremità alare è formata dal prolungamento del bordo d'attacco che si incurva e viene incollata al bordo d'uscita; una legatura di refe facilita l'unione di questi due elementi e rende più solida la connessione.

Si noti che, oltre l'ultima centina, il tondino del longherone superiore prosegue rettilineo fino alla curva terminale, mentre quello inferiore si inflette per assumere la forma visibile sul disegno. L'estremità alare è completata col traversino C. (vedi particolare estremità alare con alettone).

FUSOLIERA

La fusoliera è costituita da un regolo di legno sul quale sono rigidamente fissati: il supporto dell'elica, il carrello, il pattino e gli impennaggi, mentre l'ala, come si è visto, è connessa alla fusoliera elasticamente. Sulla estremità posteriore del regolo fusoliera vengono praticati gli alloggiamenti (D-E) per l'applicazione degli impennaggi. Il primo è un foro del diametro di 3 mm. mentre l'altro è un incastro che va eseguito con la seghetta da traforo e che ha le dimensioni di mm. 3 x 16 come è chiaramente visibile dal disegno.

Una volta eseguiti gli incastri, l'estremità della fusoliera potrà essere leggermente sgrossata come è dimostrato dal disegno.

IMPENNAGGI

Gli impennaggi sono costruiti col sistema a traliccio. Il contorno del timone di profondità può essere formato da un elemento non continuo nel quale caso esso è composto da due tondini di pioppo che sono tra loro incollati lungo la parte centrale (tratto compreso tra la legatura F ed il fazzoletto semicircolare N. 24) e che vengono opportunamente curvati fino ad assumere la forma data dal disegno in modo che le loro estremità vengano a combaciare nella parte anteriore del timone dove sono incollati tra loro e col relativo fazzoletto N. 24. La costruzione del piano di coda verticale è identica a quella del piano orizzontale; si notino anche in questo caso i fazzoletti di rinforzo della struttura e si tenga presente che solo il fazzoletto anteriore (N. 25) è doppio, incollato cioè su entrambe le superfici del timone, mentre i fazzoletti N. 26 e 27 sono incollati di costa col traliccio, internamente alla struttura.

Per il fissaggio degli impennaggi alla fusoliera si proceda nel modo seguente: si introduca preventivamente l'estremità del bordo anteriore del timone di direzione nel foro del fazzoletto anteriore (N. 24) del timone di profondità, in modo tale che il listello inferiore del timone di direzione si adagi sulla superficie compresa fra la legatura F e il fazzoletto semicircolare N. 24. Il complesso dei timoni così ottenuto va unito alla fusoliera contemporaneamente in due punti: anteriormente nel foro D, posteriormente nell'incastro E.

Occorre prestare attenzione che i timoni così fissati alla fusoliera rimangano ad essa connessi in modo stabile, senza essere incollati, onde poter eventualmente regolare l'incidenza del piano orizzontale.

CARRELLO E PATTINO

Il carrello è formato con elementi di filo di acciaio del diametro di 1 mm. ed è composto da tre elementi: due gambe di forza piegate ad angolo acuto e fissate alla fusoliera, ed un assale fissato alle gambe stesse nei vertici degli angoli sopradetti (G. H.).

Per il fissaggio delle gambe del carrello alla fusoliera si procede nel modo seguente: si introduce il filo di acciaio nel foro precedentemente praticato nella fusoliera: si ripiega poi su se stessa l'estremità del filo sporgente, quindi si forza il gancio così ottenuto nella fusoliera. Queste operazioni sono chiaramente visibili dai particolari del disegno.

L'assale del carrello è fissato alle gambe di forza con una legatura di refe e caseina (G - H); l'estremità dell'assale che sporge dalle ruote è opportunamente ripiegato onde evitare la fuoruscita delle ruote.

Il pattino di coda (N. 17) che funge anche da gancio posteriore per il fissaggio della matassa elastica, deve essere sistemato ad una distanza di mm. 145 dall'estremità posteriore della fusoliera (vedi vista di fianco del modello) ed è formato da un pezzetto di filo di acciaio di mm. 1,5 che è fissato sulla fusoliera stessa con procedimento identico a quello già descritto per il fissaggio delle gambe del carrello.

