

IL POLITECNICO DI MILANO  
CENTRO STUDI ED ESPERIENZE PER IL VOLO A VELA  
- LIBERATO DE-AMICI -

**Appunti sul progetto  
e la costruzione di alianti**

di  
**Ermenegildo Preti**

ALLEN A. CROVATTELLI, INGEGNERE DEL CENTRO STUDI  
E ESPERIENZE PER IL VOLO A VELA - L. DE AMICI -  
DEL R. POLITECNICO DI MILANO

TUTTI I DIRITTI RISERVATI AL  
CENTRO STUDI ED ESPERIENZE PER IL VOLO A VELA - L. DE AMICI -  
DEL R. POLITECNICO DI MILANO

## PREFAZIONE

L'Italia è entrata nel suo secondo anno di guerra e ad uno e ad uno abbiamo visto partire, chi in grigio verde e chi nell'azzurra divisa dell'arma che ci è piú cara, tutti o quasi tutti i soci del Centro.

Al C.V.V., salvo poche eccezioni non sono dunque rimasti che gli allievi; una piccola schiera di giovani reclute, in parte con qualche nozione di aeromodellismo, ma per la grande maggioranza completamente digiune di costruzioni volovelistiche.

In tempi normali, a quest'epoca, Gildo Preti teneva alle matricole, non proprio delle lezioni, ma piuttosto delle conversazioni che, in un clima di cordiale cameratismo, iniziavano gli allievi ai primi rudimenti della tecnica delle costruzioni volovelistiche.

Questo ora non è possibile e non lo sarà forse per molto tempo; il Centro ha così deciso, essenzialmente per questa ragione, di realizzare quest'anno, in veste molto modesta e in termini molto riassuntivi, un progetto che da lungo tempo era in maturazione: quello di raccogliere in un manualetto i principi tecnico scientifici cui si ispira la costruzione di un aliante.

In tal modo son nati, sulla traccia delle lezioni di Preti, questi appunti cui è però necessario fare qual

che premessa.

Non esiste in Italia un solo libro che tratti del progetto e della costruzione di alianti e pochissimi sono coloro che si dedicano a un tale campo di studi. Molti, al contrario, sono i giovani che si appassionano o, meglio, che si appassionerebbero alla materia, ma ben poco ne conoscono e, quel poco, basato su principi spesso volte errati; lo sa il Centro attraverso ai questionari che gli arrivano di frequente.

Questi appunti pertanto, ben lungi dall'aver la pretesa di "insegnare" la costruzione di un alante, vogliono porre una prima base e dare agli allievi, quasi tutti del biennio propedeutico per la laurea in ingegneria, quei principi che li mettano in grado di capire e seguire il lavoro svolto dal Centro, e di iniziare così il vero lavoro.

Ci si è dovuti, per quest'anno, accontentare di annotazioni molto affrettate e ben lontane dall'essere complete, così come incompleto restò il corso orale svolto nel '41. I capitoli riflettono un po' tutti gli argomenti: dalle nozioni generali ai principi di aerodinamica, dalle tecnologie ai regolamenti; il tutto senza un ordine preciso, senza una proporzione di massa fra parte e parte e, per di più, come già si è detto, svolto molto, fin troppo, sommarissimamente. Difetti questi evidentemente gravi, ma non importa. Quello che si è voluto è

di incominciare ed abbozzare qualche cosa; e questo qualche cosa servirà a un primo schiarimento di idee; di anno in anno si rivedrà il lavoro fatto, lo si perfezionerà, si colmeranno le lacune, si limiterà il superfluo e un giorno il risultato di questa fatica potrà veder luce senza arrossire.

Imprimatur, dunque! E buona fortuna!

C.V.V.

MILANO Gennaio 1942 XX°

po è assai complessa, non solo per la molteplicità delle suddivisioni possibili, ma anche per la continuità che ci porta dal più semplice degli apparecchi da scuola al più evoluto aliante da primato.

Una prima grande suddivisione che ci permette di fissare una definizione anche nel campo della tecnica costruttiva, è quella voluta dalla legislazione nazionale ai soli fini della navigazione aerea, secondo la quale sono "libratori" gli alianti destinati al volo librato e "veleggiatori" quelli destinati al volo veleggiato ovvero allo sfruttamento delle correnti aeree.

Dal punto di vista formale, la distinzione non è assoluta, in quanto non è escluso che, in determinate condizioni, un libratore - anche se non debba - possa veleggiare anzichè librare, mentre è pacifico che, in mancanza di correnti adeguate, qualsiasi veleggiatore è costretto ad eseguire del puro volo librato.

Come è infatti noto, un velivolo senza motore, può eseguire in aria calma, oppure rispetto all'aria ambiente comunque in moto, unicamente del volo librato, con una perdita di quota costante nell'unità di tempo per ciascun assetto possibile (velocità di discesa).



Un aliante non può pertanto in alcun modo acquistare quota con moto di regime rispetto all'aria ambiente, mentre, rispetto a terra (riferimento: livello del mare), le variazioni di quota dipendono dalla risultante dei due moti relativi fra aliante ed aria ambiente e fra l'aria ambiente e la superficie terrestre.

Varia è l'intensità delle correnti aeree, e più frequenti sono ovviamente quelle di piccola entità; è quindi tanto più facile l'acquisto di quota di un aliante quanto è più piccolo il valore della sua velocità di discesa.

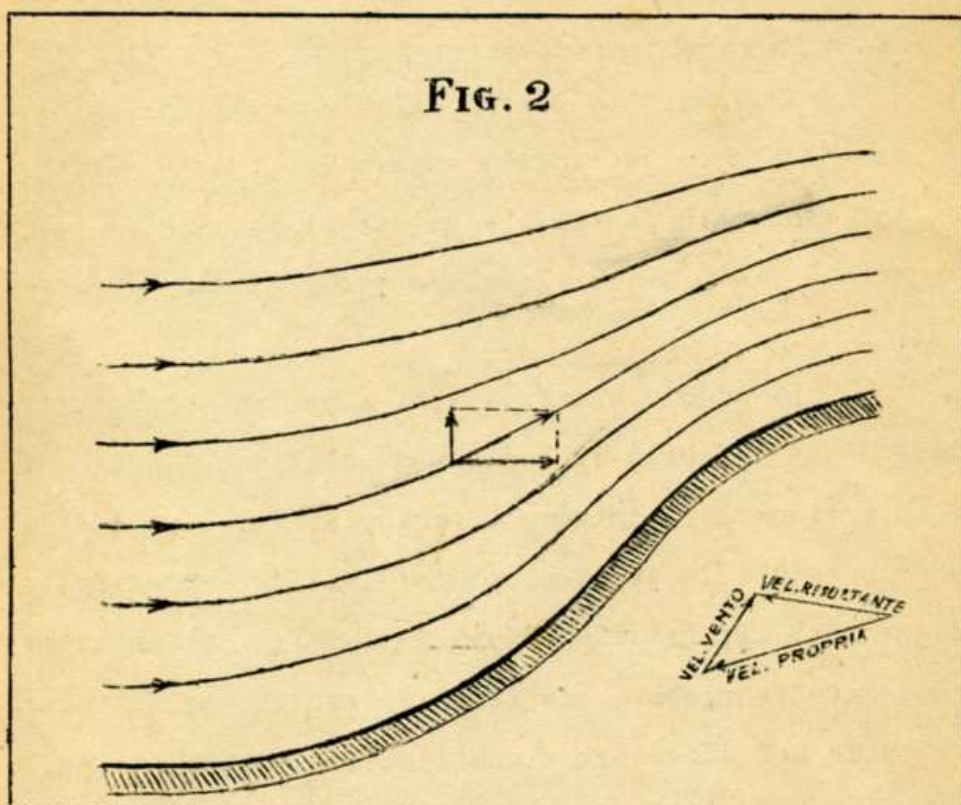
La suddivisione teorica è pertanto legata al valore della velocità di caduta assunta come limite; ciò che interviene a delimitare ulteriormente le due categorie accennate è la tecnica costruttiva che - tendendo nei veleggiatori alla realizzazione delle migliori caratteristiche aerodinamiche - sacrifica ulteriormente tali caratteristiche nei libratori - usati naturalmente per scuola - in omaggio a criteri di semplicità costruttiva, basso costo, facilità di pilotaggio, irrobustimento di alcuni organi, ecc.

Completando quindi il pensiero del Legislatore, diremo:

libratore: un aliante che, per le caratteristiche aerodinamiche e costruttive, è particolarmente adatto al volo librato;

Veleggiatore: un aliante che per caratteristiche aerodinamiche è in grado di sfruttare le correnti aeree al fine di guadagnare quota rispetto al punto di partenza.

Grossolanamente possiamo considerare due specie di volo veleggiato: il volo dinamico e il volo termico.

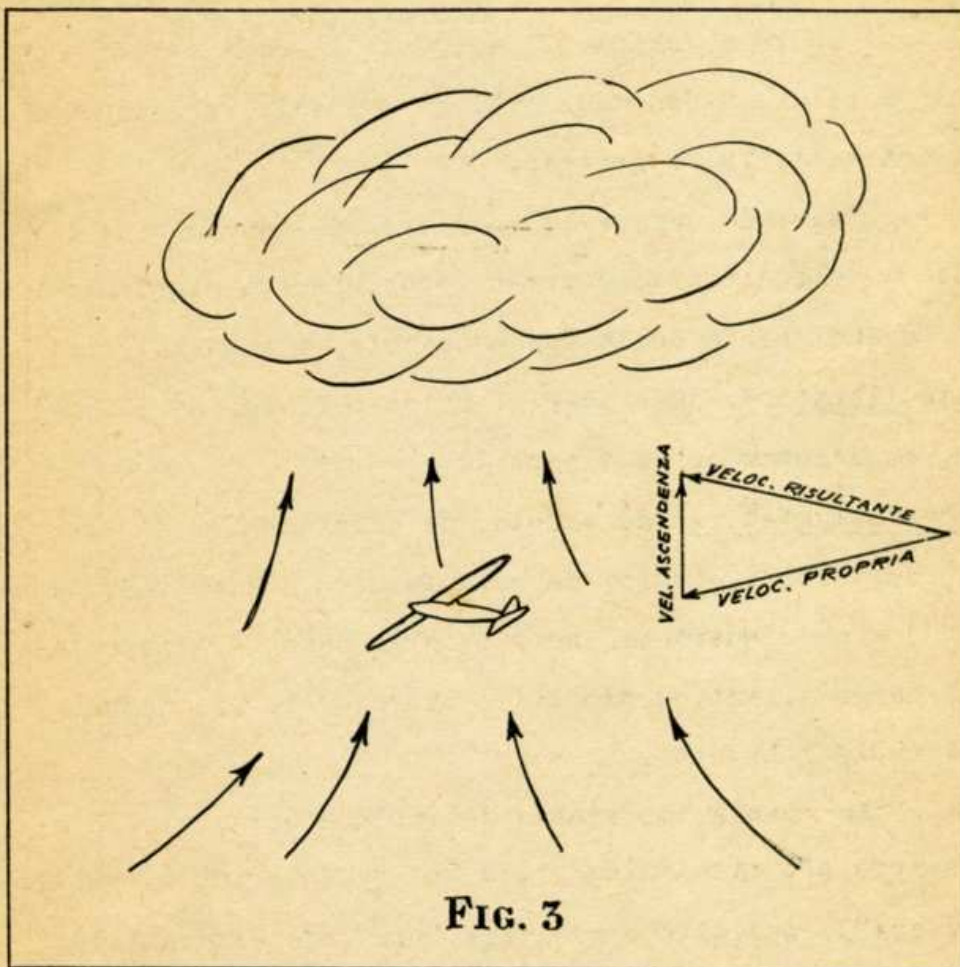


Il primo sfrutta la componente verticale della velocità acquisita da una massa di aria animata da movimento orizzontale (vento) qualora venga deflessa verso l'alto da un opportuno ostacolo.

In questa prima specie deve essere anche inclu-



so il volo sfruttante movimenti orizzontali dell'aria in base all'energia cinetica del velivolo; tale specie di volo non ha ancora però avuto alcuna pratica attuazione.



Il volo termico sfrutta invece movimenti verticali di colonne d'aria dovute a fenomeni vari, la cui de-

scrizione ed analisi ci porterebbe troppo lontano; si tratta in generale di movimenti provocati da differenze termiche.

Ciascuno dei tipi di aliante cui si è già accennato è nato da particolari esigenze di utilizzazione, esigenze cui deve senz'altro riferirsi chi si accinga allo studio di una nuova macchina. E' accaduto insomma, anche per il volo a vela, un fenomeno analogo a quello verificatosi per i motovelivoli in genere.

Seguendo dunque la suddivisione generale in libratori e veleggiatori, potremo ulteriormente menzionare, quali facenti parte delle due categorie, i seguenti tipi: aliante libratore: da scuola di primo periodo, da allenamento, da acrobazia, da trasporto; aliante veleggiatore: da scuola, da allenamento, da acrobazia, da volo di pendio, da volo termico, da primato, ecc.

Con riguardo al numero delle persone trasportate, si hanno alianti monoposti e pluriposti, fra i quali, più diffusi, i biposti.

La grande importanza del volo a vela, rivelatasi e sempre più rivelantesi, sia nel campo scientifico che in quello sportivo e militare, non deve essere illustrata in questa sede, data la limitazione che ci siamo imposti fin dal principio delle presenti note.

CARATTERISTICHE GENERALI DEGLI ALIANTI

Pressupponendo acquisita la conoscenza generica dei motovelivoli, si possono rilevare brevemente le principali differenze architettoniche dovute naturalmente alla diversa finalità delle due classi di velivoli considerate.

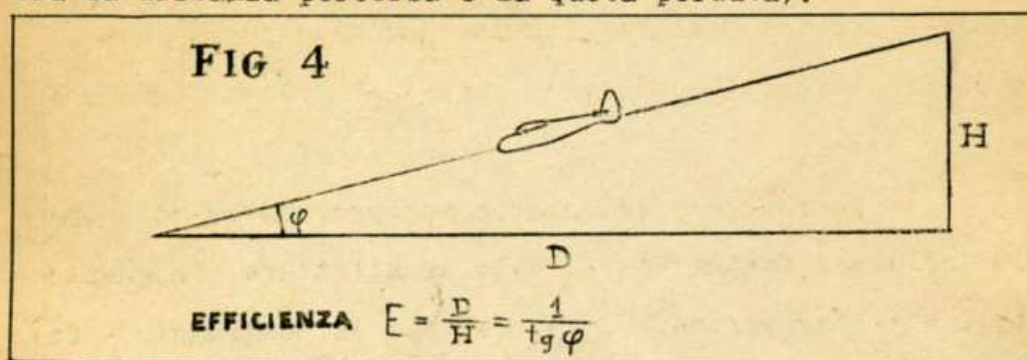
La mancanza del gruppo motopropulsore ad esempio influisce fortemente su tale architettura, in quanto obbliga all'avanzamento - per ragioni di centraggio - del posto di pilotaggio all'estrema prua.

Il minor peso a pieno carico, la limitata velocità di atterraggio e la piccola velocità di caduta, hanno consentito una radicale trasformazione, quasi una atrofizzazione degli organi di atterraggio e di involo, ridotti a un pattino o ad una ruotina con pneumatico a media pressione, a volte retrattile, accoppiata o meno.

In forma più o meno accentuata, a seconda delle varie specie, si nota negli alianti - in misura notevolmente superiore che non nei motovelivoli - la tendenza a forme aerodinamiche affinate; inoltre i carichi alari sono molto limitati; tendenza questa che si ripercuote anch'essa sull'architettura generale imponendo una superficie portante di dimensioni rilevanti rispetto agli altri organi.

Tale è poi l'importanza dell'apertura alare,

che essa è venuta a costituire un primo elemento di classificazione dei vari tipi di aliante, essendo in stretto legame con la loro efficienza o rapporto di planata (rapporto fra la distanza percorsa e la quota perduta).

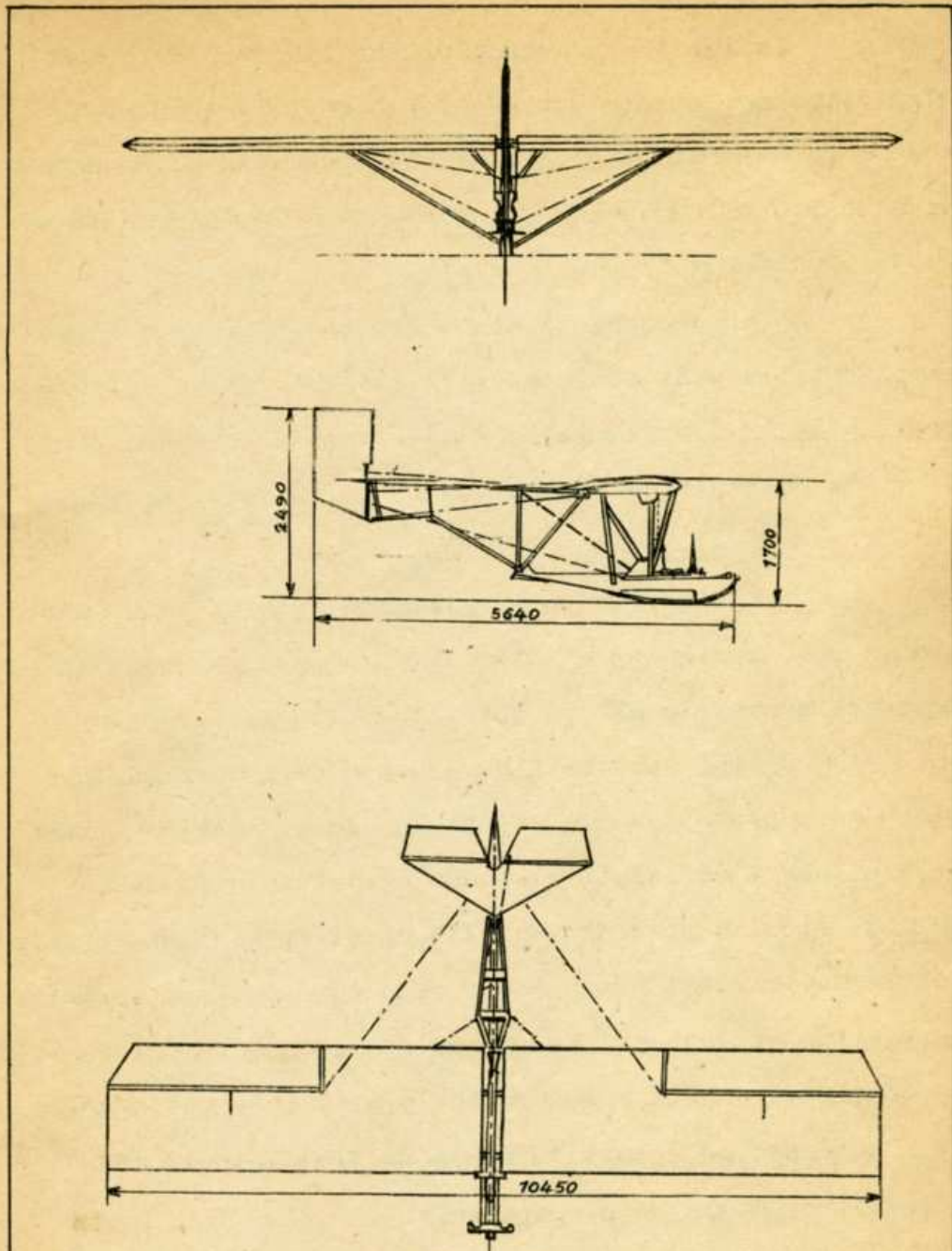


Quanto più infatti questo rapporto è elevato, a parità di ogni altra condizione, tanto più l'aliante sarà in grado di percorrere una maggiore distanza; non solo, ma l'aumento di efficienza comporta notevoli differenze in fatto di caratteristiche dinamiche e di pilotaggio.

#### Alianti liberatori.

Gli alianti liberatori sono generalmente impiegati per la scuola di volo librato (attestati A e B); il loro uso si estende però all'allenamento di piloti in possesso di tali attestati, al volo acrobatico, ecc.

I liberatori da scuola si possono a loro volta suddividere in liberatori da primo periodo e da secondo periodo. Si può dire che l'apparecchio da primo periodo universalmente adottato è il tipo "allievo" (Zögling) tedesco, o versioni varie dello stesso.



**FIG. 5**

APPARECCHIO BONOMI B S 16

" ALLIEVO BONOMI "

In questo apparecchio manca la fusoliera, il seggiolino del pilota è ricavato sopra il pattino e la coda è portata da una travatura; le ali sono rettangolari a scarso allungamento, controventate inferiormente e superiormente da fili di acciaio.

L'apparecchio è molto robusto, di costruzione semplicissima e di costo assai limitato; il suo impiego pratico si è rilevato molto soddisfacente sia dal punto di vista costruttivo che da quello del comportamento in volo.