SUPPORTO PER ELICA

Il supporto per l'elica è formato da un elemento di legno avente la stessa sezione del regolo fusoliera. La sua lavorazione va eseguita nel modo seguente: si tagli il listello nella lunghezza di mm. 30 indi si eseguisca un foro del diametro di mm. 1,5 per il passaggio dell'asse dell'elica facendo attenzione che oltre ad essere praticato nella precisa posizione indicata dal disegno, sia ben centrato e risulti perpendicolare alle facce maggiori del supporto stesso.

A mezzo dell'archetto da traforo si eseguiscono poi sul supporto e sulla estremità anteriore della fusoliera gli incastri che sono chiaramente visibili sul disegno (vedi particolare «supporto elica»), incastri che una volta incollati permettono una perfetta e solida unione dei due elementi.

Si osservi che l'incollatura risulti perfetta in modo che il supporto rimanga perpendicolare alla fusoliera; dopo aver atteso che la colla sia asciutta, onde accrescere ulteriormente il bloccaggio delle parti, si può introdurre ed incollare un pezzetto di tondino di pioppo del diametro di mm. 3 nel foro che verrà praticato in corrispondenza della lettera I (vedi particolare disegno). Da ultimo, a mezzo di una piccola lima, e di carta vetrata, si asporteranno le parti sporgenti di questo tondino e si potrà sgrossare e rifinire il muso della fusoliera e relativo supporto che verranno ad assumere la forma semicircolare visibile dal disegno.

L'asse dell'elica è formato di filo d'acciaio del diametro di mm. 1,5 e blocca l'elica col suo gancio anteriore; tra l'elica ed il supporto è interposto il cuscinetto semplice N. 15.

Per facilitare la carica della matassa elastica a mezzo del trapano caricatore, dato che l'elica non può essere tolta dal supporto, è bene fissare alla matassa stessa un piccolo gancio metallico (N. 16) che può essere fissato al gancio caricatore durante la carica, e poi introdotto sull'asse dell'elica.

Per la preparazione e carica della matassa elastica, montaggio del modello e prove di volo, ci si deve attenere alle norme descritte sul «Vademecum dell'Aeromodellista».