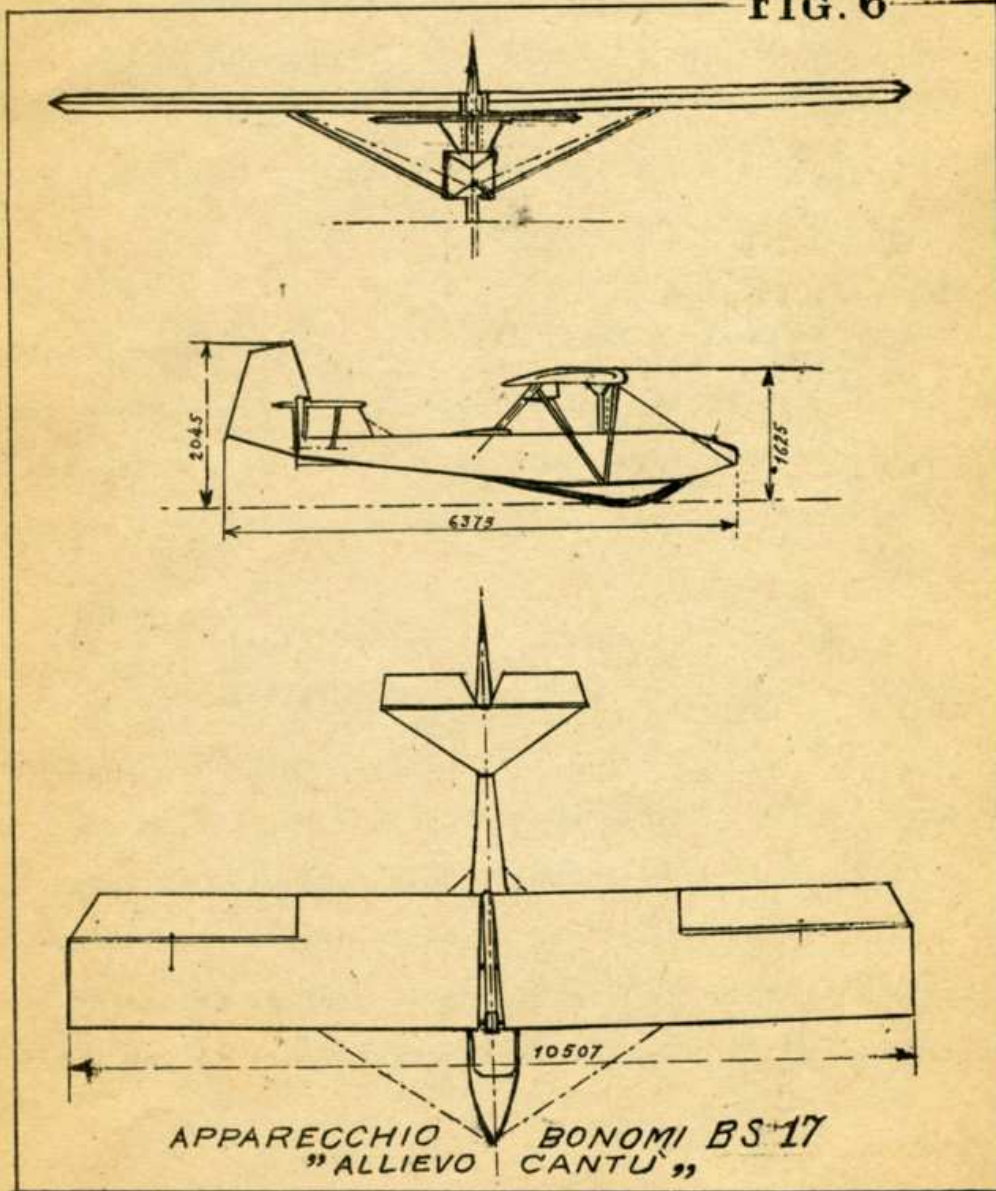
La sua efficienza si aggira intorno a 10, mentre il pilotaggio non è molto difficoltoso, essendo la macchina provvista di una notevole stabilità propria.

I tipi destinati al secondo periodo risentono più o meno profondamente l'influsso dello Zögling - loro progenitore - ed infatti qualche apparecchio di secondo periodo risulta unicamente dalla carenatura di uno Zögling mentre molti altri hanno più o meno le stesse superfici portanti e di manovra con l'aggiunta di una fusoliera molto semplice; questa è generalmente a sezione rettangolare o quadrata ed è costituita da un traliccio in legno rivestito in tela o in compensato.

Negli Stati Uniti, dove la tecnica delle costruzioni in tubo d'acciaio è molto diffusa, si hanno anche liberatori con fusoliera di questo tipo. A tale proposito rileveremo che negli Stati Uniti esistono numerosissimi

esemplari di una categoria detta "Utility" di tipica costruzione: ali bilongheroni quasi sempre rettangolari e fusoliera in tubo d'acciaio rivestito in tela; tali apparecchi più che per scuola, sono usati per sport, essendo quasi tutti forniti di qualche dote acrobatica. Si tende però in essi ad una certa efficienza che consenta il volo veleggiato.

FIG. 6



La categoria libratori da allenamento è costituita di massima da libratori da scuola di secondo periodo leggermente affinati e variati essenzialmente negli organi di manovra, onde consentire una maggiore maneggevolezza.

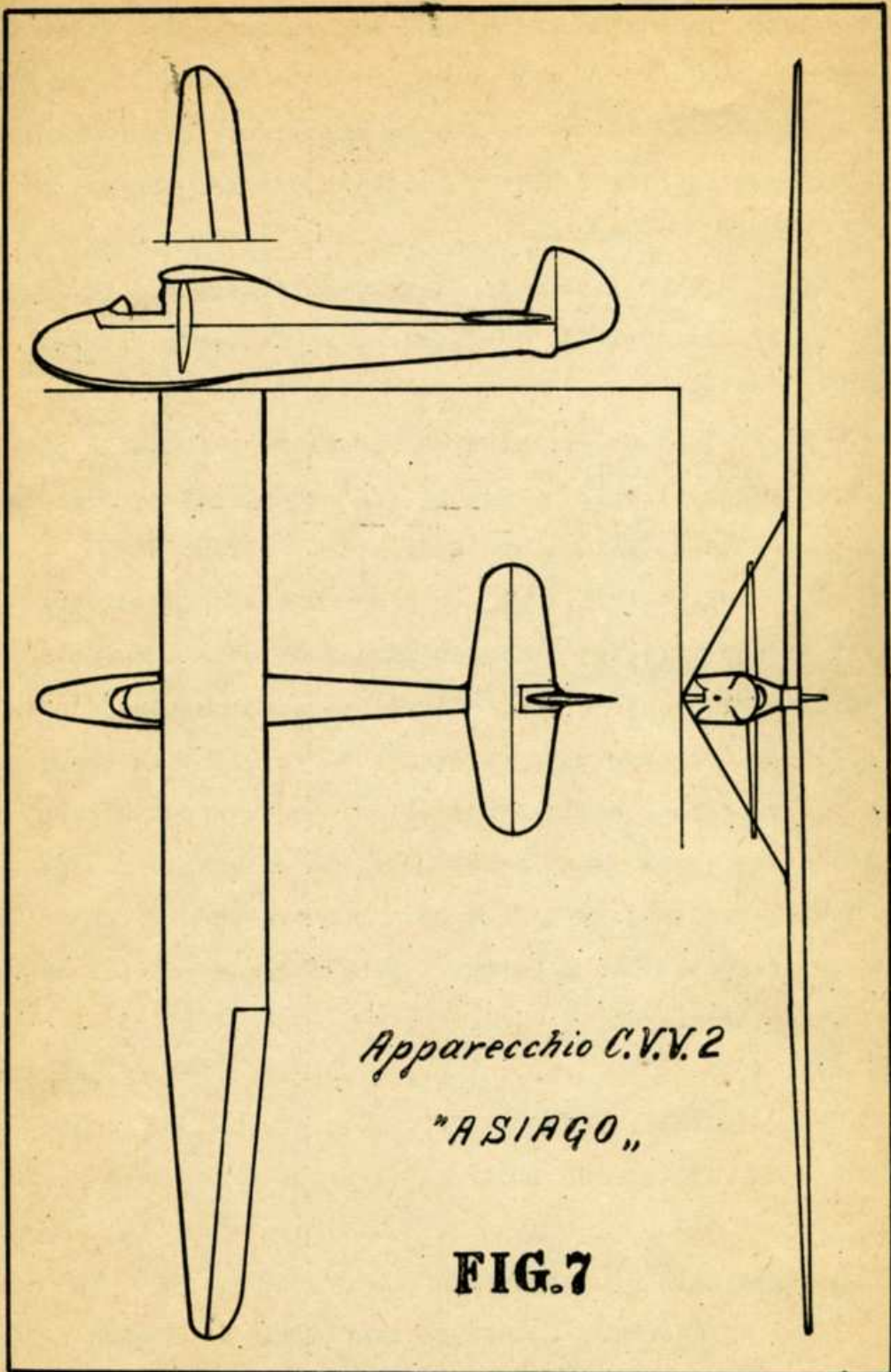
Possiamo così riassumere le caratteristiche comuni agli alianti libratori: ali rettangolari a profilo costante, struttura bilongherone, massima semplicità di costruzione al fine di consentire la riproduzione e la riparazione anche in officine poco attrezzate e da parte di maestranze non specializzate o, addirittura, da parte degli stessi allievi del corso pilotaggio.

#### Alianti veleggiatori.

Se negli alianti libratori abbiamo riscontrato una certa uniformità, nei veleggiatori invece esiste una grande varietà di tipi, tale da renderne difficoltosissima la classificazione e un'elencazione anche solo approssimativa.

La sola categoria dei veleggiatori da scuola (brevetto C) sembra abbia assunto caratteristiche particolari e definitive. Tali veleggiatori hanno tutti infatti presso a poco la seguente architettura: ali monolongheroni controventate mediante un solo montante, di forma, in pianta, rettangolare per un certo tratto e rastremata verso l'estremità con variazione di profili intesa ad ottenere una buona maneggevolezza trasversale ed una forte





*Apparecchio C.V.V.2*

*"ASIAGO"*

**FIG.7**

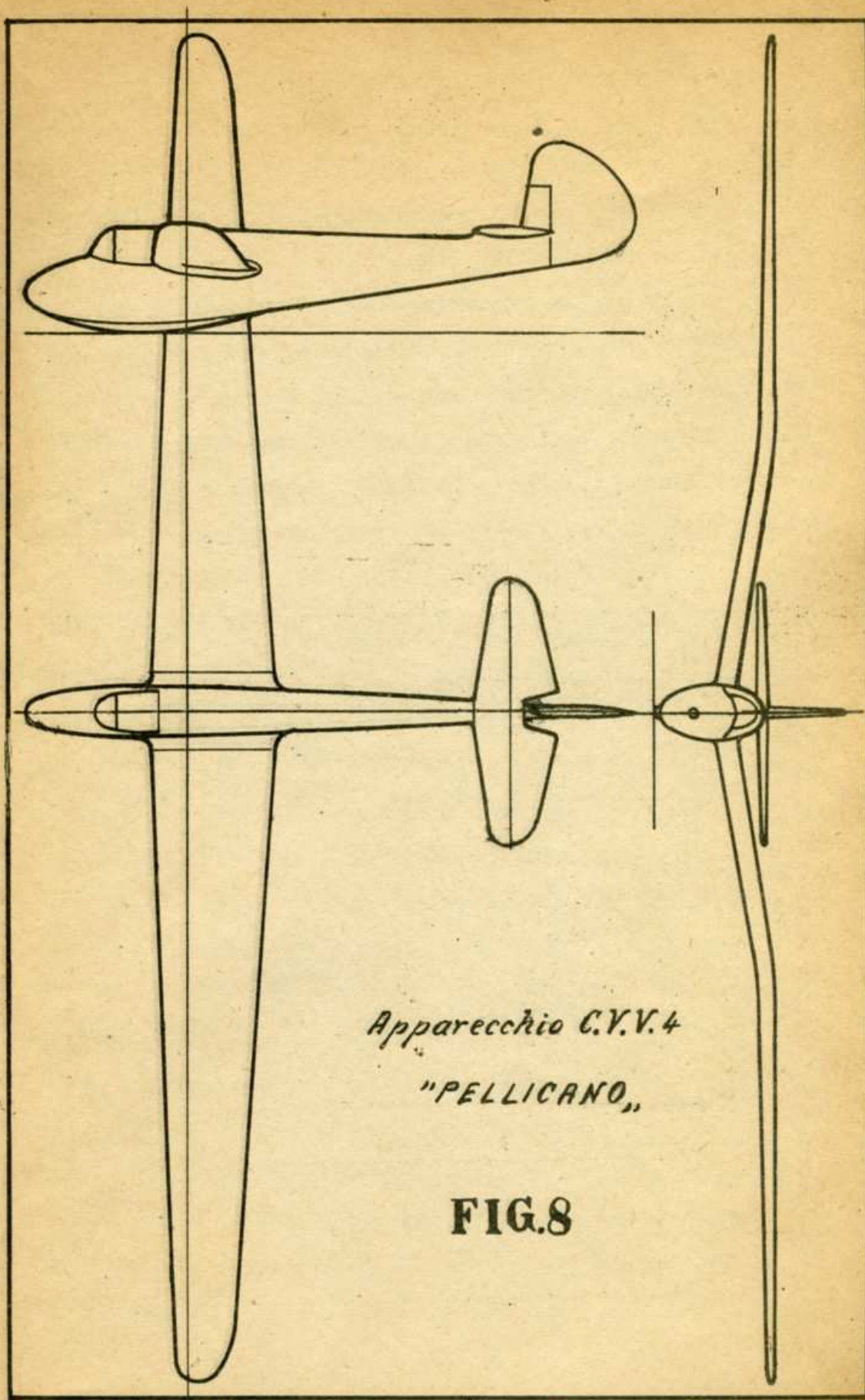
stabilità; fusoliera poligonale con rivestimento in compensato; posto di pilotaggio quasi totalmente chiuso; buona dotazione di strumenti; buona manovrabilità; rapporto di planata intorno a 20; velocità di discesa aggirantesi sul metro al secondo.

A tale classe di alianti appartengono: il "Grunau Baby", il "Wolff", il "Komar", l'"Hutter", oltre al nostro "Asiago".

Tali veleggiatori si prestano a tutte le specie di volo veleggiato, nonché all'acrobazia; generalmente il loro decollo avviene mediante il traino aereo.

Gli altri tipi non possono essere catalogati; si è andata però, in questi ultimi tempi, delineando una classe a sé stante che si può chiamare "olimpionica"; tale classe è in sostanza definita dal regolamento emanato per il concorso dell'aliante olimpionico; bisogna però notare che questo regolamento è stato originato da una tendenza costruttiva di cui esso non era che il concretamento ufficiale. Le caratteristiche fissate sono le seguenti:

"	apertura alare . . . . .	m	15
	peso a vuoto . . . . .	.Kg.	160
	carico utile . . . . .	"	95
	altezza abitacolo pilota . . . . .	m	1,80
	larghezza " " . . . . .	m	0,60
	coefficiente di robustezza . . . . .		10
	freni aerodinamici, massima semplicità di costruzione, ecc. ecc. "		



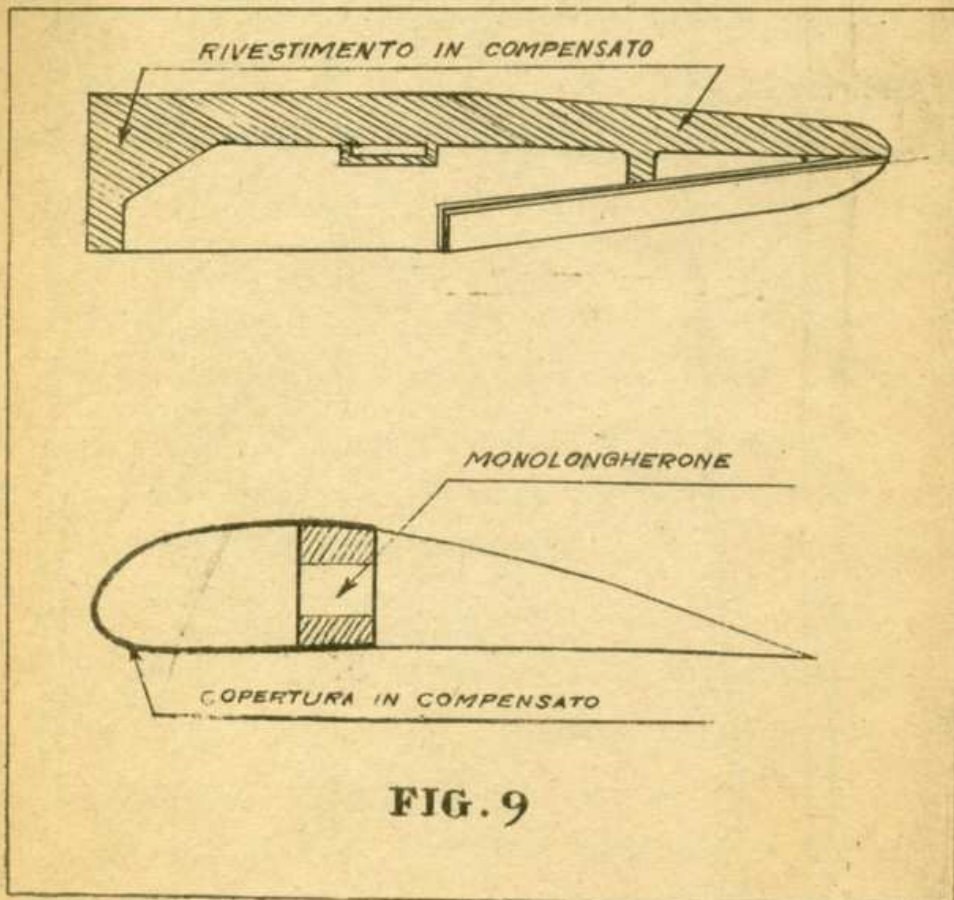
*Apparecchio C.V.V.4*  
*"PELLICANO,"*

**FIG.8**

Sistemi costruttivi.

Vediamo ora in generale quali sono i sistemi costruttivi in uso per gli alianti.

Per quanto riguarda l'ala, la necessità dell'impiego di forti allungamenti, ha portato alla ben nota struttura monolongherone; con essa infatti è possibile collocare il longherone in corrispondenza del massimo spessore del profilo, mentre i momenti torcenti vengono assorbiti dal rivestimento in compensato del bordo d'attacco.



Tale struttura che ha avuto origine con gli alian-  
ti tipo "Pelikan", "Wampir" e simili dell'immediato dopo  
guerra, domina ancora incontrastata in quasi tutte le co-  
struzioni.

L'unica variante apportata è data dall'estensio-  
ne del rivestimento in compensato fino ad un longherone po-  
steriore, non contribuente alla flessione, allo scopo di  
aumentare la rigidità a torsione in ali eccezionalmente  
allungate.

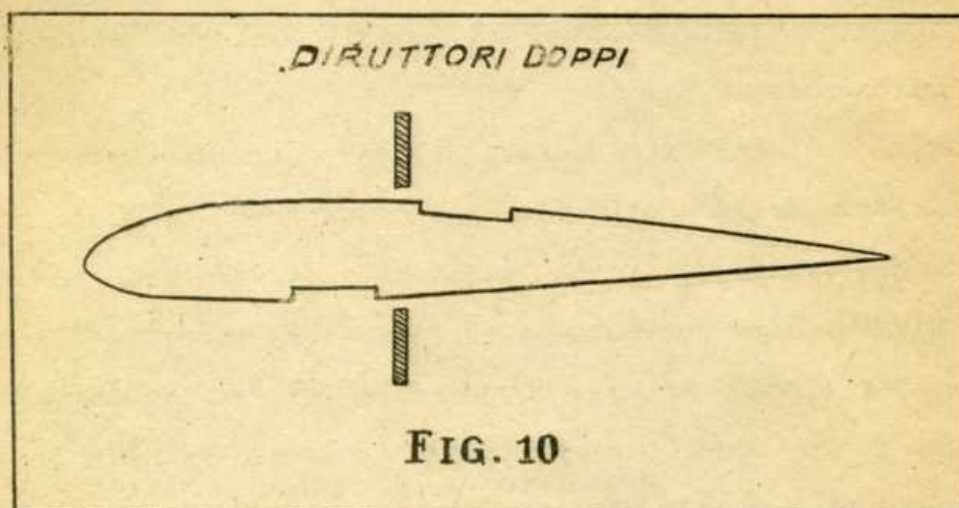
Per la fusoliera si usa generalmente il tipo se-  
mi-monoguscio costituito da ordinate a forma tondeggianti  
con rivestimento in compensato. In qualche esemplare si è  
ricorsi alla costruzione su stampo del rivestimento di  
forma particolarmente complessa e poco sviluppabile.

Dove la genialità e la finezza dei vari costrut-  
tori si è andata sbizzarrendo, è invece il campo degli at-  
tacchi e dei comandi. Data la necessità di effettuare il  
montaggio e lo smontaggio di un aliante in un tempo ristret-  
tissimo (che si tende sempre a diminuire, tanto che si con-  
sidera normale uno smontaggio effettuato in  $3/4$  minuti) si  
sono visti costruire degli attacchi nelle forme più varie.  
Leve autobloccanti, spinotti ad innesto rapido, comandi  
che si congiungono fra soli, ecc. sono un campo di studio  
particolarmente interessante ed in cui si può notare qual-  
che soluzione estremamente geniale e di non poca arditezza.

Per quanto riguarda i comandi se ne ricercano  
essenzialmente la dolcezza di funzionamento e la leggerezza.

za; perciò specialmente in ali a forte allungamento con alettoni lunghissimi, si va estendendo l'impiego di comandi rigidi.

Altre particolarità il cui uso si va generalizzando, sono costituite da carrelli di atterraggio retrattili, alettoni di curvatura, fowler, compensatori, diruttori, ecc.



I diruttori costituiscono anzi degli apporti dalla tecnica volovelistica a quella aeronautica in genere; infatti essi furono sperimentati ed usati sugli alianti, molto tempo prima che il loro impiego venisse esteso ai motovelivoli. Tali congegni hanno tratto origine dalla necessità di poter agire, peggiorandola, sull'efficienza - il cui valore rappresenta tutto il rendimento degli alianti - e che, in atterraggio e nella navigazione in condizioni di tempo molto cattive, diviene qualità negativa. Ciò poi è divenuto indispensabile per i veleggiatori di alte caratteristiche, la cui efficienza raggiunge

valori altissimi ( $30 \frac{1}{7}$  33). I diruttori, peggiorando a volontà le caratteristiche aerodinamiche, permettono una più facile entrata in campo; diruttori poi di notevoli dimensioni, non consentono all'aliante di raggiungere delle velocità pericolose.

### LA PRATICA DEL VOLO.

#### Sistemi di lancio.

Uno dei problemi essenziali per il volo a vela, è rappresentato dal mezzo estraneo occorrente per staccare l'aliante da terra e portarlo ad una certa quota.

Effettivamente al libratore occorre una quota iniziale per compiere il suo volo planato, mentre al veleggiatore ciò è essenziale perchè sia possibile la ricerca di una opportuna ascendenza.

Vari sono i mezzi escogitati allo scopo suddetto, e trascuriamo qui quelli caduti in disuso, oppure molto particolari, per parlare solo di quelli di uso normale.

Sistema molto diffuso per i libratori, specialmente di primo periodo, è il lancio mediante cavi elastici; questo sistema, in Italia totalmente abbandonato, è molto in uso specialmente per il lancio di libratori di primo periodo in Germania ed in altre Nazioni.

L'apparecchio viene fissato al suolo ed al gancio di traino viene incocciato un anello da cui partono

due cavi elastici che vengono tesi successivamente con sistemi vari, e quasi sempre a mano. Quando ai cavi si è data la tensione prefissata, si sgancia l'apparecchio da terra e questo viene proiettato in aria. I vantaggi di questo sistema si possono riassumere nell'economia iniziale e di esercizio e nella semplicità di utilizzazione, nonché nella necessità di uno spazio assai ridotto per il decollo dell'aliante (una striscia di pochi metri di lunghezza) dato il distacco immediato dal terreno. Per contro molti sono gli svantaggi: in primo luogo la forte accelerazione iniziale può compromettere l'integrità del materiale e le facoltà del pilota; fa poi difetto la quota che l'aliante, malgrado la violenza del lancio, può raggiungere e che è sempre esigua (20/30 metri); in terzo luogo la posizione degli organi di manovra in partenza assume una soverchia importanza; infatti, mentre con partenza graduale il pilota ha il tempo di sentire l'assetto dell'aliante e di manovrare in conseguenza, nel lancio con cavi elastici occorre verificare che la posizione del timone di profondità venga accuratamente regolata in partenza, poichè nei primi istanti sarà quasi impossibile reagire nel modo dovuto.

Il cavo elastico è perciò impiegato limitatamente a lanci di intensità non rilevante e su terreno collinoso o montagnoso dove non è facile trovare campi di dimensioni sufficienti e dove, con un lancio affatto violento effettuato da un conveniente pendio, possono essere effettuati voli di una certa lunghezza.



Un sistema usato abbastanza frequentemente, ma quasi esclusivamente in America, consiste nell'auto-traino, ovvero nel rimorchio di un aliante da parte di un automobile potente collegata da un cavo di acciaio di lunghezza sufficiente (1000/3000 mt.); con questo sistema si possono raggiungere quote notevoli, aggirantesi intorno ai 300/500 mt. Occorre però che il campo sia sufficientemente vasto e che il mezzo sia dotato di esuberante potenza.

Un sistema più economico e più adatto, adottato su larga scala in Italia, è il lancio con verricello. Esso consiste essenzialmente nel rimorchio dell'aliante da parte di un cavo di acciaio che si avvolge su un tamburo messo in rotazione dal motore di un automobile. Detto sistema è il più economico in quanto che tutta la potenza del motore è adoperata esclusivamente per rimorchiare l'aliante (salvo le perdite per trasmissioni), mentre nell'auto-traino un'aliquota notevole è spesa per far correre inutilmente l'automobile.

Il sistema a verricello è stato da noi lungamente sperimentato ed è ora perfettamente a punto. Con questo mezzo le scuole italiane hanno effettuato parecchie migliaia di lanci con esito soddisfacente.

La quota che si raggiunge con un aliante libratore da scuola si aggira intorno ai 150/250 metri, ed è perfettamente sufficiente per un volo di 2/3 e più mi-

nuti, adatto senz'altro al conseguimento dell'attestato B.

Per allenamento, acrobazia, e scuola di brevetto C., nonché per la pratica del volo veleggiato, viene da noi quasi esclusivamente adottato il sistema dell'aero-traino. Mentre il lancio a verricello in pianura non porta infatti a risultati soddisfacenti, data la quota molto modesta, e poichè non si è trovato da noi un terreno montagnoso adatto ad un conveniente lancio di veleggiatori col sistema a cavo elastico, il sistema di traino aereo si è rivelato il più soddisfacente per raggiungere una quota sufficiente all'inizio del volo veleggiato anche in pianura. Tale sistema ha anche il vantaggio di non richiedere rilevanti esigenze di organizzazione a terra.

La quota raggiunta mediante il sistema aero-traino è ovviamente variabile a volontà del pilota; normalmente ci si aggira tra i 300 e i 1200 mt.

Non staremo a parlare particolarmente delle modalità di questo sistema di lancio in quanto ciò non ci riguarda direttamente; è bene ad ogni modo tener presente nel progetto dei veleggiatori che il loro decollo avverrà quasi esclusivamente per mezzo di aero-traino.

#### Il volo veleggiato.

Le esigenze di utilizzazione degli alianti, come si è detto, si ripercuotono in misura notevole sulle

caratteristiche generali dell'aliante stesso e questa ripercussione verrà esaminata più estesamente in apposito capitolo.

Vediamo ora piuttosto di renderci conto delle condizioni in cui avverrà il volo dell'aliante, riferendoci quasi esclusivamente agli alianti veleggiatori.

Innanzi tutto sarà bene notare che, contrariamente a quanto avviene per l'aviazione turistica e da trasporto, il volo a vela cerca il cattivo tempo, o meglio cerca le condizioni in cui si abbiano degli spostamenti di masse d'aria; senza questi spostamenti infatti il volo veleggiato sarebbe impossibile. Si vola quindi, ad esempio, nelle ore meridiane delle giornate di primavera e d'estate, quando più forte è la turbolenza dell'aria che rivela in tal modo la presenza di colonne ascendenti; si veleggia nei pressi o addirittura dentro a nuvole di origine e di caratteristiche convenienti; infine si veleggia sui fronti temporaleschi; il che conferma a maggior ragione che il volo a vela ricerca le condizioni generalmente sfuggite dai voli a motore.

Queste condizioni di volo influiscono notevolmente sul progetto e la costruzione dei veleggiatori e perciò non saranno mai raccomandate sufficientemente alcune norme prudenziali nella progettazione dell'aliante stesso. Infatti i colpi che vengono incassati dai veleggiatori sono piuttosto rudi ed il dimensionamento costruttivo dell'aliante deve essere fatto con margini sufficienti

temente estesi.

Sarà bene inoltre cercar di ottenere la massima maneggevolezza possibile onde far fronte alla turbolenza atmosferica, e di sviluppare tutti quegli accessori che possono costituire una fonte di sicurezza, quali i diruttori, limitatori di velocità, nonchè una strumentazione appropriata.

Come abbiamo visto, il veleggiamento può avere due origini: volo di pendio e volo termico.

Il volo di pendio è generalmente più facile, e meno turbolento ed è per questo che si cerca possibilmente di far eseguire le scuole di brevetto C. con veleggiamento di pendio.

La tecnica del volo di pendio non è molto difficile e richiede più che altro una profonda conoscenza del terreno sottostante: è però da osservare che il volo di pendio consente di raggiungere quote non molto elevate e permette unicamente voli di durata, mentre per effettuare voli di quota e di distanza è necessario far ricorso al volo termico, comprendendo nel volo termico anche il volo temporalesco.

Il volo termico di distanza consiste essenzialmente nel prendere quota sotto un cumulo e nel planare fino alla ricerca di un secondo cumulo che servirà a riprendere quota e così via. Tutto questo è essenzialmente semplice, ma richiede notevole abilità di pilotaggio e

grandi conoscenze di metereologia e di navigazione aerea. Inoltre in questi voli di distanza, generalmente l'atterraggio viene effettuato in un punto qualsiasi non previsto in partenza, ciò che implica l'atterraggio fuori campo e richiede pertanto le migliori qualità da parte del pilota e da parte dell'aliante.

Queste poche righe, dedicate alla pratica del volo veleggiato, potrebbero a prima vista sembrare inutili od almeno fuori argomento; ma è bene che chi si accinge a progettare e a costruire l'aliante, sappia le condizioni di impiego dell'aliante stesso e provveda quindi in conseguenza.

Ad esempio si ricorda come sia condizione essenziale il consentire una comoda installazione del paracadute ed una grande facilità di sgancio della capottina e di fuoruscita del pilota col paracadute. Nel disegno costruttivo deve essere tenuto conto - nei riguardi dell'incolumità del pilota - della possibilità di atterraggi fuori campo con distruzione parziale o totale della macchina.

Senza d'altronde voler esaminare solamente ipotesi catastrofiche - da tenersi tuttavia doverosamente presenti - sarà bene considerare come ugualmente sia importante ed interessante nella costruzione dell'aliante, l'istallazione di tutti gli accessori e strumenti che consentano una comoda manovra ed un agevole soggiorno nella cabina di pilotaggio, anche per un tempo notevole. Fra

queste norme rientra naturalmente lo studio della visibilità, dell'accessibilità, ecc.

#### EVOLUZIONE NEL PROGETTO DI ALIANTI

Nei primi alianti, la dote più richiesta era la leggerezza, dote mediante la quale era infatti possibile ottenere una piccola velocità di discesa. Successivamente, quando si vide di quale entità poteva essere l'incremento di efficienza dato dall'allungamento, si cominciarono a costruire alianti di un certo allungamento (10/12) anche se di peso superiore; il concetto però di ottenere la massima leggerezza restava espresso dalla presenza di controventature esterne dell'ala e dalla semplicità costruttiva di tutti gli elementi del velivolo.

Non si parlava ancora di raggiungere grandi distanze od almeno la velocità su tali distanze non era considerata; perciò la dote essenzialmente richiesta era quella della minima velocità di discesa.

Verso il 1928 le caratteristiche dei migliori alianti erano:

ali di notevole allungamento (15-20);

carico alare molto basso (12-14 kg. per mq.);

fusoliera notevolmente affinata ed una certa fragilità di tutto il complesso;

velocità di discesa molto buona (per i migliori veleggiatori 50 - 55 cm. al secondo);

impiego di profili spessi molto curvi;  
costanza di profili e di incidenza lungo tutta l'apertura.

Tali alianti presentavano, come abbiamo visto, ottimi valori della velocità di discesa; i loro difetti però erano i seguenti:

enorme inerzia trasversale e quindi deficienza rilevantissima di maneggevolezza attorno all'asse longitudinale; deficienza generale dei comandi data, fra l'altro, dal basso valore della velocità orizzontale;

In seguito, visto che la poca maneggevolezza e la poca robustezza dell'aliante non consentivano il volo temporalesco che si era rivelato allora come il più redditizio, si è tornati ad allungamenti più modesti (attorno al 15), con carico alare notevolmente superiore in modo da permettere margini più larghi di robustezza e velocità di traslazione più elevata: contemporaneamente lo studio di ali a profili variabili permetteva di risolvere il problema della maneggevolezza trasversale.

Alianti così concepiti presentavano rispetto ai predecessori una velocità di discesa notevolmente maggiore (attorna ai 70 cm. al secondo): tale maggiore velocità di discesa veniva compensata dalla maggiore maneggevolezza e dalla maggiore rapidità di movimenti che consentivano spostamenti in tempo utile da una località all'altra.

La maggiore velocità orizzontale era anche richiesta da una condizione di vitale importanza: infatti il tempo occorrente per percorrere grandi distanze era relativamente elevato con gli alianti di una volta (per coprire ad

es. una distanza di circa 500 km. ad una velocità media di 50 km. all'ora, si richiedono 10 ore di tempo). Ora, poichè la durata delle condizioni atmosferiche favorevoli si aggira appunto sulle 8-10 ore giornaliere, per aumentare le distanze potenzialmente percorribili, era necessario aumentare la velocità di crociera.

Tale provvedimento ha portato alle soluzioni più moderne di alianti, con profili poco curvi che hanno buone caratteristiche a piccola incidenza e quindi velocità orizzontali abbastanza elevate. Poichè però l'impiego di tali profili con carico alare elevato porta ad una velocità verticale troppo forte, si tende ora a diminuire il carico alare oppure ad esagerarlo fortemente usando profili piuttosto curvi ed il sistema della zavorra mobile. Poichè come è noto il rapporto di planata non dipende dal carico alare, si fa in modo che l'aliante, partendo in buone condizioni di tempo, porti con sè un carico (generalmente acqua) da poter gettare in volo. Ciò consente una navigazione a velocità elevata fintanto che le condizioni permangono buone; quando però le ascendenze diminuiscono di intensità, il pilota può, liberando l'aliante dalla zavorra, far riacquistare all'aliante una velocità di discesa più bassa che gli permetta nuovamente lo sfruttamento di tali ascendenze generalmente serali, riducendo per contro la velocità orizzontale: condizioni queste assai importanti per l'atterraggio generalmente effettuato fuori campo.

---



PARTE SECONDA

P R E M E S S A

Lo scopo dei presenti appunti impone che non si abbia ad approfondire eccessivamente lo studio di alcuni fenomeni aerodinamici, mentre altri si supporranno senz'altro già acquisiti da parte del lettore; la trattazione sarà al tempo stesso resa semplice e piana, con la introduzione di alcune limitazioni e semplificazioni che saranno poste di volta in volta.

L'ALA

Reazione aerodinamica

In conseguenza del moto relativo fra un solido e l'aria che lo circonda, si genera una forza applicata al solido stesso, risultante di tutte le pressioni agenti sul solido; tale forza viene denominata "risultante aerodinamica" e sarà di seguito indicata con la lettera F.

Per la maggior parte delle considerazioni che seguiranno sarà sufficiente la determinazione di tale ri-

sultante aerodinamica, senza preoccupazione alcuna circa la distribuzione delle pressioni.

La reazione aerodinamica  $F$  è funzione dei seguenti fattori:

- Densità dell'aria -  $\rho$  - (massa dell'unità di volume);
- Dimensioni del solido considerato -  $S$  - (più precisamente si fa riferimento all'area di una sezione o proiezione comunque prefissata);
- Velocità relativa -  $V$  -
- Forma del solido e suo orientamento rispetto alla direzione del vettore velocità -  $C$  -

La relazione che lega questi fattori è la seguente:

$$F = C\rho S V^2 \quad (1)$$

Le unità di misura dei termini dell'equazione sono i seguenti:

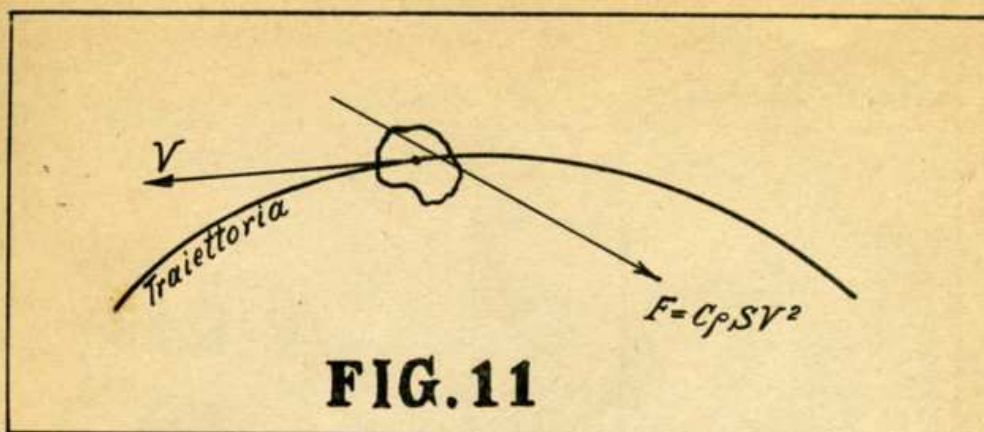
$$F = \text{kg} \quad C = \text{coeff. adimensionale} \quad \rho = \text{kg m}^{-3} \text{S}^{-2} \quad S = \text{m}^2 \\ V = \text{m S}^{-1}$$

Considerando il moto relativo fra il corpo e l'aria chiameremo, per quanto impropriamente, con "direzione della traiettoria" la direzione del moto relativo. Si badi che tale traiettoria non coincide generalmente con la traiettoria rispetto al terreno; coincide solo nel caso di calma

---

(1) Nell'applicazione dell'aerodinamica ai nostri scopi la ipotesi che la risultante  $F$  dipenda dal quadrato della velocità è pienamente giustificabile.

assoluta.



Occorre altresì ricordare che d'ora in poi, quando non sia altrimenti specificato, assumeremo come riferimento la direzione della traiettoria.

#### Portanza e resistenza

Un solido il cui comportamento è particolarmente interessante ci è dato dall'ala.

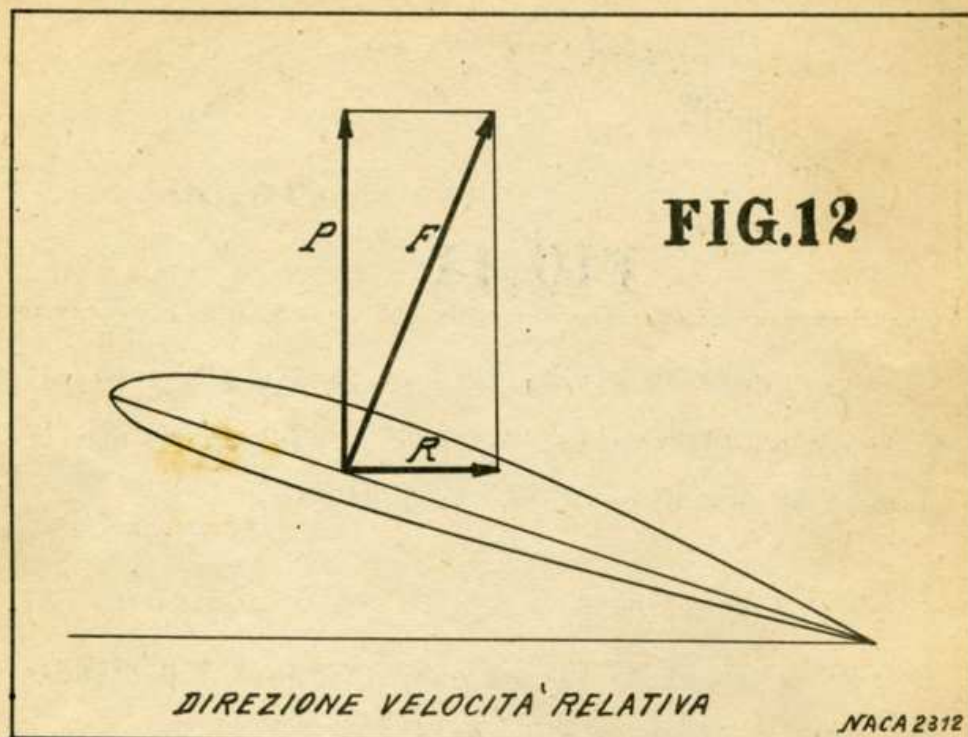
Indichiamo col nome di profilo alare o più semplicemente profilo, la forma di una sezione dell'ala parallela alla direzione del moto relativo.

Limitiamoci per ora al piano contenente il profilo (e quindi anche la direzione della velocità relativa) ed ammettiamo che le forze che considereremo giacciono su questo piano.

La forza  $F$  risultante applicata al profilo si può scomporre per nostra comodità in due componenti; una  $R$  nella stessa direzione del vettore velocità, una  $P$  ad

esso perpendicolare.

Chiameremo Resistenza la prima componente, Portanza la seconda.



Questa seconda componente è quella che permette il volo dinamico, essa infatti permette di equilibrare il peso del velivolo.

Analogamente alla prima equazione scritta, la resistenza e la portanza vengono espresse dalle seguenti:

$$R = C_r \rho S V^2$$

$$P = C_p \rho S V^2$$

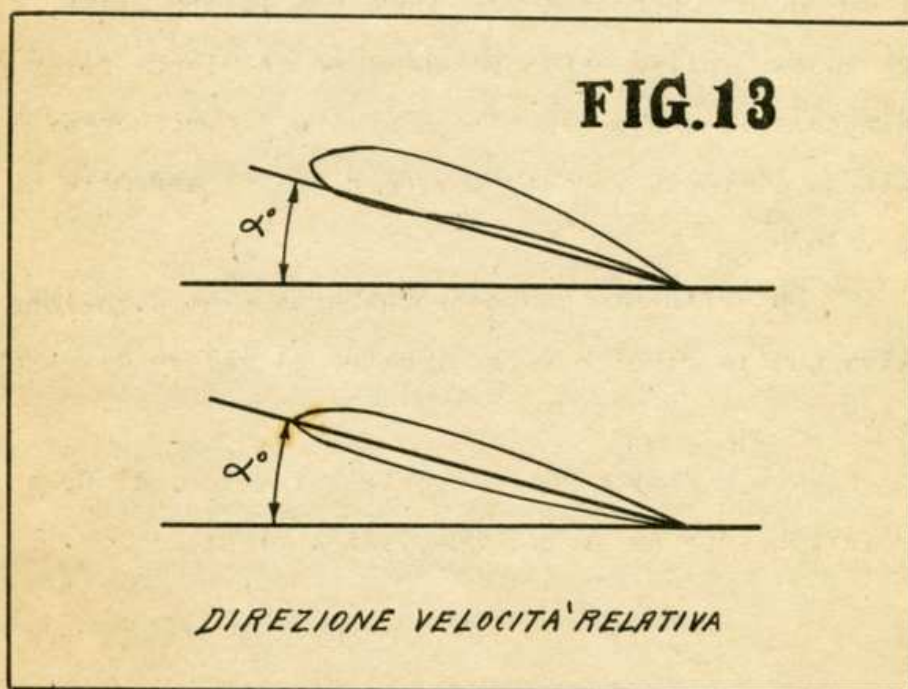
dove i coefficienti  $C_r$  e  $C_p$  (coefficienti di resistenza e di portanza) sono adimensionali.

Le forme dei profili sono svariatissime, da quelli sottili piani o curvi delle prime ali dei precursori,

fino ai più moderni razionalmente studiati.

Le caratteristiche di questi vari profili rappresentano quasi un compendio del progresso dell'aerodinamica, la quale, giova ricordarlo, è nata si può dire dopo l'aeroplano.

La sperimentazione pratica dei profili, ha portato alla determinazione vettoriale della risultante in funzione dell'angolo che tale profilo forma con la traiettoria. Si badi che per definire tale angolo, occorre fissare un asse convenzionale sul profilo; tale asse può essere quello che congiunge i due punti più distanti del profilo (corda) oppure la tangente inferiore al profilo stesso ecc. ecc.



L'angolo così definito, viene indicato col nome di "angolo di incidenza" ed il suo simbolo è  $\alpha$  mentre la sua grandezza è espressa solitamente in gradi sessagesimali.

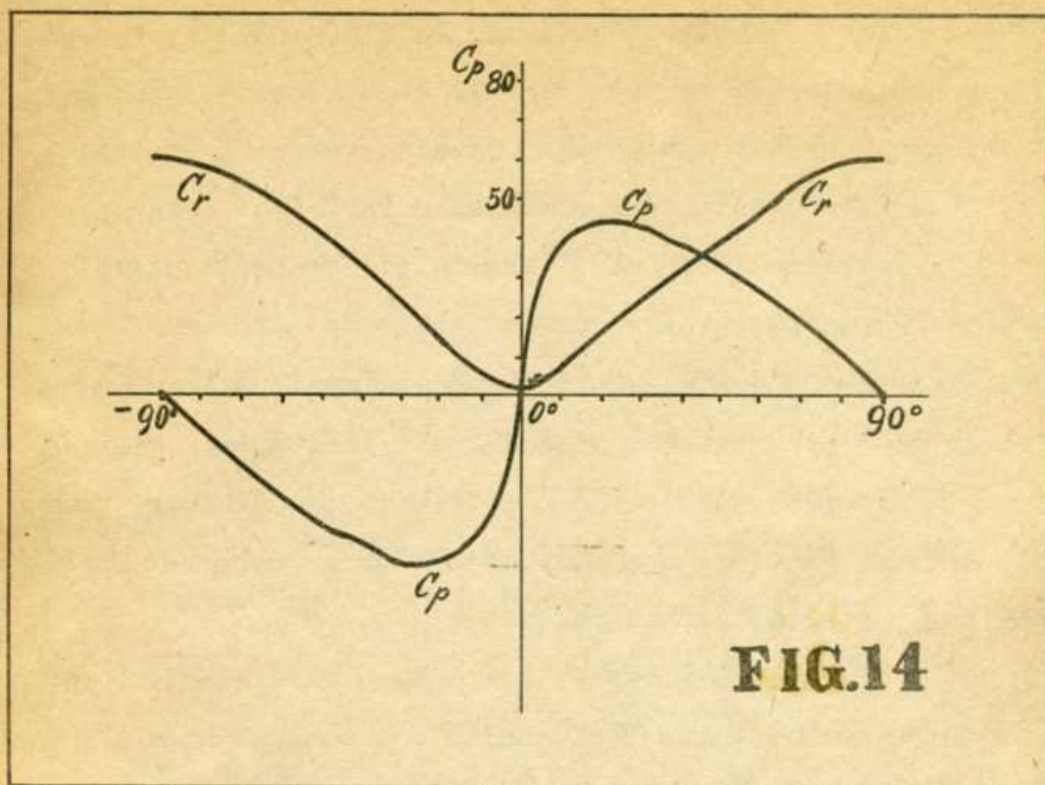
Questo angolo viene spesso indicato col nome di "assetto", il che esprime l'idea dell'orientamento della ala rispetto alla traiettoria.