ELENCO DEI PEZZI COMPONENTI IL MODELLO SECONDO LE NUMERAZIONI DEL DISEGNO

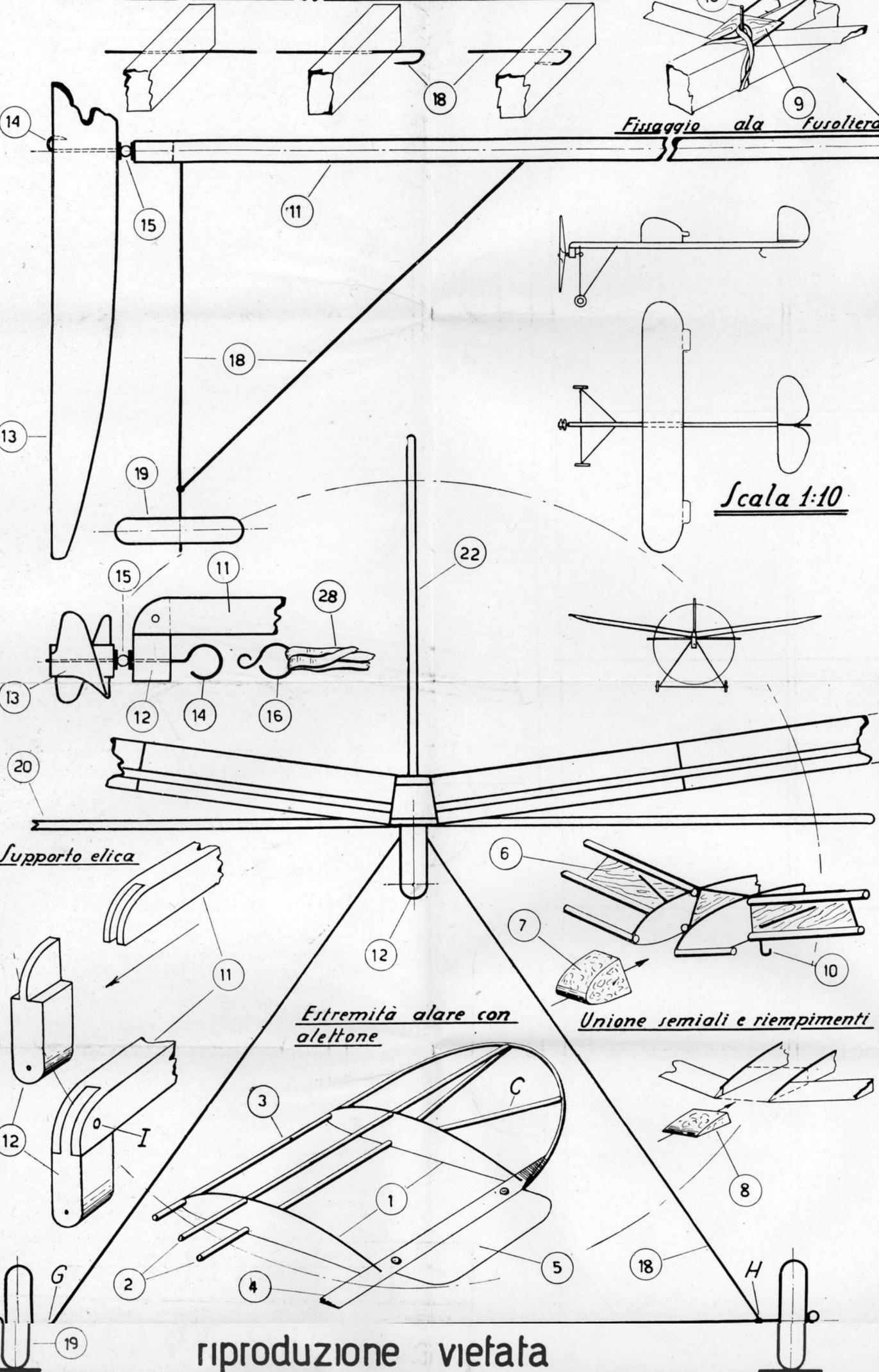
N.	DENOMINAZIONE	MATERIALE	MISURE mm.
1	Centine alari	Tavolette pioppo	spessore 1
2	Longheroni	Tondino di pioppo	di diametro 3
3	Bordo d'attacco	Tondino di pioppo	di diametro 3
4	Bordo d'uscita	Listello triangolare	3 x 7
5	Alettoni	Lamiera alluminio	spessore 3/10
6	Diaframma attacco semiali	Compensato	spessore 1,5
7	Riempimento anteriore semiali	Sughero	— — —
8	Riempimento posteriore semiali	Sughero	— — —
9	Fazzoletto rinforzo unione semiali	Compensato	spessore 1
10	Ganci metallici fissaggio ala	Filo acciaio	di diametro 1
11	Regolo fusoliera	Listello tiglio	8 x 12
12	Supporto elica	Listello tiglio	8 x 12
13	Elica	Cirmolo	di diametro 260
14	Asse per elica	Filo acciaio	di diametro 1,5
15	Cuscinetto	— — —	— — —
16	Gancio di fissaggio matassa-elica	Filo acciaio	di diametro 1,5
17	Gancio porta elastici e pattino	Filo acciaio	di diametro 1,5
18	Gambe di forza del carrello	Filo acciaio	di diametro 1
19	Ruote	Pioppo	di diametro 40
20	Contorno piani di coda orizzontali	Tondino di pioppo	di diametro 3
21	Traliccio piani di coda orizzontali	Tondino di pioppo	di diametro 3
22	Contorno piani coda verticali	Tondino di pioppo	di diametro 3
23	Traliccio piani di coda verticali	Tondino di pioppo	di diametro 3
24	Fazzoletto piano di coda orizzontale	Compensato	spessore 1
25-26-27	Fazzoletti piano di coda verticale	Compensato	spessore 1
28	Matassa	Elastico	1 x 3

N.B. - Le dimensioni e le forme esatte dei vari elementi devono essere ricavate dalle viste non prospettiche del disegno, dato che i particolari prospettici sono semplicemente dimostrativi.