Ciò posto, portiamo in un diagramma cartesiano sull'asse delle ascisse i valori di  $\alpha$  e su quella delle ordinate i valori di P ed R; costruiamo coi dati sperimentali le due curve rappresentatrici delle due funzioni e passiamo al loro studio.

Limitiamo le nostre osservazioni ai valori di  $\alpha$  compresi fra meno  $90^\circ$  e più  $90^\circ$ . A circa meno  $90^\circ$  l'ala si comporterà presso a poco come una lastra piana, cioè P sarà nulla, mentre sarà presente, ed in misura notevole, R. Diminuendo in senso relativo l'angolo di incidenza, la resistenza diminuirà, mentre P comincerà ad assumere un certo valore.

Se definiamo convenzionalmente come direzione positiva quella rivolta verso l'alto, il valore di P sarà negativo.

Nella figura sono riportati i valori di  $C_p$  e di  $C_r$  in funzione di  $\alpha$  per una lastra piana.



**FIG.14**

Continuando a diminuire l'incidenza, diminuisce la resistenza e  $P$ , dopo essere passata per un valore massimo, tornerà a decrescere. Continuando ad aumentare l'incidenza in senso assoluto, si passa attraverso due punti singolari molto vicini per quanto, in generale, non coincidenti. Essi sono rappresentati dall'angolo per cui si annulla nuovamente la portanza, e dall'angolo per cui la resistenza è minima.

Da questo punto, aumentando ancora l'incidenza, arriveremo ad un altro punto importante che corrisponde alla portanza massima positiva. Da qui la portanza decresce nuovamente, mentre la resistenza aumenta fino ad arrivare ad un angolo prossimo al  $90^\circ$  per cui sarà di nuovo

tornata nulla P e molto grande la resistenza.

Passeremo ad esaminare il comportamento dell'ala nei punti caratteristici più avanti; comunque un'osservazione assai importante è necessario fare fin d'ora.

Abbiamo detto che l'angolo di incidenza viene riferito ad un certo asse convenzionale del profilo. Ora invece abbiamo degli elementi che ci permettono di definire in modo più esatto tale angolo di incidenza.

In generale possiamo costruire per un dato profilo un'asse per cui, quando la traiettoria coincide con tale asse, è nullo il valore di  $C_p$ .

Le incidenze riferite a questo asse hanno un fondamento aerodinamico ben stabilito e vengono indicate col nome di "incidenze assolute".

La conoscenza delle caratteristiche di portanza e di resistenza di un'ala di date dimensioni per una certa densità dell'aria e per una determinata velocità relativa, ci permettono di calcolare le caratteristiche di un'ala qualsiasi di uguale profilo in base alle equazioni fondamentali:

$$P = C_p \rho S V^2 \qquad R = C_r \rho S V^2$$

E' quindi intuitivo che non interessa tanto conoscere il valore della portanza e della resistenza di un'ala particolare, quanto i rispettivi coefficienti adimensionali  $C_p$  e  $C_r$  che si ricavano dalla sperimentazione pratica mediante le formule fondamentali

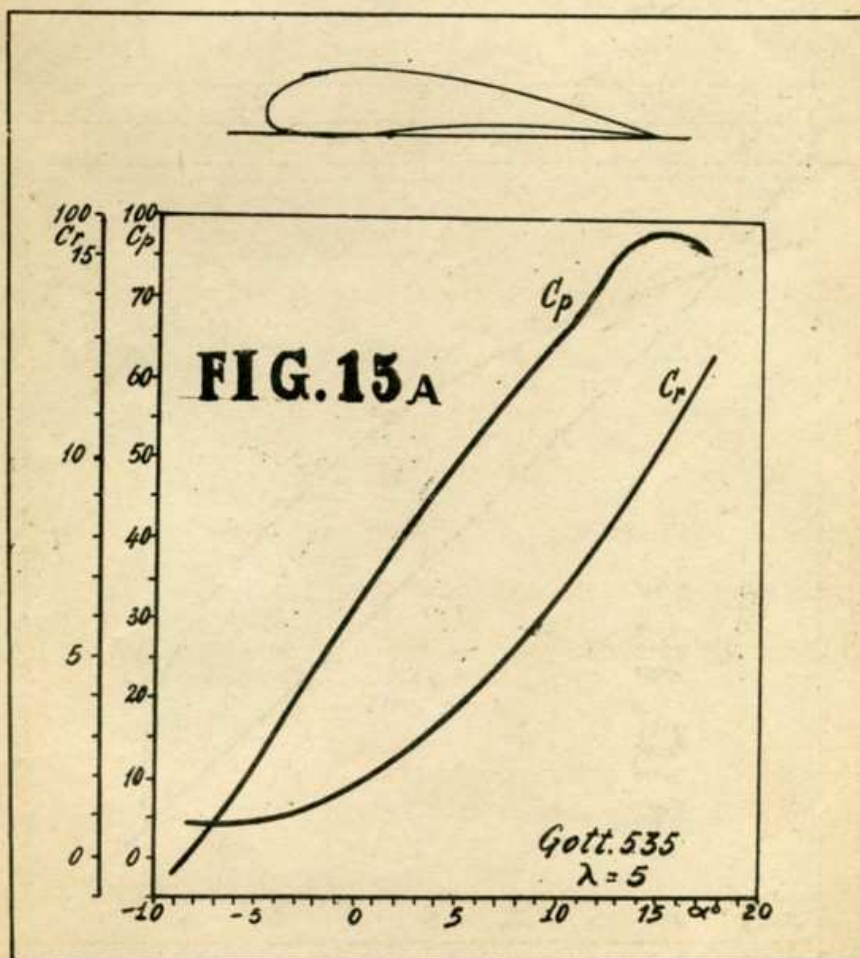


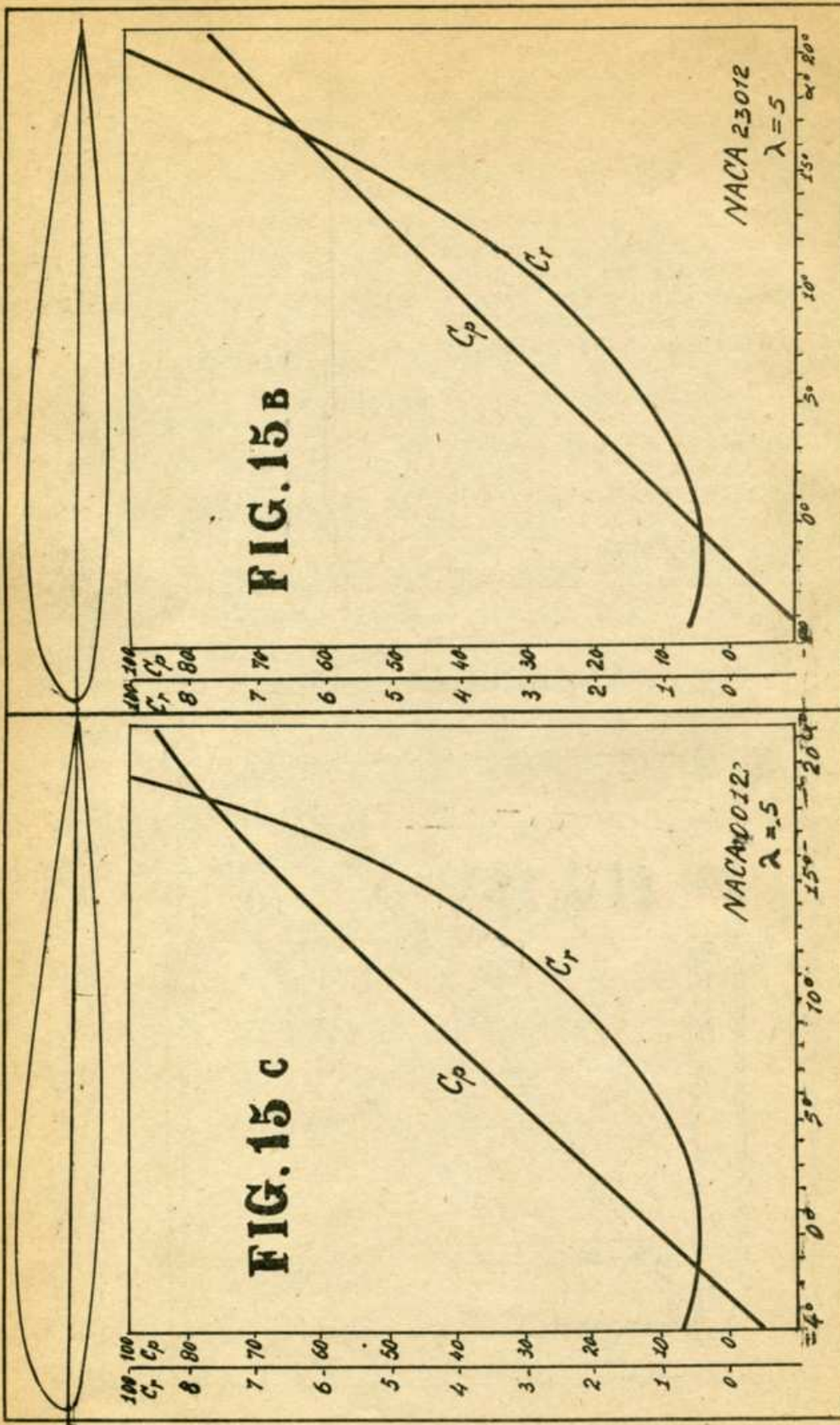
$$C_p = \frac{P}{\rho SV^2}$$

$$C_r = \frac{R}{\rho SV^2}$$

Notiamo che spesso volte si parla, per quanto impropriamente, di portanza o resistenza per indicare invece coefficiente di portanza o di resistenza.

Riportiamo le caratteristiche di portanza e di resistenza per alcuni profili in funzione dell'angolo di incidenza; il loro studio è utile per dare una idea degli ordini di grandezza.



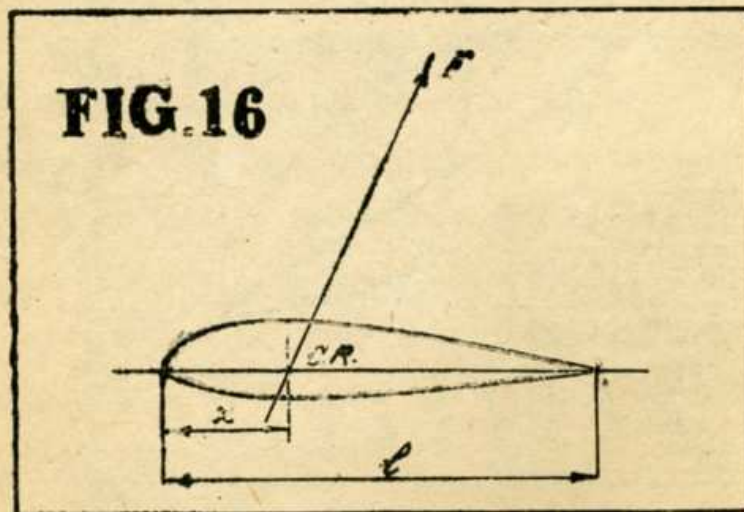


Poichè in genere queste grandezze sono inferiori all'unità, si moltiplicano abitualmente per 100 per avere dei numeri di uso più comodo: si avranno così dei coefficienti 100  $C_p$ , 100  $C_r$ , ecc.

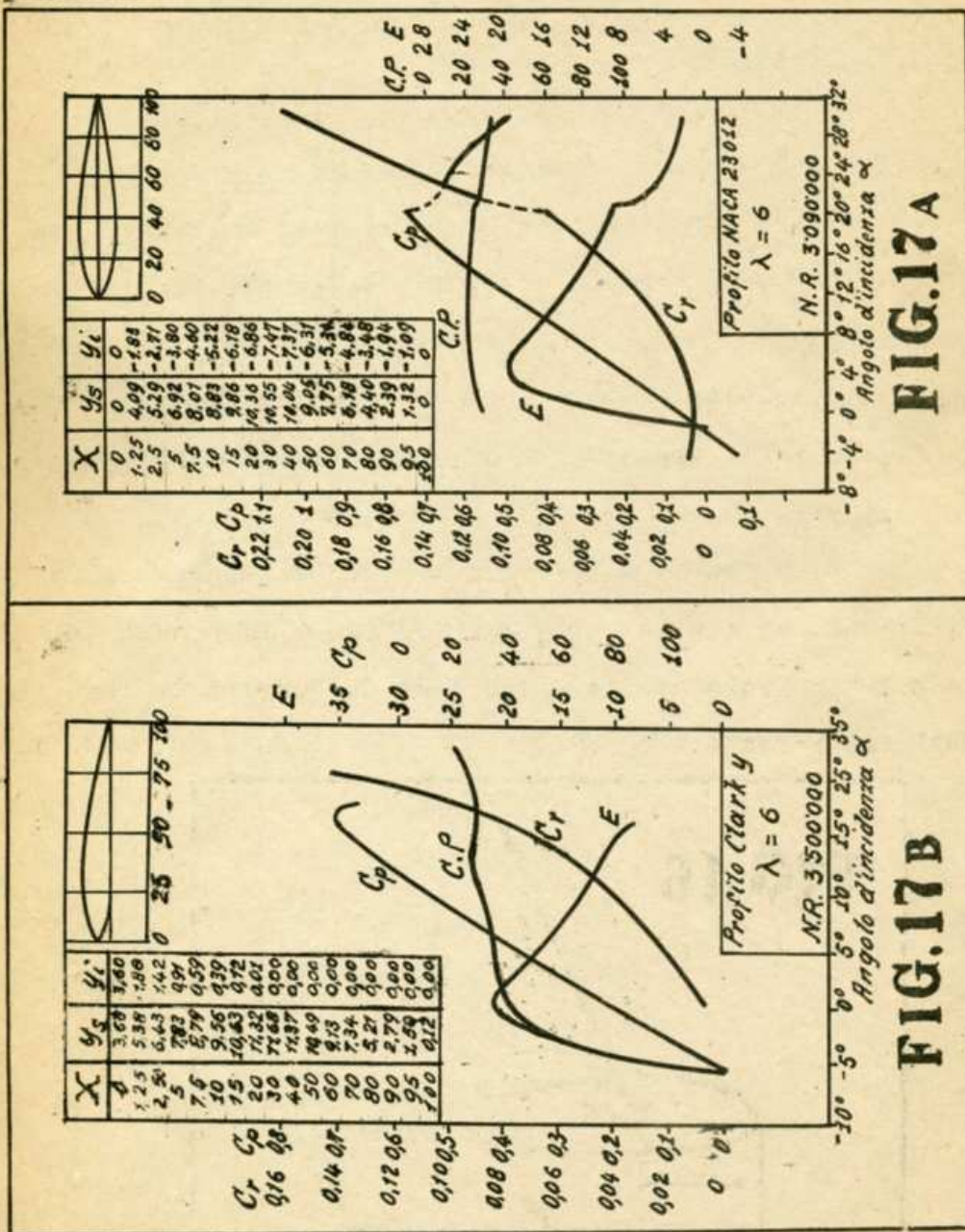
### Centro di pressione

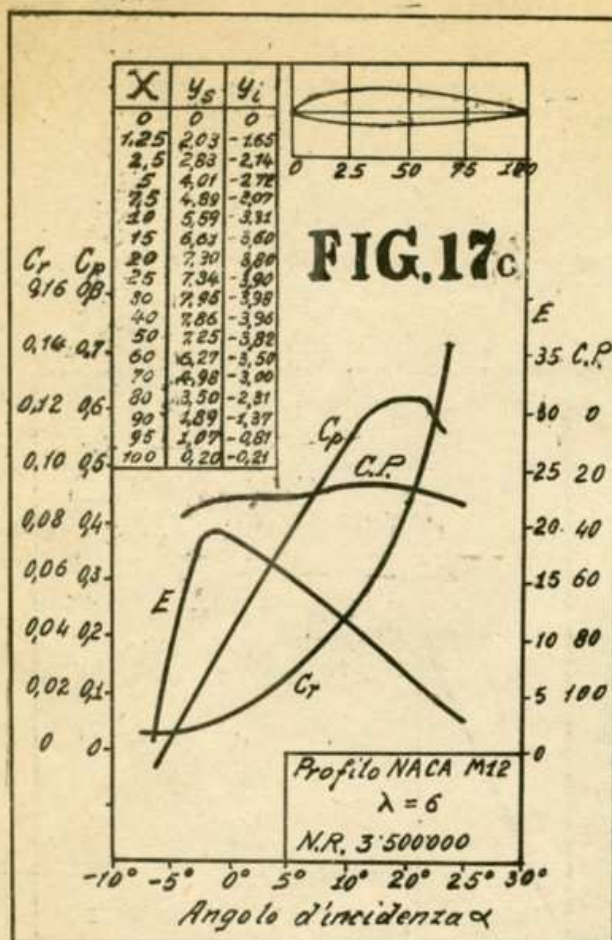
Come abbiamo già accennato, i coefficienti  $C_p$  e  $C_r$  si ricavano dalla sperimentazione pratica non essendo comodo misurare direttamente la risultante. Ma, mentre tale risultante è facilmente costruibile, rimane pur tuttavia incognito il suo punto di applicazione, punto di cui non è tanto agevole fissare l'ubicazione, trattandosi di una risultante di pressioni distribuite lungo tutto il contorno del profilo.

Ci si serve allora convenzionalmente del punto di intersezione fra la corda del profilo e la risultante; questo punto viene indicato col nome di "centro di pressione" (abbreviato con C.P.)



La posizione del centro di pressione viene definita mediante la sua distanza dal bordo d'attacco del profilo, espressa percentualmente rispetto alla corda del profilo.





Se noi quindi raccogliamo in un grafico le curve rappresentatrici di queste tre funzioni (portanza, resistenza, distanza del centro di pressione dal bordo del profilo) dell'angolo di incidenza, abbiamo tutto quanto serve per costruire il comportamento di un dato profilo. Effettivamente esistono delle raccolte di profili in cui sono specificate le caratteristiche geometriche e aerodinamiche nel modo ora de-

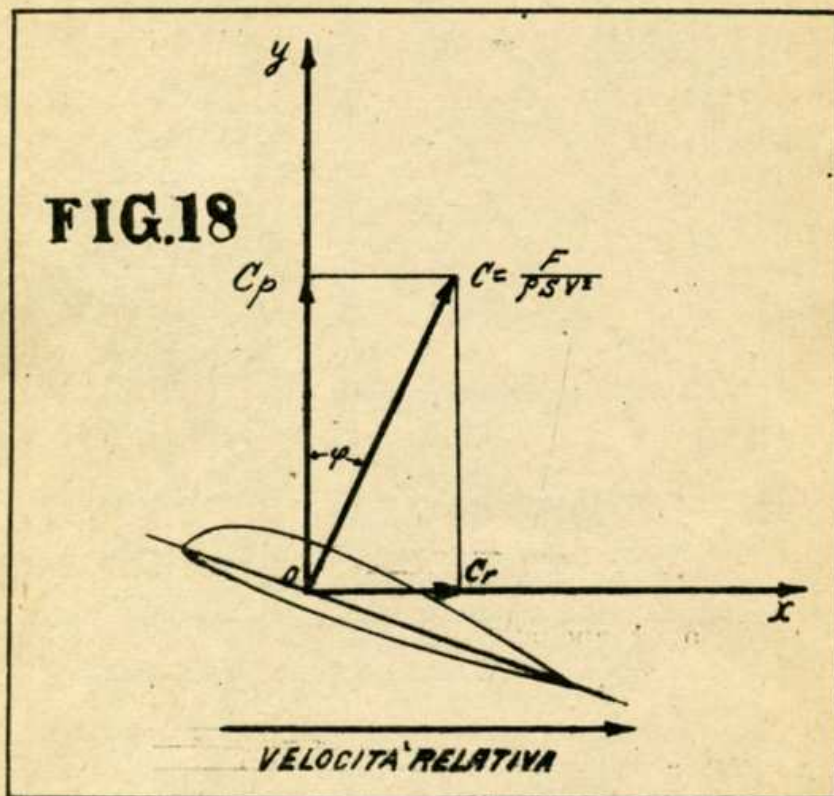
scritto. Di solito però, nel grafico, si trova una quarta funzione; questa è l'efficienza espressa col simbolo E ed il suo valore numerico è dato dal rapporto fra la portanza e la resistenza.

Fisicamente quindi l'efficienza rappresenta il rapporto fra il peso sollevato e la trazione necessaria:

$$E = \frac{P}{R} = \frac{C_p \rho S V^2}{C_r \rho S V^2} = \frac{C_p}{C_r}$$

Polare di un profilo.

Immaginiamo di disegnare con una certa scala il coefficiente del vettore risultante su di un piano cartesiano in modo che il punto di applicazione del vettore coincida con l'origine e che l'asse Ox sia parallelo alla traiettoria.

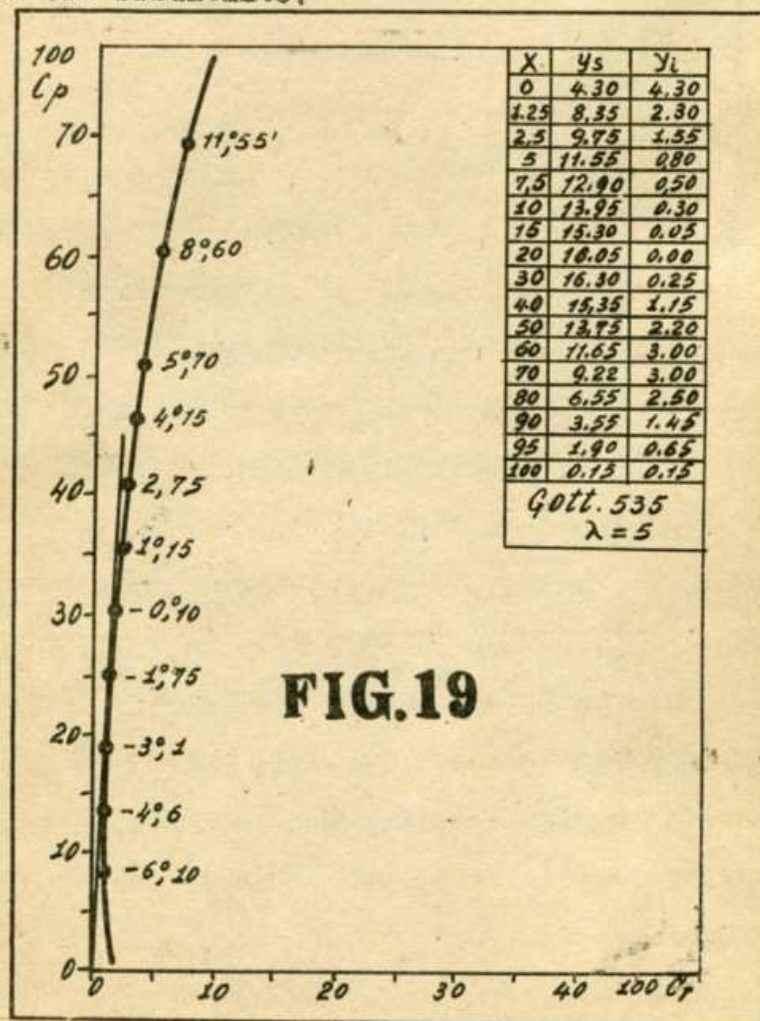


La proiezione di  $C$  sull'asse delle  $x$  rappresenta, per quanto abbiamo detto prima, il coefficiente di resistenza  $C_r$ , mentre la proiezione sull'asse delle  $y$  ci dà quello della portanza  $C_p$ . Disegnando i vettori corrispondenti alle varie incidenze e congiungendo tutti i pun

ti estremi con una curva continua otterremo un diagramma polare - detto appunto polare - delle caratteristiche del profilo.

Sulla curva vengono segnate direttamente le incidenze corrispondenti ai vari punti.

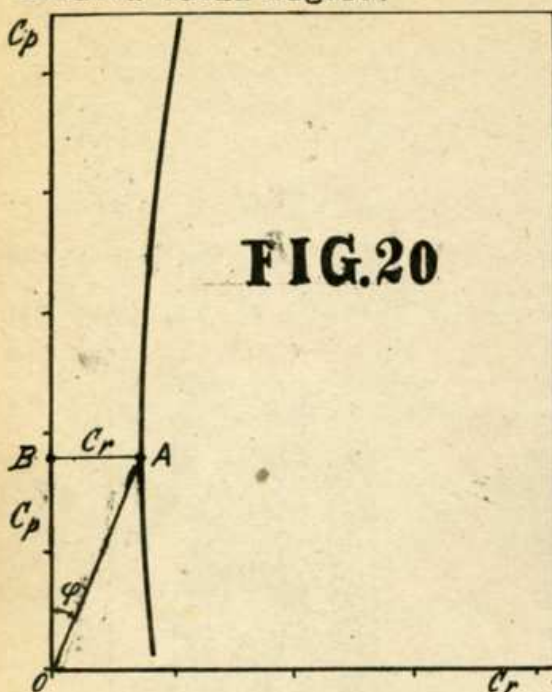
Viceversa, data la polare, possiamo, congiungendo con l'origine il punto corrispondente all'incidenza considerata, individuare in grandezza, direzione e senso il vettore risultante.



**FIG. 19**

La tangente dell'angolo  $\varphi$  formato dal vettore con l'asse dei  $C_p$  ci dà l'inverso dell'efficienza.

Infatti dalla figura:



$$AB = Cr \quad OB = Cp$$

$$Cr = Cp \operatorname{tg} \varphi$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Cr}{Cp}$$

ora  $\frac{Cp}{Cr} = E$

$$\frac{Cr}{Cp} = \frac{1}{E}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{E}$$

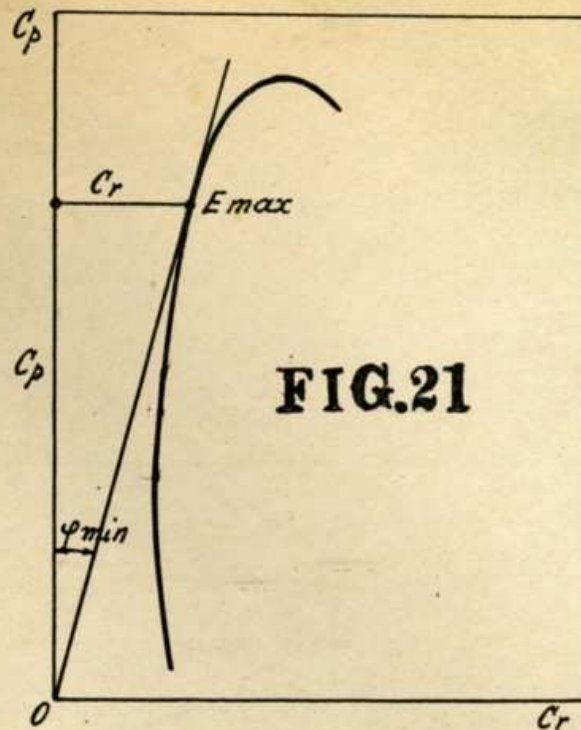
La massima efficienza di un profilo corrisponde quindi all'assetto per cui è mini-

mo l'angolo  $\varphi$ . La tangente alla curva dall'origine determina l'efficienza massima; e il punto di tangenza l'angolo di incidenza corrispondente.

È necessario notare che spesso le polari vengono costruite con scale diverse per la portanza e la resistenza; è chiaro che in tale caso la curva non gode di tutte le proprietà relative ai diagrammi polari e non si potrebbe nemmeno indicare con tale nome.

Ad esempio, conducendo la tangente alla curva, non si avrà affatto né il valore né l'incidenza di massima efficienza.





Momento di un profilo.

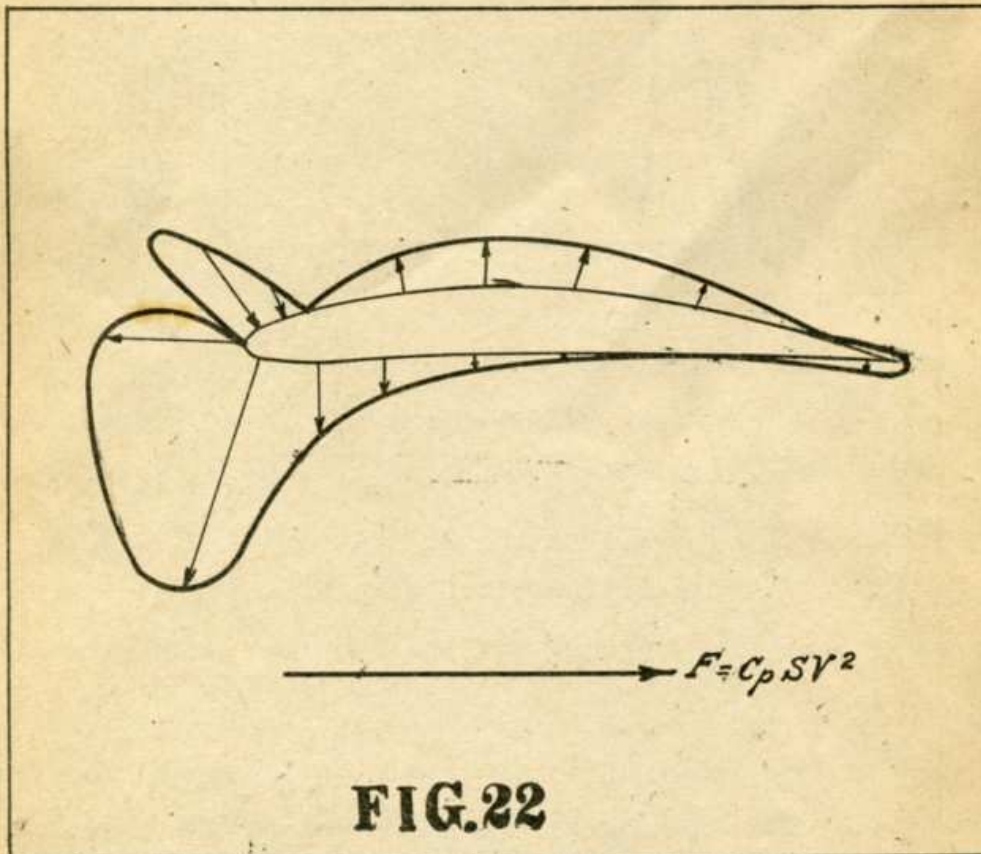
La polare ci determina, come dianzi specificato, intensità, direzione e verso della risultante; resta da individuare il suo punto di applicazione. Abbiamo già visto la difficoltà di individuare tale punto (centro di pressione); notiamo ancora qualche fenomeno a prima vista singolare.

Esiste una certa gamma di incidenze, vicino all'angolo di portanza nulla, in cui la risultante non interseca più la corda del profilo; il centro di pressione esce dal contorno del profilo.

Se si considera la distribuzione delle pressioni sul profilo ci si spiega abbastanza facilmente tale

singularità.

Per un certo angolo di incidenza, quando la risultante diventa parallela alla corda, il centro di pressione, stante la sua definizione, va addirittura all'infinito.



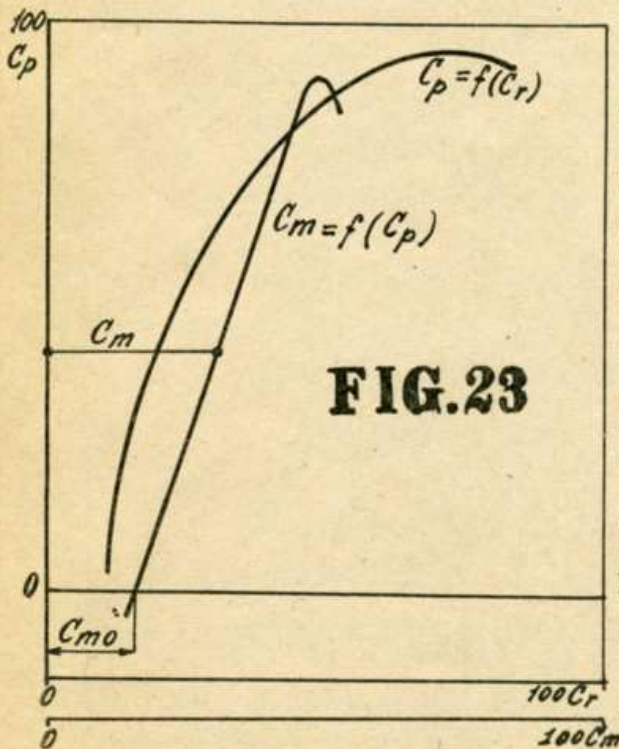
**FIG.22**

Per evitare tali indeterminazioni, invece di ricorrere al centro di pressione, si misura il momento della risultante rispetto a un punto qualsiasi del profilo e generalmente rispetto al bordo d'attacco. Misurato sperimentalmente tale momento  $M$ , assumendo come braccio di riferimento la lunghezza  $l$  della corda del profilo, potremo porre:

$$M = C_m \rho SV^2 l$$

dove  $C_m$  è un coefficiente adimensionale.

Il momento  $M$  è espresso in  $Kgm$  se la lunghezza della corda è misurata in metri. Il coefficiente  $C_m$  si determinerà dall'espressione:



$$C_m = \frac{M}{\rho SV^2 l}$$

Di solito la curva dei momenti non viene rappresentata in funzione dell'incidenza, ma nello stesso diagramma polare prima esaminato in funzione del coefficiente di portanza.

Per un dato assetto, quindi per un dato valore di  $C_p$ , si legge sulle scale delle ascisse il valore di  $C_m$ .

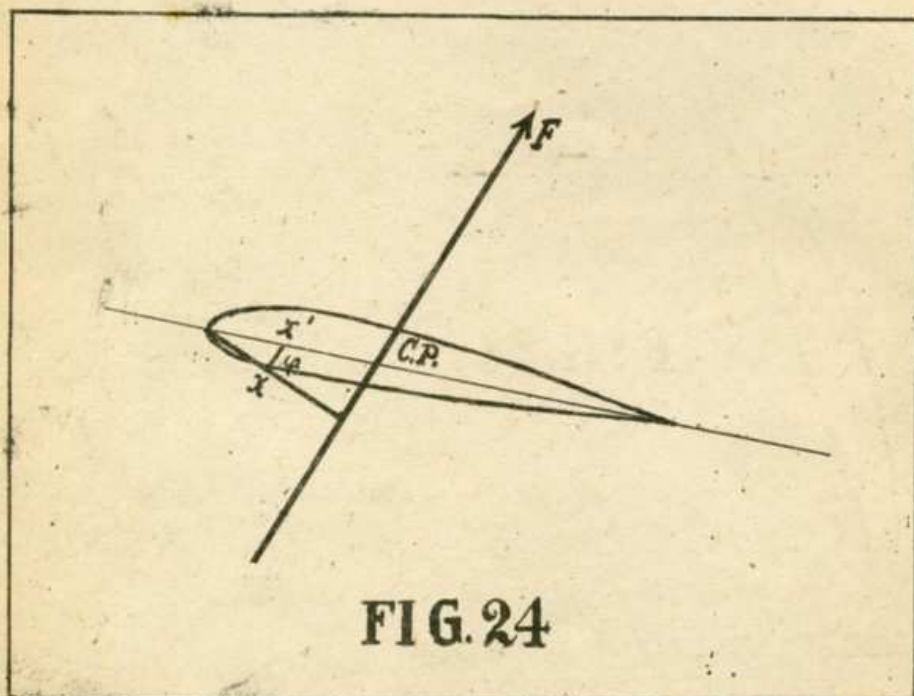
Vedremo come questa rappresentazione presenti dei vantaggi per la soluzione grafica di alcuni problemi.

La curva del  $C_m$  può assimilarsi almeno per un lungo tratto - dalla portanza nulla fin quasi a quella massima- ad una retta che nel caso più generale intercetta sull'asse delle ascisse (portanza nulla) un certo tratto che misura il momento per portanza nulla; questo momento è indicato col simbolo  $C_{m_0}$ .

Si potrà esprimere l'equazione della retta mediante l'equazione:

$$C_m = C_{m_0} + K C_p$$

dove  $k$  è il suo coefficiente angolare.



Data la risultante  $F$  e il suo momento  $M$  rispetto al bordo d'attacco, noi potremo determinare il braccio  $x$  cioè la distanza fra la linea di azione della  $F$  e il bordo di attacco.

$$x = \frac{M}{F}$$

in quanto il momento  $M$  è appunto uguale al prodotto della risultante per tale braccio.

Tenendo conto della definizione che abbiamo dato del centro di pressione avremo che

$$x' = \frac{x}{\cos \varphi}$$

dove  $x'$  è la distanza dal bordo di attacco del centro di pressione e  $\varphi$  è l'angolo formato dalla risultante con la perpendicolare alla corda.

Ora per angoli di incidenza normale,  $\varphi$  è abbastanza piccolo così da poter sostituire alla  $F$  la portanza  $P$ , avremo quindi:

$$x' = \frac{M}{P}$$

ora

$$M = \rho SV^2 C_m l$$

$$P = \rho SV^2 C_p$$

$$x = \frac{\rho SV^2 C_m l}{\rho SV^2 C_p} = \frac{C_m l}{C_p}$$

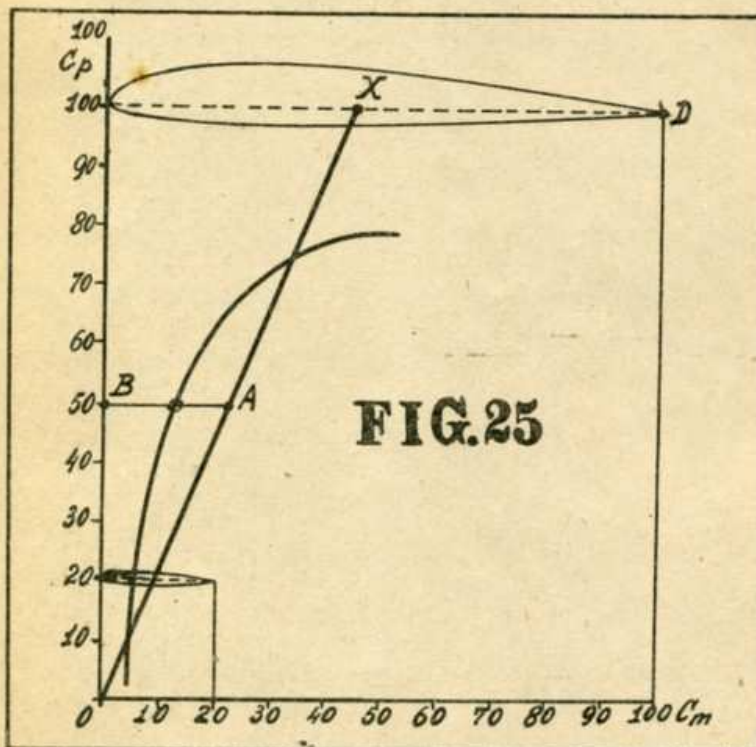
Se vogliamo ottenere la posizione del C.P. non dovremo fare altro che dividere per la corda  $l$ , onde avremo:

$$\frac{x'}{l} = \frac{C_m}{C_p}$$

Naturalmente l'approssimazione sarà tanto maggiore quanto più piccolo è l'angolo  $\varphi$ , restando inteso che, per le incidenze massime e quelle di portanza nulla, l'espressione diventa priva di valore pratico.

Resta ora da vedere qualche costruzione grafica che, sempre con approssimazione, ci permetta di trovare il centro di pressione e il momento rispetto ad un punto qualsiasi.

Per far questo ritorniamo al nostro diagramma del momento.



Considerato un certo assetto, cioè un certo  $C_p$ , noi troviamo il  $C_m$  relativo quale segmento compreso fra l'asse delle ordinate e la curva del  $C_m$ .

Congiungiamo ora il punto A corrispondente a questo assetto con l'origine O e conduciamo una retta CD di equazione  $C_p = 100$  e una DE di equazione  $C_m = 100$ . Nei due triangoli OBA e OCX, simili per costruzione, abbiamo che

$$\frac{BA}{BO} = \frac{CX}{CO} \quad \text{cioè}$$

$$\frac{C_m}{C_p} = \frac{CX}{CO}$$

Se noi scegliamo come corda di riferimento 1 il valore di 100, avremo che  $CO = \underline{1}$  e che CX letto nella scala dei  $C_m$  sarà la distanza percentuale del C.P. dal bordo d'attacco.

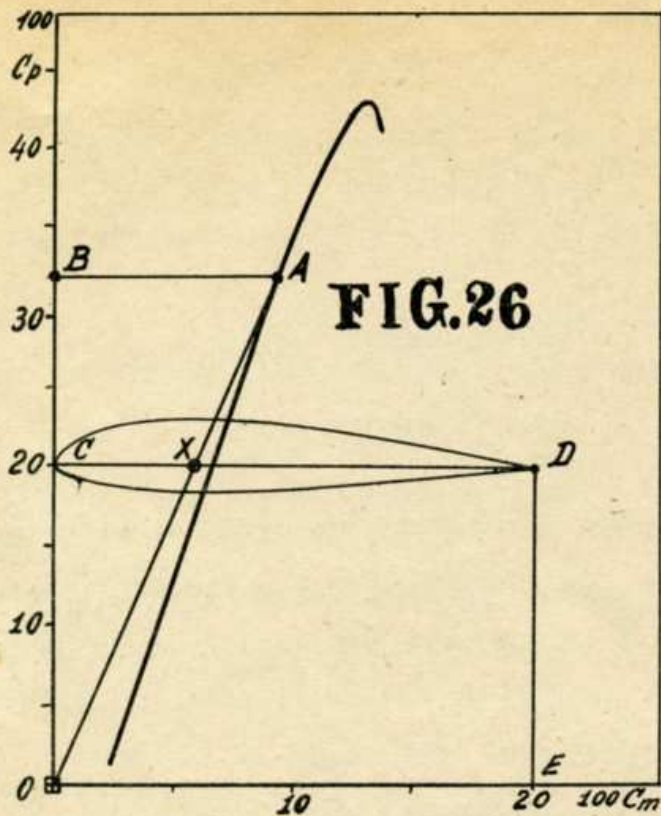
Infatti

$$\frac{C_m}{C_p} = \frac{x}{1}$$

Invece di usare come corda di riferimento la CD si può usare un segmento qualsiasi compreso fra l'asse delle ordinate e una retta di equazione  $C_m = C_p$ .

Per esempio potremo usare una corda di ordinata  $C_p = 20$  e di lunghezza  $C_m = 20$ ; ciò risulta più comodo perchè permette di ridurre le dimensioni del diagramma.

Generalmente sulla corda di riferimento si traccia un profilo che serve a rendere più evidente la costruzione.



Momento Baricentrico.

Si consideri un punto G sulla corda di riferimento e si voglia trovare il momento rispetto a G per un determinato assetto, p.es. quello corrispondente al punto A della retta dei momenti.

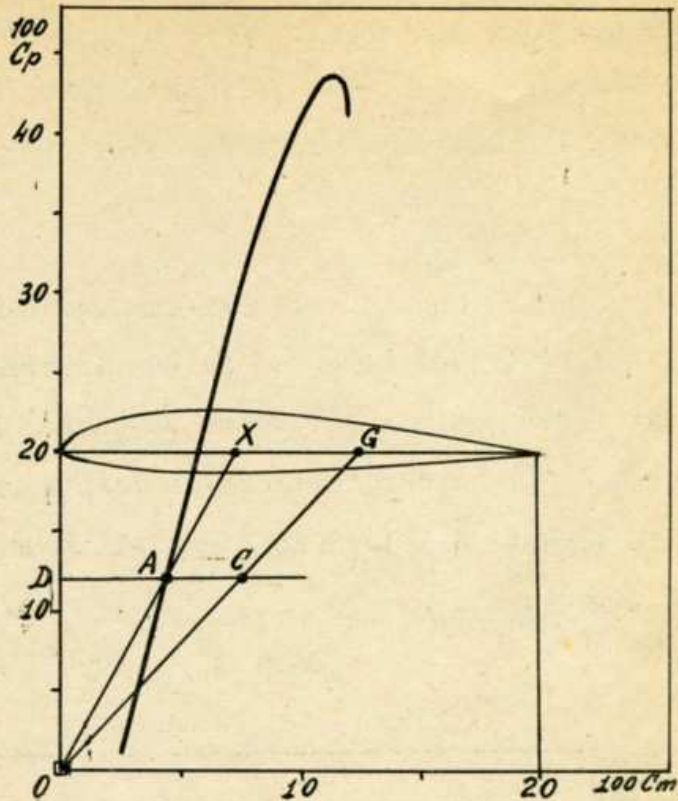
Si congiunga il punto G con l'origine e il punto A pure con l'origine. La semiretta OA prolungata intersecherà la corda di riferimento sul punto X. Il punto X è il centro di pressione.