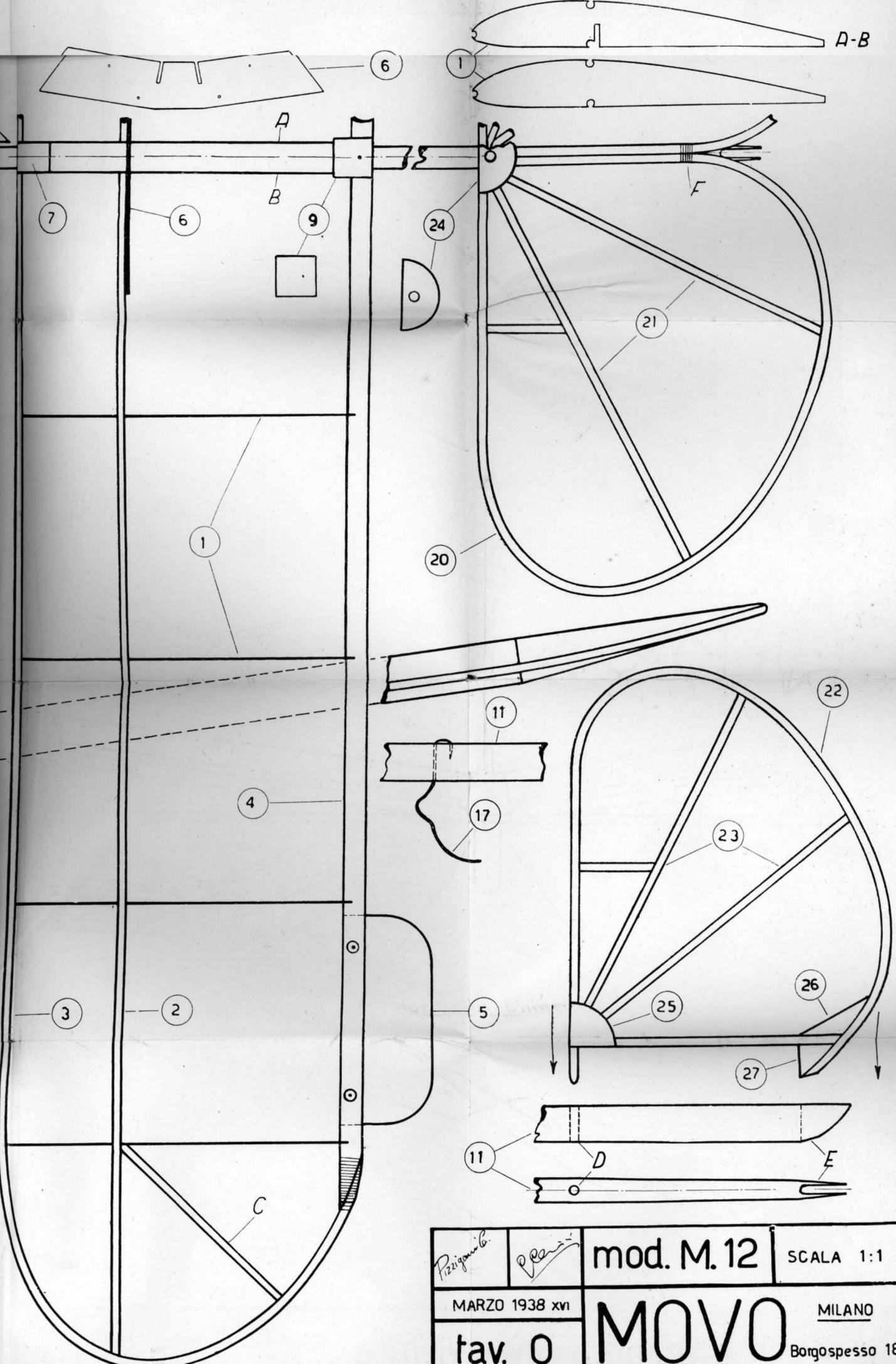
Esempio di fissaggio del carrello alla fusoliera

Fissaggio ala fusoliera

Scala 1:10



riproduzione vietata



Pizzigoni	mod. M. 12	SCALA 1:1
MARZO 1938 xvi	MOVVO	MILANO
tav. 0		Borgospesso 18