Tracciamo per A una retta orizzontale. Il segmento CA rappresenta il momento rispetto a G nell'asset-



to considerato.

**FIG.27**



Infatti fra i segmenti intercettati dalle due rette paràllele BX e DA avremo la seguente proporzionalità:

$$\frac{BX}{GX} = \frac{DA}{CA}$$

Cioè avremo la proporzionalità del rapporto fra il momento riferito al bordo d'attacco e quello riferito al punto G e il rapporto fra i due bracci di leva.

In particolare, se invece di essere un punto qualsiasi, G è il baricentro del velivolo, potremo facilmente ottenere i momenti baricentrici utili per lo studio del centramento.

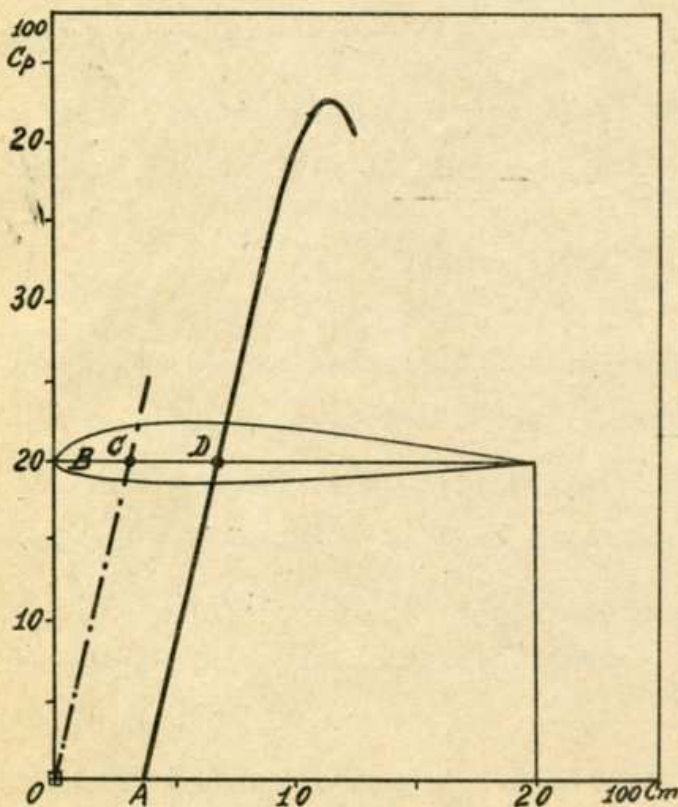
Nella figura 27 il momento è cabrante e con le

convenzioni italiane assume segno negativo; se il punto C fosse compreso fra D e A, il momento sarebbe positivo. Infatti il baricentro sarebbe anteriore al C.P.

Fuoco del profilo.

Si conduca dall'origine una semiretta parallela alla retta del momento, la sua intersezione con la corda di riferimento individuerà un punto. La distanza percentuale del bordo d'attacco di questo punto, ci sarà data ovviamente dal termine  $K C_p$  dell'equazione della curva del momento del momento

$$C_m = C_{m_0} + K C_p$$



**FIG.28**

Questo punto viene detto fuoco aerodinamico per il fatto che risulta essere il fuoco della parabola sviluppo delle risultanti aerodinamiche teoriche. Una proprietà notevole del fuoco è data dall'essere costanti i momenti riferiti allo stesso al variare dell'assetto, e ciò per costruzione.

La distanza del fuoco dal bordo di attacco si aggira, almeno per i profili in uso attualmente, attorno al 25% della lunghezza di riferimento.

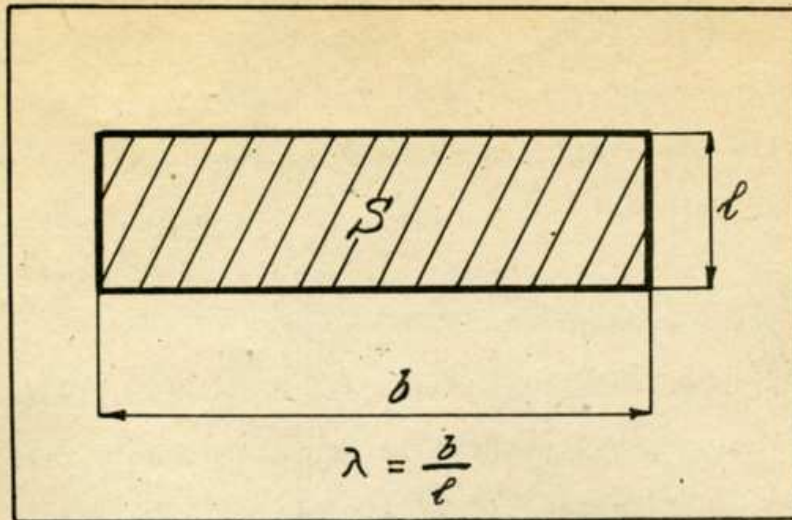
Qualche volta si riferiscono i momenti dell'ala al fuoco, ottenendo delle curve che si avvicinano moltissimo all'equazione.

$$C_m = C_{m_0}$$

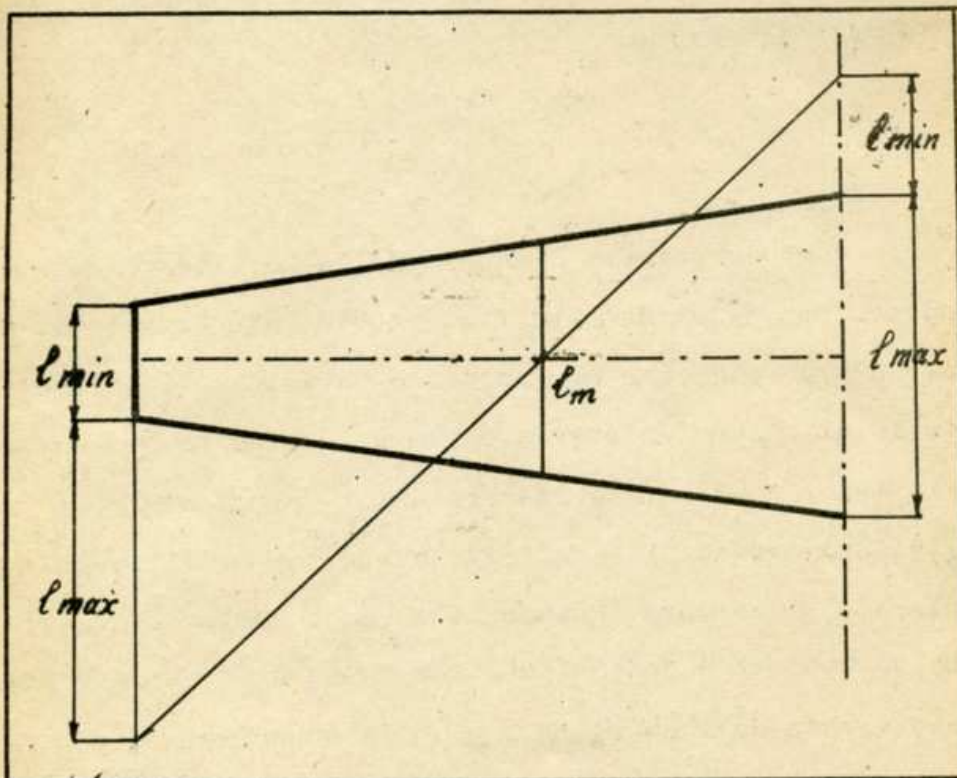
#### L'ala finita.

Abbiamo finora discusso delle caratteristiche aerodinamiche di un dato profilo considerato come sezione di un'ala generica di lunghezza infinita. Viceversa tutte le ali hanno un'apertura ben determinata. Dovremo perciò tener conto di un fattore assai importante cioè dell'allungamento ( $\lambda$ ), definito quale rapporto fra la corda alare e l'apertura. Quando la corda è costante, si ricorre ad una corda media. La corda media alare  $l_m$  può essere ricavata dall'apertura  $b$  e dalla superficie  $S$  con la formula seguente:

$$l_m = \frac{S}{b}$$



**FIG.29**



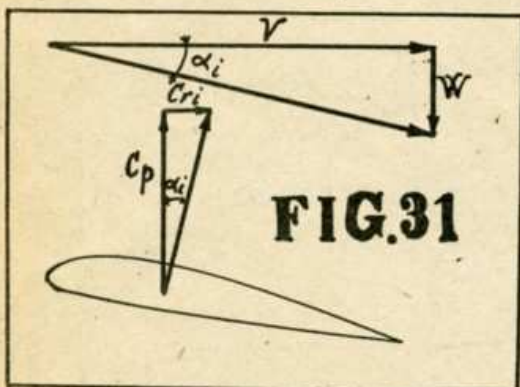
**FIG.30**

Il valore  $\lambda$  dell'allungamento è dato in definitiva da:

$$\lambda = \frac{b}{1} = \frac{b^2}{S}$$

Tale formula serve anche per determinare direttamente l'allungamento qualora la misurazione della corda media sia resa difficile in un'ala dai contorni piuttosto irregolari.

Nell'ala finita si hanno dei fenomeni di induzione il cui studio teorico è molto complesso. Consideriamo globalmente gli effetti di tale induzione. Si avrà che il vettore velocità relativa, composto con un vettore  $W$  di induzione, darà una nuova direzione di traiettoria inclinata rispetto a quella per



$\lambda = \infty$  di un angolo  $\alpha_i$  funzione della portanza e dell'allungamento

$$\alpha_i = \frac{2 C_p}{\pi \lambda}$$

( $\alpha_i$  è espresso in radianti)

La portanza ruoterà allora di un angolo  $\alpha_i$  dando luogo

ad una resistenza indotta

$$C_{r_i} = C_p \operatorname{tg} \alpha_i$$

Per i piccoli valori di  $\alpha_i$ , potremo sostituire alla tangente l'angolo. Potremo in tal modo trovare la resistenza indotta:

$$Cr_i = \frac{2 C_p^2}{\pi \lambda}$$

La resistenza, e quindi anche il coefficiente di resistenza di un profilo, potrà essere considerata somma di due resistenze, un  $Cr_p$  di profilo e l'altra  $Cr_i$  indotta

$$Cr = Cr_p + Cr_i$$

Possiamo ancora scomporre la resistenza di profilo in resistenza di forma  $Cr_f$  e in resistenza dovuta allo attrito di scorrimento superficiale  $Cr_a$

$$Cr = Cr_f + Cr_a + Cr_i$$

La curva di equazione

$$Cr = \frac{2 C_p^2}{\pi \lambda}$$

prende il nome di polare teorica o di polare indotta.

Si disegni nel diagramma polare la polare indotta accanto a quella reale; i segmenti orizzontali intercetti fra le due curve rappresentano la resistenza di profilo ovvero, il che fa lo stesso, la resistenza per allungamento infinito.

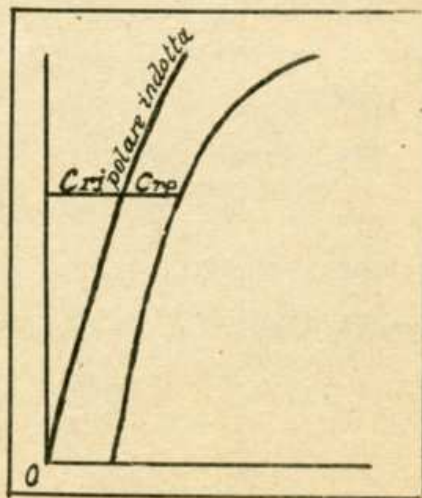


FIG. 32

Questa osservazione è utile per passare graficamente da un'allungamento ad un altro diverso.

Anche la forma in pianta dell'ala ha una certa influenza sulle caratteristiche aerodinamiche e così pure altri fattori di cui, almeno per approssimazioni pratiche, si può non tener conto.

#### L'ALIANTE COMPLETO.

L'ala è l'organo essenziale che consente il volo dinamico, ma l'aliante si compone di altre parti indispensabili: piani di coda - fusoliera - organi di atterraggio.

I primi, necessari per stabilizzare l'ala che di per sé è instabile e per manovrare il velivolo; la fusoliera destinata a collegare le ali coi piani di coda ed a contenere il posto di pilotaggio, oltre ai carichi eventuali; gli organi di atterraggio che consentono la portanza ed il ritorno sulla superficie terrestre.

Anche questi elementi hanno delle loro caratteristiche aerodinamiche e perciò il comportamento dell'aliante sarà diverso da quello dell'ala isolata.

Occorre precisare l'influenza di questi elementi sulla polare dell'ala, occorre cioè arrivare a disegnare la polare dell'aliante completo.

Trattando la questione dal punto di vista analitico, è facile vedere che, grosso modo, la portanza e

la resistenza di un velivolo si possono ottenere facendo la somma della portanza e resistenza di tutti gli elementi che lo compongono; effettivamente le cose non sono così semplici perchè intervengono numerosi e complessi fenomeni consistenti essenzialmente in azioni reciproche che falsano notevolmente i risultati: è per questo che la vera polare di un velivolo non potrà essere ottenuta che mediante misure in volo. Si possono anche effettuare prove su modelli di dimensioni limitate alla galleria aerodinamica e riportare i risultati, mediante le note regole di similitudine, al vero aliante.

E' necessario però osservare che parecchi fattori vengono a falsare la verità delle indagini alla galleria. Oltre alle normali difficoltà ed incertezze riscontrate nelle prove dei motovelivoli, per gli alianti -dato l'elevato allungamento - si hanno delle corde alari del modello di dimensioni ridottissime, così che la riproduzione del profilo reale è molto aleatoria.

E' per queste ragioni che si preferisce ancora la costruzione analitica della polare malgrado le incertezze da essa portate.

Vengono però provati alla galleria del vento elementi separati, fusoliere, piani di coda, ecc., ed anche gruppi di elementi: fusoliere con spezzoni d'ala ecc.

Effettivamente, data la semplicità architettonica dell'aliante e dato che il rapporto fra zone disturbate e zone libere è sempre molto buono, le variazioni



di caratteristiche date dalle interferenze mutue, sono abbastanza contenute e se il disegno della intersezione fra ala e fusoliera è bene curato e razionale, non si possono avere delle forti sorprese.

Possiamo quindi disegnare la polare dell'alien-  
te come somma delle polari di tutti gli altri elementi  
aggiungendo tutt'al più un certo coefficiente che tenga  
conto della interferenza.

Sommando separatamente le resistenze e le por-  
tanze

$$R_t = R_a + R_f + R_c$$

$$P_t = P_a + P_f + P_c$$

dove gli indici signi-  
ficano:

t = totale

a = ala

f = fusoliera

c = piani coda

si ottiene

$$R_t = \rho S_a v^2 C_{r_a} + S_f v^2 C_{r_f} + \rho S_c v^2 C_{r_c}$$

$$P_t = \rho S_a v^2 C_{p_a} + \rho S_f v^2 C_{p_f} + \rho S_c v^2 C_{p_c}$$

Le superfici S di riferimento sono diverse per  
ciascun elemento, mentre è bene riferirle tutte a quelle  
dell'ala.

Perciò raccogliamo il termine  $\rho S_a v^2$  ed otterre-  
mo

$$P = \rho S_a v^2 \left( C_{p_a} + C_{p_f} \frac{S_f}{S_a} + C_{p_c} \frac{S_c}{S_a} \right)$$

$$R = \rho S_a v^2 \left( C_{r_a} + C_{r_f} \frac{S_f}{S_a} + C_{r_c} \frac{S_c}{S_a} \right)$$

Naturalmente occorre tener conto dei vari assetti dei diversi organi; di solito, come per la superficie, ci si riferisce anche per l'incidenza a quella dell'ala.

Quando si voglia un rapido calcolo di massima, sufficientemente esatto per una prima investigazione specialmente nel campo delle incidenze normali, si potrà ritenere costante la resistenza della fusoliera e dei piani di coda e nulla la portanza di questi elementi. In questo modo i valori della portanza sono dati semplicemente da quello dell'ala e la resistenza sarà data da quella dell'ala sommata ad una certa costante che prende il nome di "resistenza addizionale", trovata assumendo dei valori medi per il coefficiente di resistenza della fusoliera e dei piani di coda.

Volendo però ottenere delle caratteristiche più esatte, sarà bene tener conto di tutte le portanze e della variazione delle resistenze di tutti gli organi.

Ricordarsi ad esempio di tener presente l'incremento di resistenza e di portanza provocato dall'angolo del piano mobile orizzontale necessario alla variazione di assetto.

Le caratteristiche dei piani di coda possono facilmente essere desunte da opportune tabelle e diagrammi del tutto simili a quelli dell'ala, salvo che per esse si deve tener conto della variazione di caratteristiche apportate dalla rotazione della parte mobile. D'altro canto queste variazioni sono già state sperimentalmente de-

sunte e sono abbastanza attendibili.

Manca invece una raccolta di dati sperimentali sufficientemente estesa per quello che riguarda le fusoliere: ciò deriva essenzialmente dal fatto che esistono infinite forme possibili di fusoliera, non solo, ma che piccole variazioni della forma della fusoliera od anche e soprattutto piccoli spostamenti di posizioni reciproche fra fusoliera e gli altri elementi, portano a delle variazioni notevolissime.

E' quasi impossibile trovare dei dati riguardanti la portanza della fusoliera od almeno si possono trovare per un limitatissimo numero di fusoliere di forme particolari.

I valori di  $C_r$  vengono di solito riferiti alla forma della sezione maestra: ora, in genere, le sezioni di fusoliera degli alianti non sono costanti, non solo, ma il rapporto fra le dimensioni della sezione maestra e la lunghezza della fusoliera, incide sensibilmente sulla resistenza totale, in quanto variano in misura notevole la resistenza propria di forma e la resistenza di attrito superficiale.

In generale si può dire che il valore più favorevole di rapporto fra altezza e lunghezza di fusoliera, è attorno al valore di  $3 \div 5$ ; al di sotto e al di sopra di questi valori, si hanno degli aumenti di resistenza provocati, nel primo caso, da un aumento di resistenza di forma, nel secondo, da un aumento di resistenza super-

ficiale.

Naturalmente, anche la variazione dell'angolo formato dall'asse della fusoliera rispetto alla traiettoria, ha un'importanza abbastanza grande ed è a sua volta funzione della forma della fusoliera.

Infatti per sezioni quadre si può avere, per una variazione di angolo di  $10^\circ$ , un aumento di resistenza del 200% e più, mentre, per sezioni ellittiche, l'incremento di resistenza scende al 30-40%.

#### D I M E N S I O N A M E N T O   G E N E R A L E .

##### Considerazioni generali.

Il problema fondamentale della scelta delle dimensioni principali di un aliante è difficoltoso e abbastanza incerto, in quanto molti sono i fattori in gioco, pochi dei quali di facile analisi.

Le dimensioni principali sono quelle riguardanti l'ala e da queste dipendono le proporzioni degli altri organi. Assumiamo quindi a parametri fondamentali per il nostro studio, i seguenti, e indichiamoli con i rispettivi simboli:

apertura alare	(b)
superficie alare	(S)
allungamento	( $\lambda$ )
carico alare	(Q/S).

Il primo di questi parametri è quello di maggiore importanza tanto che è quello che, in un certo modo, classifica le varie specie di alianti. Si dice correntemente "veleggiatore di grande apertura", "veleggiatore di piccola o media apertura" ed il termine sta ad indicare grossolanamente la categoria alla quale il veleggiatore appartiene.

Normalmente, le qualità di un veleggiatore migliorano con l'aumentare dell'apertura. Infatti si va dai 10-11 metri di un apparecchio scuola, ai 20 e più metri di un apparecchio di alte caratteristiche. Cionondimeno si costruiscono dei veleggiatori di grande classe di piccola apertura, così come si costruiscono degli alianti da allenamento di apertura piuttosto rilevante; ma sono casi particolari che per il momento non prendiamo in esame riservandoci di farlo in seguito.

Quali sono gli elementi che determinano la scelta dell'apertura alare? Possiamo elencarli in ordine di importanza:

- 1°) caratteristiche aerodinamiche,
- 2°) costo di costruzione,
- 3°) condizioni di impiego,
- 4°) ingombro.

E' molto difficile valutare l'importanza di ognuno di questi elementi ed è chiaro come questa importanza dipenda dal caso specifico. Se per il momento consideriamo costanti i parametri  $\lambda$  e  $Q/S$ , notiamo come maggio-

re apertura significhi maggiore superficie; questa maggiore superficie porta i seguenti vantaggi:

- diminuzione del rapporto  $\frac{\text{superfici passive}}{\text{superficie alare}}$ , rapporto che influisce direttamente sulle qualità di volo,
- possibilità di portare un carico maggiore e quindi di poter beneficiare nella costruzione di tutti gli accessori e ritrovati che negli ultimi anni sono comparsi nella tecnica volovelistica.

Per contro, diminuisce la maneggevolezza ed aumenta il peso proprio della macchina; aumentano le difficoltà dell'atterraggio fuori campo ed aumenta in modo notevole il costo di costruzione; e spesso questo ultimo fattore ha un'importanza decisiva nella scelta dell'apertura alare. Questo anche perchè l'aumentare dell'apertura alare coincide con un affinamento aerodinamico e costruttivo che comportano notevoli complicazioni nel disegno, nella esecuzione e nella attrezzatura.

Si può insomma fare un certo paragone fra una piccola automobile utilitaria e un'automobile lussuosa: in genere, la seconda costerà di più non solo per l'aumentata mole, ma anche perchè la sua tecnica costruttiva sarà più evoluta, perchè in essa si troveranno accessori e parti più perfezionate e più costose.

Molto spesso l'apertura alare viene limitata dagli ambienti in cui si effettua la costruzione. Infatti trattandosi sempre di aperture piuttosto rilevanti, non è molto facile trovare, relativamente alle possibili-

tà di molti costruttori (1), locali sufficientemente ampi e disimpegnati, necessari per la costruzione ed il montaggio.

Infine maggiore apertura significa maggiore ingombro e maggiore delicatezza nel trasporto e nella manovra, oltre ad una maggiore difficoltà di pilotaggio.

Possiamo allora dire che dei quattro parametri indicati all'inizio, il primo - cioè l'apertura alare - è l'unico indipendente o quasi rispetto agli altri, poichè sulla sua scelta non influiscono od influiscono in misura poco notevole gli altri tre.

#### IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA.

Determinata l'apertura alare, il campo del problema si restringe essendo sempre gli altri parametri funzione di questa. La superficie alare, l'allungamento ed il carico alare sono strettamente legati fra di loro tanto che il fissare uno di essi equivale a fissare gli altri due. Infatti la nota relazione fra apertura, superficie ed allungamento  $\lambda = \frac{b^2}{S}$  permette, essendo fissata la apertura e l'allungamento, di ricavare la superficie; mentre il carico alare può essere stimato con sufficiente precisione, fissando a priori il peso totale sulla scorta dell'esperienza.

Sarebbe quindi assai comodo trovare delle relazioni tali che fissassero un parametro, ad esempio l'allungamento, in funzione dell'apertura alare. Un'equazio-

---

(1) Non ci si riferisce evidentemente all'industria, ma ai costruttori privati ed ai centri di volo a vela accademici.

ne di questo genere permetterebbe, fissata ad arbitrio l'apertura alare in base ai concetti prima esposti, di esaurire completamente il problema di tutto il dimensionamento. Ora però la ricerca dell'allungamento ottimo in funzione della apertura alare, è una cosa alquanto incerta e molto difficile; infatti bisognerebbe ottenere il valore di allungamento che permettesse di avere le massime caratteristiche aerodinamiche. Ora quali sono queste caratteristiche aerodinamiche? La minima velocità di discesa, il migliore rapporto di planata, la massima maneggevolezza, ecc. ecc.?

Normalmente si ricerca non il massimo valore di una di queste caratteristiche, ma un compromesso soddisfacente di tutte e di altre ancora, ad esempio la velocità di discesa ed il rapporto di planata per elevate velocità orizzontali.

Si potrebbe tuttavia provvedere a determinare l'allungamento optimum per la velocità di discesa e per il massimo rapporto di planata, ecc. per poter poi adottare quel compromesso che meglio si adatti allo scopo.

Disgraziatamente anche con una limitazione di questo genere, non è possibile risolvere analiticamente con mezzi semplici la questione. Infatti entrano in gioco - pur facendo delle considerazioni semplificative circa il comportamento aerodinamico del resto del velivolo - le caratteristiche proprie dell'ala o per meglio dire,



del profilo dell'ala. Occorrerebbe quindi scegliere preventivamente il profilo da adottare sull'ala, ma è noto che tale scelta dipende dalle caratteristiche che si vogliono ottenere e quindi dal dimensionamento dell'ala, non solo, ma anche quando fosse effettuata la scelta del profilo, bisognerebbe poter scrivere analiticamente le sue caratteristiche aerodinamiche.

Le difficoltà che si incontrano nella soluzione puramente teorica del problema esposto, fanno sì che generalmente il dimensionamento dell'ala venga fatto attraverso considerazioni empiriche dovute alla pratica del costruttore ed al paragone con altri velivoli già costruiti e di cui si conoscano le caratteristiche. Si potrebbe però trovare una via teorica introducendo un'ulteriore semplificazione. Questa semplificazione consiste nel sostituire ai vari profili possibili, un profilo ideale di caratteristiche medie di cui si possa scrivere facilmente l'equazione delle caratteristiche.

Pur portando questa semplificazione a dei divari notevoli dalla realtà, il metodo è tuttavia interessante per rilevare almeno l'andamento qualitativo del problema.

Possiamo così scrivere l'equazione della polare dell'aliante completo:

$$C_r = C_{r\infty} + \frac{2 C_p^2}{\pi \lambda} + C_{r_a}$$

dove nel termine  $C_{r_a}$  sono conglobate le resistenze addi-

zionali. Naturalmente il termine  $Cr_a$  è funzione dell'allungamento

$$Cr_a = \frac{Cr_f S_f + Cr_c S_c}{S} ; \text{ ma } S = \frac{b^2}{\lambda}$$

e di conseguenza

$$Cr_a = \lambda \frac{Cr_f S_f + Cr_c S_c}{b^2}$$

Dunque

$$Cr = Cr_{\infty} + \frac{2 Cp^2}{\pi \lambda} + \lambda \frac{Cr_f S_f + Cr_c S_c}{b^2}$$

scritta l'equazione della polare, si può passare alle espressioni dell'efficienza e della velocità di discesa:

$$E = \frac{Cp}{Cr} = \frac{Cp}{Cr_{\infty} + \frac{2 Cp^2}{\pi \lambda} + \lambda \frac{Cr_f S_f + Cr_c S_c}{b^2}}$$

$$V_y = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \cdot \frac{\sqrt{Q}}{S} \cdot \frac{Cp^{3/2}}{Cr} = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \cdot \frac{\sqrt{Q \lambda}}{b^2} \cdot \frac{Cp^{3/2}}{Cr_{\infty} + \frac{2 Cp^2}{\pi \lambda} + \lambda \frac{Cr_f S_f + Cr_c S_c}{b^2}}$$

Bisogna tener presente che  $Q$  varia con l'allungamento; infatti, a parità di apertura, l'ala di maggior allungamento pesa di più. Potremo scrivere la seguente relazione empirica:

$$Q = 80 \text{ kg} + 0,75 b \lambda$$

dove  $b$  è espresso in metri.

La velocità di discesa viene allora così espressa:

$$V_y = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \frac{80 \lambda + 0,75 b \lambda^2}{b^2} \frac{C_p^{3/2}}{C_{r_\infty} + \frac{2 C_p^2}{\pi \lambda} + \lambda \frac{C_{r_f} S_f + C_{r_c} S_c}{b^2}}$$

### Conclusioni

Quanto abbiamo esposto ha pochissimo valore agli effetti della determinazione di  $\lambda$  essendo la scelta di questo, come abbiamo già fatto notare, effettuata piuttosto in base ai criteri personali del costruttore, il quale valuta il miglior compromesso.

Come avremo modo di osservare più avanti, la rappresentazione più efficace nelle caratteristiche di un aliante è quella delle due curve (velocità di discesa e rapporto di planata) in funzione della velocità orizzontale. Costruendo queste due curve per diversi alianti, possiamo notare alcuni aspetti che chiariscono abbastanza le idee.

Un aumento di allungamento, considerato unicamente ai fini del rapporto di planata porta alle seguenti conseguenze:

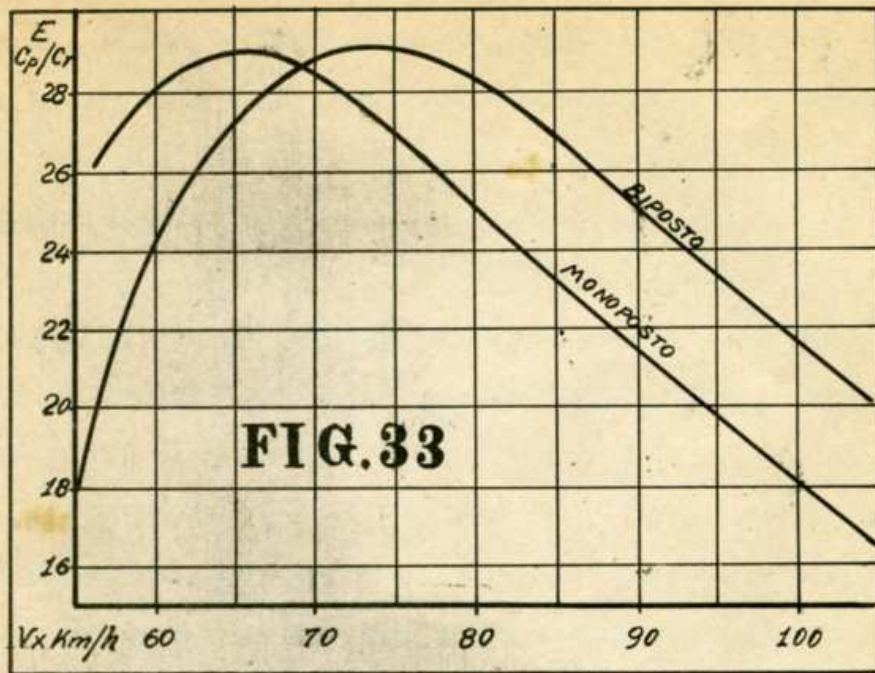
-miglioramento delle caratteristiche dell'ala proporzionale all'aumento di  $\lambda$ . Questo miglioramento si fa maggiormente sentire verso gli allungamenti più bassi ed in corrispondenza degli assetti di forte portanza. Crescendo il carico alare, le caratteristiche si spostano verso velocità orizzontali più elevate. D'altra parte però, il rapporto resistenze passive fa sempre maggiormente sentire le resistenze dell'ala

re la sua nefasta influenza specialmente negli assetti di piccola incidenza. Questo rapporto è quindi quello in definitiva che limita superiormente l'escursione dell'allungamento.

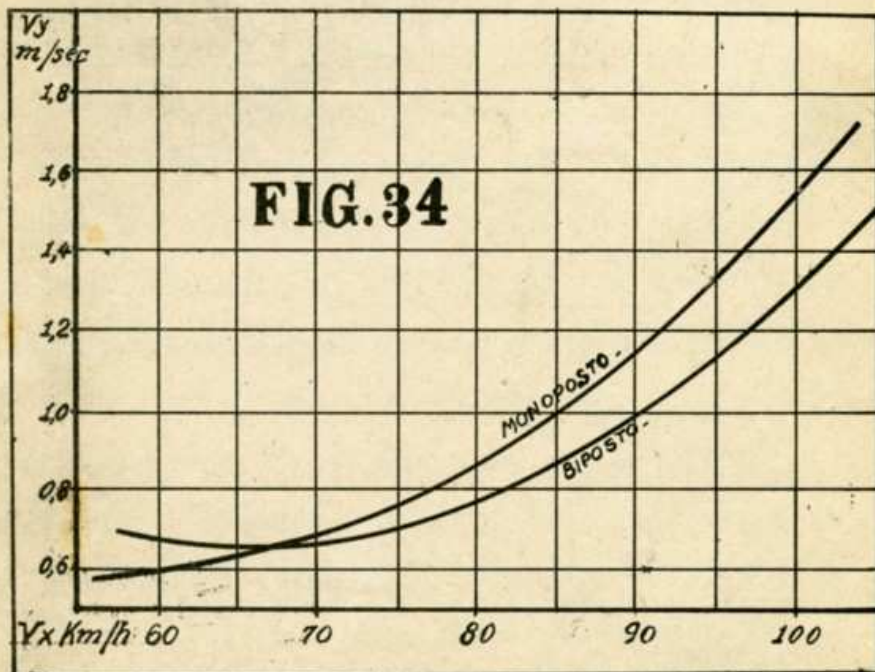
Ai fini della velocità di discesa, notiamo che ad un aumento di allungamento corrisponde un aumento di carico alare ed un aumento dell'efficienza. Si avrà quindi un valore per cui si incroceranno le influenze di questi due fattori a determinare la migliore velocità di discesa.

Se però esaminiamo la curva della velocità di discesa non solo nel suo punto di minima, ma nel suo aspetto generale, noteremo che crescendo l'allungamento e quindi il carico alare, la curva si sposta verso velocità orizzontali maggiori; avremo quindi che, in corrispondenza di velocità orizzontali piuttosto elevate (90/110 Km all'ora), le curve corrispondenti ai vari allungamenti si incrociano e che velivoli di maggiore allungamento, pur presentando un carico alare superiore, presentano delle caratteristiche migliori.

Questo fatto depone in un certo senso a favore dell'aumento di carico alare, cosa che del resto è già stata fatta, munendo il velivolo di una zavorra sganciabile a volontà; tale zavorra permette di ottenere doti migliori per alta velocità mentre il suo sganciamento in caso di necessità permette di ripristinare un carico alare più basso e quindi una più bassa velocità di discesa.



Rapporto di planata dell'aliante usato come MONO e BIPOSTO



Velocità di discesa dell'aliante usato come MONO e BIPOSTO

Possiamo ancora notare qualche aspetto dell'influenza dell'allungamento sul resto del velivolo (ala esclusa).

Della variazione di peso abbiamo già parlato; così pure si può tener conto nella stesura dei diagrammi relativi alle caratteristiche aerodinamiche, della diminuzione di superficie dei piani di coda necessaria al mantenimento della stabilità; ma, oltre a questo, un aumento di allungamento provoca, a parità di tutti gli altri fattori, un aumento della elasticità a flessione ed a torsione dell'ala, (ciò che peggiora il suo comportamento dinamico) e una maggiore difficoltà di costruzione e di disegno portata dalla sottigliezza dell'ala, particolarmente per la disposizione dei comandi e delle installazioni.

Essendo arrivati comunque a determinare le dimensioni dell'ala, possiamo facilmente inquadrare il dimensionamento delle altre parti.

Infatti la lunghezza di fusoliera od almeno, ciò che più importa, la distanza fra l'ala ed i piani di coda viene ad essere fissata in base a considerazioni di stabilità e maneggevolezza.

Noi possiamo ottenere la stessa stabilità statica variando opportunamente la lunghezza di fusoliera e la superficie dei piani di coda; noi possiamo cioè allungare la fusoliera e ridurre la superficie dei piani, oppure accorciare la fusoliera ed aumentare la superficie dei piani stessi.

La diminuzione di superficie e quindi di resistenza aerodinamica nel primo caso, viene ad essere in parte controbilanciata dalla maggiore resistenza superficiale della fusoliera e dal maggior peso di questa e si può dire in generale che la variazione in un senso o nell'altro si ripercuote in modo poco notevole sulle caratteristiche finali; si ha invece una notevole differenza di comportamento delle due soluzioni, quando si considera la diversità di comportamento dinamico: ciò depone a favore delle "code lunghe". La maggiore distanza dei piani di coda dall'ala, porta anche alla diminuzione dei fenomeni di interferenza aerodinamica.

Poichè naturalmente tutto è oggetto di compromesso, anche qui troviamo degli svantaggi che si oppongono alle code lunghe:

- 1° maggiore delicatezza,
- 2° maggiore peso,
- 3° minore manovrabilità.

Possiamo fissare grossolanamente un rapporto empirico fra l'apertura  $b$  e la lunghezza totale  $f$  sufficiente per una prima approssimazione:

$$f = 0,33 b + 2 \text{ metri}$$

Per quanto riguarda le dimensioni in senso trasversale e verticale della fusoliera, occorre notare che queste rimangono press'a poco costanti rispetto ai parametri considerati dovendo essa contenere qualcosa di ben

determinato (in generale l'equipaggio).

### M E C C A N I C A   D E L   V O L O

Studieremo il comportamento di un aliante che voli in aria calma e che segua una traiettoria rettilinea con velocità costante.

La meccanica del volo di un aliante è abbastanza semplice almeno quando si supponga l'aria perfettamente in quiete ed è così che, mancando parecchi elementi perturbatori i cui effetti non sono valutabili con precisione, i risultati analitici si avvicinano sufficientemente a quelli pratici.

Le forze applicate all'aliante sono soltanto due: la risultante aerodinamica ed il peso.

E' logico quindi che per qualsiasi assetto - rispettando le ipotesi premesse - si avrà equilibrio quando queste due forze abbiano la stessa retta di applicazione, la stessa intensità e verso opposto.

Queste condizioni ne contengono implicitamente un'altra: e cioè che sia nullo il momento rispetto ad un punto qualsiasi del velivolo.

Per semplicità si può addirittura considerare che le due forze abbiano lo stesso punto di applicazione. La forza peso  $Q$  può essere considerata costante, entro grandi limiti di approssimazione, al variare della quota



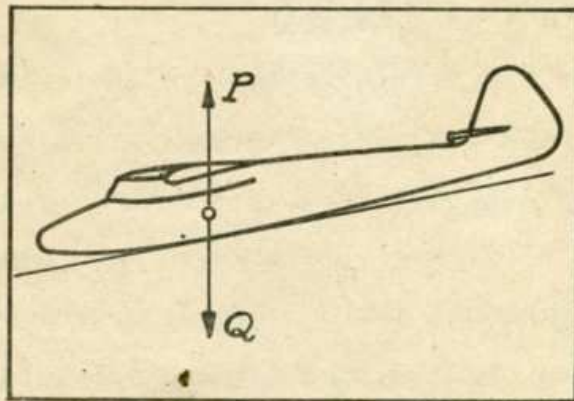
e della località; rimarrà perciò determinato il modulo del vettore risultante aerodinamica

$$Q = F \qquad Q = C \rho S V^2$$

E' chiaro che ponendo  $\rho$  costante, (1) ed essendo  $Q$  ed  $S$  costanti costruttive dell'aliante, si avrà una corrispondenza ben definita fra la velocità ed il coefficiente della risultante

$$V = \sqrt{\frac{Q}{C \rho S}} \qquad C = \frac{Q}{\rho S V^2}$$

Poichè  $C$  dipende dall'angolo di incidenza  $\alpha$ , per realizzare moti di velocità costante si dovrà forzatamente mantenere costante l'assetto.



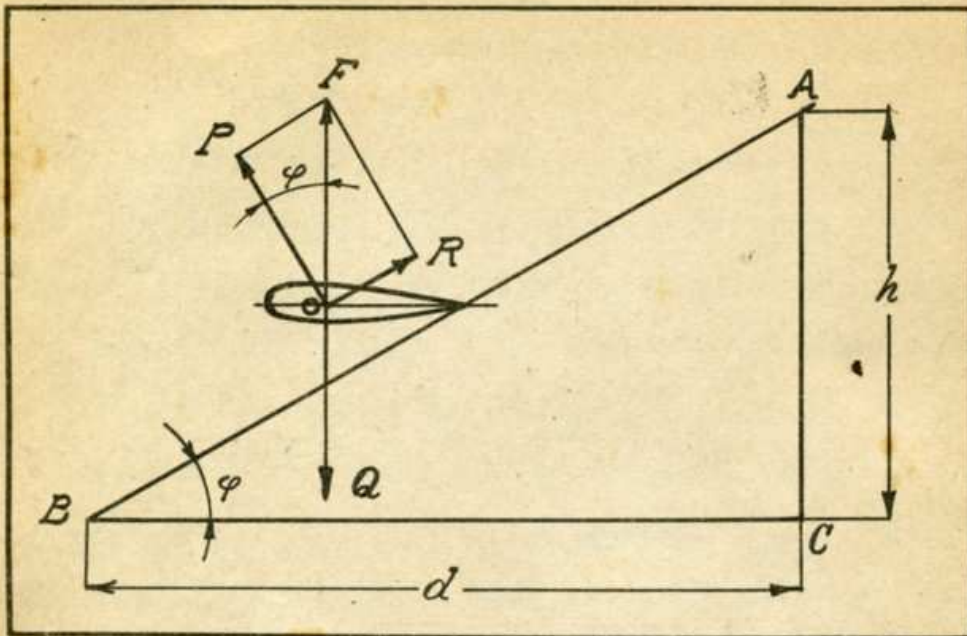
**FIG. 35**

Si può esplorare il comportamento dell'aliante nella gamma d'incidenze normali in funzioni delle stesse.

Si scomponga la risultante nelle due componenti  $P$  ed  $R$ .

---

(1) Nell'aria tipo internazionale,  $\rho$  a quota zero si pone uguale a  $\frac{1}{8} = 0,125$ .



**FIG.36**

Poichè P è perpendicolare alla traiettoria ed F è verticale, cioè perpendicolare all'orizzonte per ipotesi, avremo che l'angolo formato fra F e P e quello formato fra la traiettoria e l'orizzonte, sono uguali.

Richiamandoci all'uso del diagramma polare, potremo allora dire che l'angolo formato dal vettore risultante con l'asse delle ordinate è uguale all'angolo di planata.

Poichè  $\text{tg } \varphi = \frac{C_r}{C_p}$  avremo anche  $\frac{h}{d} = \text{tg } \varphi$  cioè, il rapporto fra il dislivello e la distanza percorsi, è uguale al rapporto fra resistenza e portanza.

$$\frac{C_r}{C_n} = \frac{h}{d}$$

Ciò che del resto si rileva facilmente dalla figura con-

siderando la similitudine fra il triangolo  $\hat{A}BC$  e il triangolo traiettoria-orizzontale-verticale. Di solito, anzichè considerare il rapporto  $\frac{C_r}{C_p}$ , si considera il suo inverso  $\frac{C_p}{C_r}$  cui si dà il nome di efficienza (indicata col simbolo  $E$ ).

$$E = \frac{C_p}{C_r}$$

Il rapporto  $\frac{d}{h}$  viene detto rapporto di planata oppure ancora efficienza.

Proponiamoci ora di ricavare la velocità sulla traiettoria  $V$  e di conseguenza quella verticale  $V_y$  e quella orizzontale  $V_x$ .

La velocità  $V$  sarà data da

$$V = \sqrt{\frac{P}{\rho S C_p}}$$

ma  $P = Q \cos \varphi$

e cioè

$$V = \sqrt{\frac{Q \cos \varphi}{\rho S C_p}}$$

la velocità orizzontale sarà quindi data da

$$V_x = V \cos \varphi = \cos \varphi \sqrt{\frac{Q \cos \varphi}{\rho S C_p}}$$

mentre quella verticale sarà

$$V_y = V \sin \varphi = \sin \varphi \sqrt{\frac{Q \cos \varphi}{\rho S C_p}}$$

Oppure, considerando che

$$\frac{V_y}{V_x} = \frac{h}{d} = \operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{E}$$

avremo che

$$V_y = \frac{V_x}{E} = \frac{\cos \varphi \sqrt{\frac{Q \cos \varphi}{\rho S C_D}}}{E}$$

Spesso però, per angoli  $\varphi$  molto piccoli, cioè per assetti normali, si può semplificare ponendo il termine  $\cos \varphi$  uguale a 1. Si avrà quindi praticamente :

$$V_x = V = \sqrt{\frac{Q}{\rho S C_D}}$$

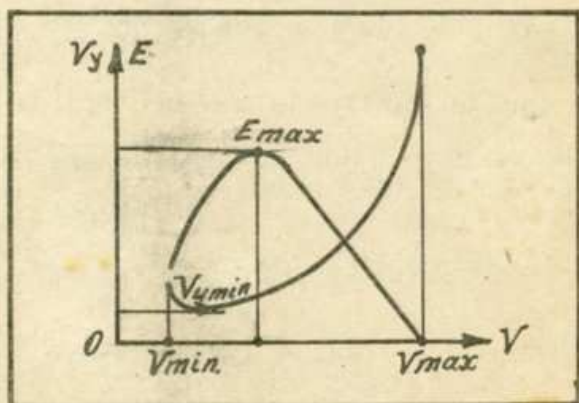
$$V_y = \frac{V_x}{E} = \frac{1}{E} \sqrt{\frac{Q}{\rho S C_D}}$$

Per renderci conto dell'errore commesso nel porre  $\cos \varphi = 1$  noteremo che il rapporto  $\frac{1}{E}$  si aggira attorno a  $\frac{1}{20} \sim \frac{1}{30} = 0,05 \sim 0,0333\dots$

Per questi valori avremo  $\cos \varphi = 0,998 \sim 0,9994$ .

Poichè ai fini pratici è più comodo misurare la velocità anzichè l'assetto si disegnino le due curve rappresentatrici del rapporto di planata  $E$  e della velocità di discesa  $V_y$  in funzione di  $V$ . Sono questi due parametri fondamentali che caratterizzano il comportamento dell'aliante.

**FIG.37**



Gli assetti caratteristici sono i seguenti, nel senso crescente di  $V_x$ :

- Minima velocità orizzontale,
- Minima velocità verticale,
- Massimo rapporto di planata,
- Massima velocità verticale.

La minima velocità orizzontale viene ricavata facilmente dalla formula

$$V = \sqrt{\frac{Q}{\rho S C_p}}$$

quando si ponga al posto di  $C_p$  il  $C_p$  massimo compatibile col profilo

$$V_{x_{\min}} = \sqrt{\frac{Q}{\rho S C_{p_{\max}}}}$$

Moltiplicando per  $\frac{1}{E}$  la  $V_{\min}$  si ottiene la velocità verticale corrispondente

$$V_{y_{\min}} = \frac{\sqrt{\frac{Q}{\rho S C_{p_{\max}}}}}{E}$$

In forma meno semplice si ottiene l'assetto di minima velocità di discesa, in quanto essa dipende sia da  $C_p$  che da  $E$ .

$$V_y = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{Q}{S}} \cdot \frac{1}{E \sqrt{C_p}}$$

Dalla forma suesposta che non è altro che una trasformazione più comoda della precedente, si ottiene che, a parità di  $\rho$  e di  $\frac{Q}{S}$ , la velocità di discesa è inversamente proporzionale al termine  $E \sqrt{C_p}$ , ed essendo

$$E = \frac{C_p}{C_r}$$

$$E \sqrt{C_p} = \frac{C_p \sqrt{C_p}}{C_r} = \frac{C_p^{3/2}}{C_r}$$

Concludendo, la velocità di discesa sarà minima quando si avrà il massimo  $\frac{C_p^{3/2}}{C_r}$  (1)

Continuando l'esame delle nostre curve, aumentando ancora la velocità, troveremo l'assetto cui corrisponde la massima efficienza cioè il migliore rapporto fra distanza percorsa e quota perduta.

Abbiamo già visto che  $E = \frac{C_p}{C_r}$ ; quindi nel diagramma polare otterremo l'assetto di massima efficienza mediante la tangente dall'origine alla polare.

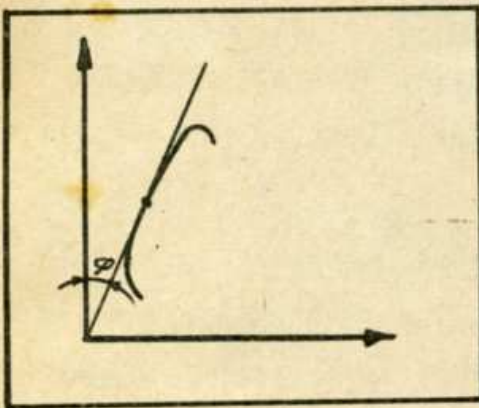


FIG. 38

Infatti  $E = \frac{1}{\text{tg } \varphi}$  e quindi, al minimo valore di  $\text{tg } \varphi$ , corrisponde la massima efficienza.

Dobbiamo ora esaminare il quarto assetto. Si noti come l'asse delle ascisse porti lungo la traiettoria le scale del-

le velocità  $V$  e non quella della velocità orizzontale  $V_x$ . Ciò perchè, per i primi tre assetti caratteristici,  $V$  poteva praticamente confondersi con  $V_x$  mentre, per valori elevati di  $V$ , l'efficienza diminuisce il valore di  $\cos \varphi$  diminuisce e si discosta troppo dal valore 1.

(1) Tale termine è detto fattore di potenza perchè ad esso è inversamente proporzionale la potenza necessaria per il volo orizzontale nell'assetto considerato. Infatti

Al limite,  $\cos \varphi$  si uguaglia a 0, cioè la velocità orizzontale sarà nulla. Vogliamo vedere che cosa succede in questo caso. Perchè  $\cos \varphi$  sia uguale a zero, occorre che anche  $P$  sia uguale a zero, occorre cioè che ci si trovi nell'assetto di portanza nulla.

La risultante in questo caso sarà uguale alla sola resistenza. Dovendosi avere un moto rettilineo ed uniforme, la resistenza deve uguagliare il peso

$$Q = R$$

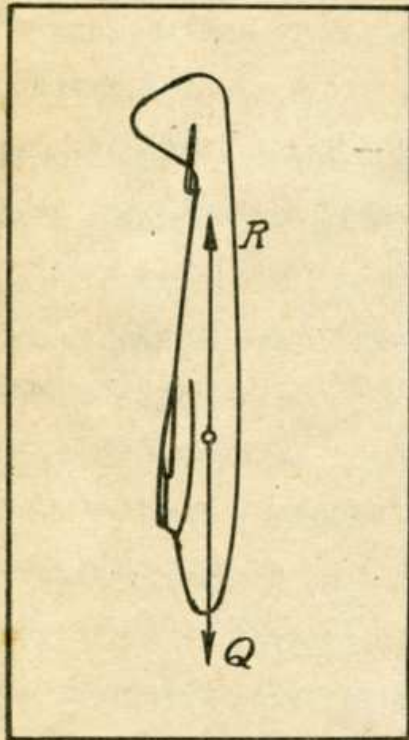
$$Q = \rho S V^2 C_r.$$

Si ottiene quindi facilmente il valore della velocità  $V$  che per questo particolare assetto è uguale a  $V_y$  poichè

$$V_y = V \sin \varphi \text{ e } \varphi = 90^\circ$$

$$V = V_y = \sqrt{\frac{Q}{\rho S C_r}}$$

Questa velocità si indica col nome di velocità limite in picchiata verticale e la sua determinazione è assai importante agli effetti costruttivi.



**FIG.39**

se un velivolo pesa  $Q$  kg e scende verticalmente con una velocità verticale  $V_y$  m/sec., la potenza necessaria ad equilibrare tale discesa, necessaria cioè a dare il volo orizzontale, sarà  $\Pi = Q \cdot V_y$ . E' logico che l'assetto per cui è minima la potenza necessaria al volo orizzontale, sarà quello per cui è minima  $V_y$ , per cui cioè è massimo il termine  $\frac{C_p^{3/2}}{C_r}$ .

PARTE III

NOZIONI DI DISEGNO

AVVIAMENTO DELLA FUSOLIERA

Premesse

Il disegno della fusoliera di un aliante rappresenta nel progetto una fase direi quasi artistica e nella quale, meglio che altrove, si rivela la personalità e la genialità di un costruttore. Non esiste alcuna regola pratica, non esistono formule, non esistono delle norme fisse che permettano, date le dimensioni di ingombro, di ricavare la miglior forma di fusoliera.

Naturalmente, l'empirismo di questo disegno deve avere delle salde basi nella conoscenza qualitativa dei fenomeni riguardanti la forma della fusoliera stessa.

Anche qui, come del resto in tutte le parti di un velivolo, o meglio in tutte le parti di una macchina qualsiasi, dovremo ricercare il compromesso fra varie condizioni.

Le sezioni possibili di fusoliera, sono fra le più varie, dalla quadrangolare all'ellittica, dalla esagonale a quella ovoidale; cerchiamo quindi di mettere in



luce tutti i fattori che possono consigliare sulla scelta della sezione.

Dal punto di vista aerodinamico, sono le fusoliere a forma arrotondata quelle che ovviamente hanno le migliori caratteristiche; tali fusoliere però male si conciliano con le esigenze di semplicità e di leggerezza. A questo proposito gioverà fare una breve divagazione: abbiamo detto che il disegno di un elemento qualsiasi dipende dalla fissazione di un certo compromesso: ora questo compromesso, è funzione, e per una parte assai notevole, dei mezzi a disposizione del costruttore per il disegno e la realizzazione del velivolo.

Una certa soluzione che, realizzata in speciali condizioni di attrezzatura e di mano d'opera, può dare dei risultati soddisfacenti, può viceversa risultare peggiore di un'altra (che pure sulla carta era data come inferiore) quando ad esempio la sua realizzazione risulti superiore alle capacità della mano d'opera a disposizione. Non solo, ma vi è da tener presente un altro fatto importantissimo: qualche volta viene domandato al costruttore di un aliante perchè non abbia realizzato il tal pezzo in un certo modo, sfruttando i più recenti ritrovati della tecnica aeronautica. Ora è bene considerare che generalmente si disegna un aliante col concetto di costruire il solo prototipo od almeno una serie molto limitata e che quindi procedimenti costruttivi convenienti per una gran-

de officina attrezzata, che costruisce serie notevoli di un dato velivolo, sono troppo onerosi e qualche volta persino negativi per la costruzione artigiana, quasi artistica di un solo esemplare.

Se pensiamo ad esempio che qualche volta si riscontra una notevole difficoltà a far eseguire dei pezzi piuttosto semplici, quali possono essere piastre d'attacco, ecc., ricavate da lastra, come si può pensare disegnare dei pezzi complicati e la cui esecuzione richiede delle tolleranze di lavorazione assai elevate?

Ritornando alla fusoliera, dovremo adattare il suo disegno a quelle che saranno le condizioni di impiego ed alla disponibilità di mezzi durante la costruzione. Ad esempio, se si tratta di un apparecchio scuola, in cui le riparazioni sono piuttosto frequenti e vengono fatte in genere sul campo da mano d'opera non troppo specializzata, sarà opportuno che il sistema costruttivo sia alquanto semplice e primitivo; è inutile quindi pensare di costruire fusoliere ovoidali od altre che mal si presterebbero a simili riparazioni.

Quando invece si voglia pensare a progettare un aliante di altissima classe, si può anche sacrificare non poco della semplicità di lavorazione pur di ottenere le caratteristiche migliori; tale aliante in genere, andrà in mano a pilota sperimentato e la sua delicata manutenzione sarà oggetto di cure scrupolose da parte dei costruttori stessi che bene lo conoscono in ogni sua parte.

Fissata comunque la forma della sezione fondamentale di fusoliera, è necessario passare al lavoro di avviamento che consiste nel disegnare tutta la fusoliera in modo che la sua forma risulti, compatibilmente con la sezione scelta, la migliore dal punto di vista aerodinamico; anche in questo lavoro ci si deve affidare per buona parte all'intuito ed "all'occhio".

In effetti quasi sempre l'estetica della forma corrisponde alle qualità aerodinamiche. Occorre naturalmente che il giudizio venga da un occhio esercitato, per cui la razionalità venga tradotta inconsciamente in aspetto piacevole.

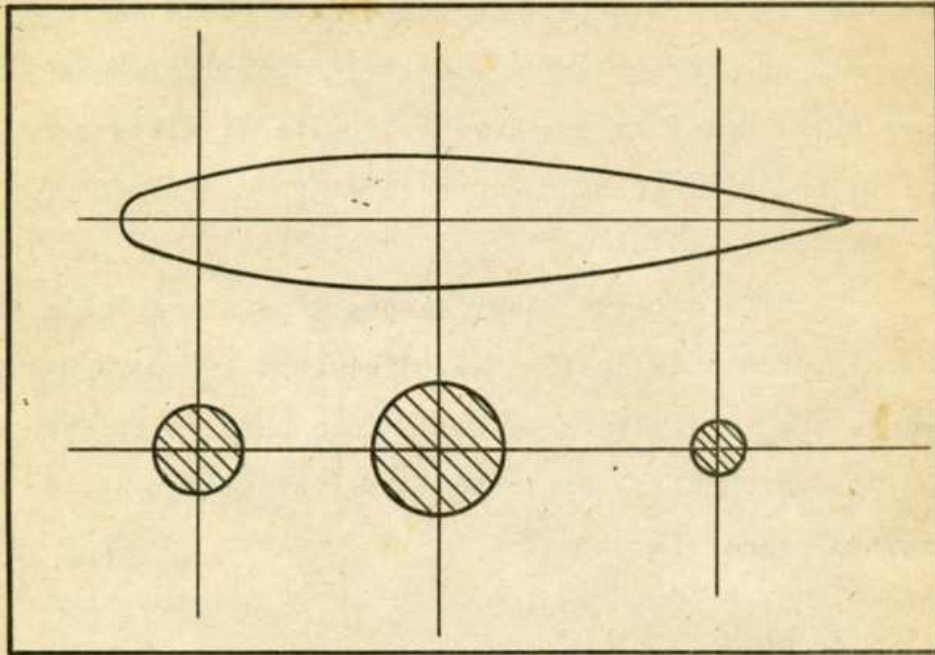
### Il disegno

Ciò premesso, passiamo a fare alcune considerazioni fra le più importanti in tema di avviamento.

Se consideriamo un solido di rivoluzione in cui le sezioni siano quindi dei cerchi, basterà, perchè questo solido sia avviato, che sia avviata una qualsiasi generatrice. Possiamo estendere questo concetto a sezioni non tonde, ma fra loro omoetiche e che siano allineate su un asse rettilineo corrispondente ad un punto fisso della sezione.

Per esempio, una fusoliera ellittica in cui il rapporto fra gli assi delle ellissi sia costante, sarà avviata allorchè noi avvieremo un parametro qualsiasi, per esempio uno degli assi, e quando tutte queste ellis-

si siano allineate su un asse passante per un punto caratteristico (centro od uno dei fuochi).



**FIG.40**

Similmente risulterebbe avviata una fusoliera quadrangolare in cui rimangono omotetiche le sezioni ed allineate in corrispondenza dell'incrocio delle diagonali. Gli esempi si possono moltiplicare e si può passare da una fusoliera a sezione triangolare allineata lungo i baricentri delle sezioni, ad una forma ovoidale che risulterà ugualmente allineata quando si sia fatto l'avviamento di un parametro qualsiasi, con la solita limitazione che l'allineamento venga effettuato su un punto caratteristico.

Le cose si complicano già notevolmente quando da forme omotetiche si passi a delle sezioni appartenen-

ti ad una stessa famiglia, ma non simili; ad esempio possiamo considerare una fusoliera a sezione ellittica, in cui il rapporto di eccentricità vari da sezione a sezione: in questo caso, pure essendo la fusoliera allineata su uno dei fuochi o sul centro, non risulterà necessariamente avviata se non quando sia stato avviato l'andamento dei due assi, non solo, ma anche il rapporto fra gli stessi.

La stessa cosa si può dire per una fusoliera rettangolare in cui occorre avviare le lunghezze dei due lati ed il rapporto fra le stesse.

La complicazione si fa ancora maggiore quando l'asse non è rettilineo, ciò che generalmente avviene nella parte anteriore della fusoliera degli alianti: occorre in questo caso verificare l'avviamento su diversi parametri e sulla somma e rapporti fra vari di essi.

Consideriamo, per chiarire meglio le idee, una fusoliera a sezioni omotetiche ovoidali in cui l'asse longitudinale sia incurvato verso il basso nella parte anteriore. I parametri da avviare vengono ad essere allora questi:

- 1° parametro base per il disegno della sezione, per esempio larghezza o raggio superiore
- 2° altezza superiore
- 3° altezza inferiore.

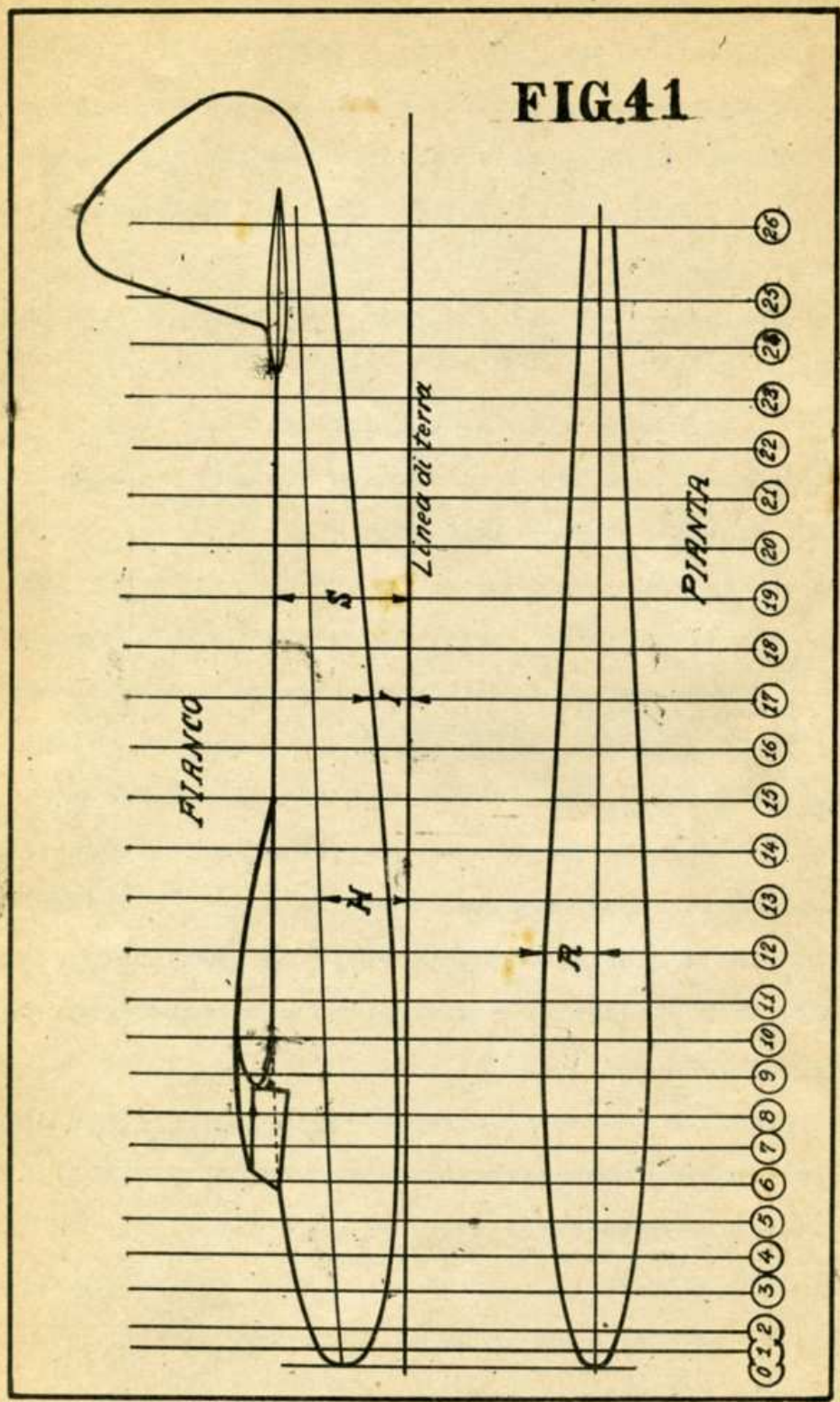
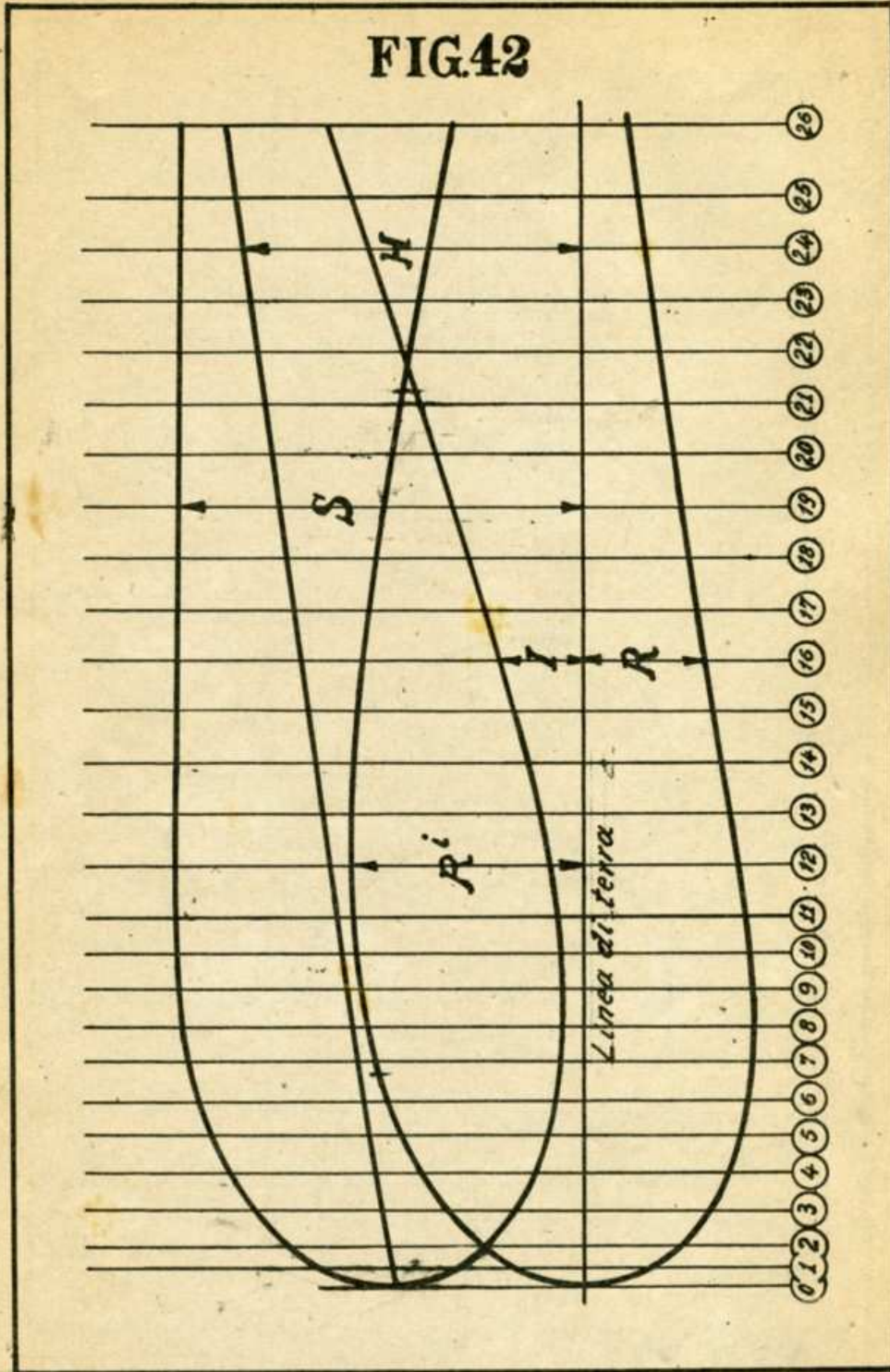


FIG 42



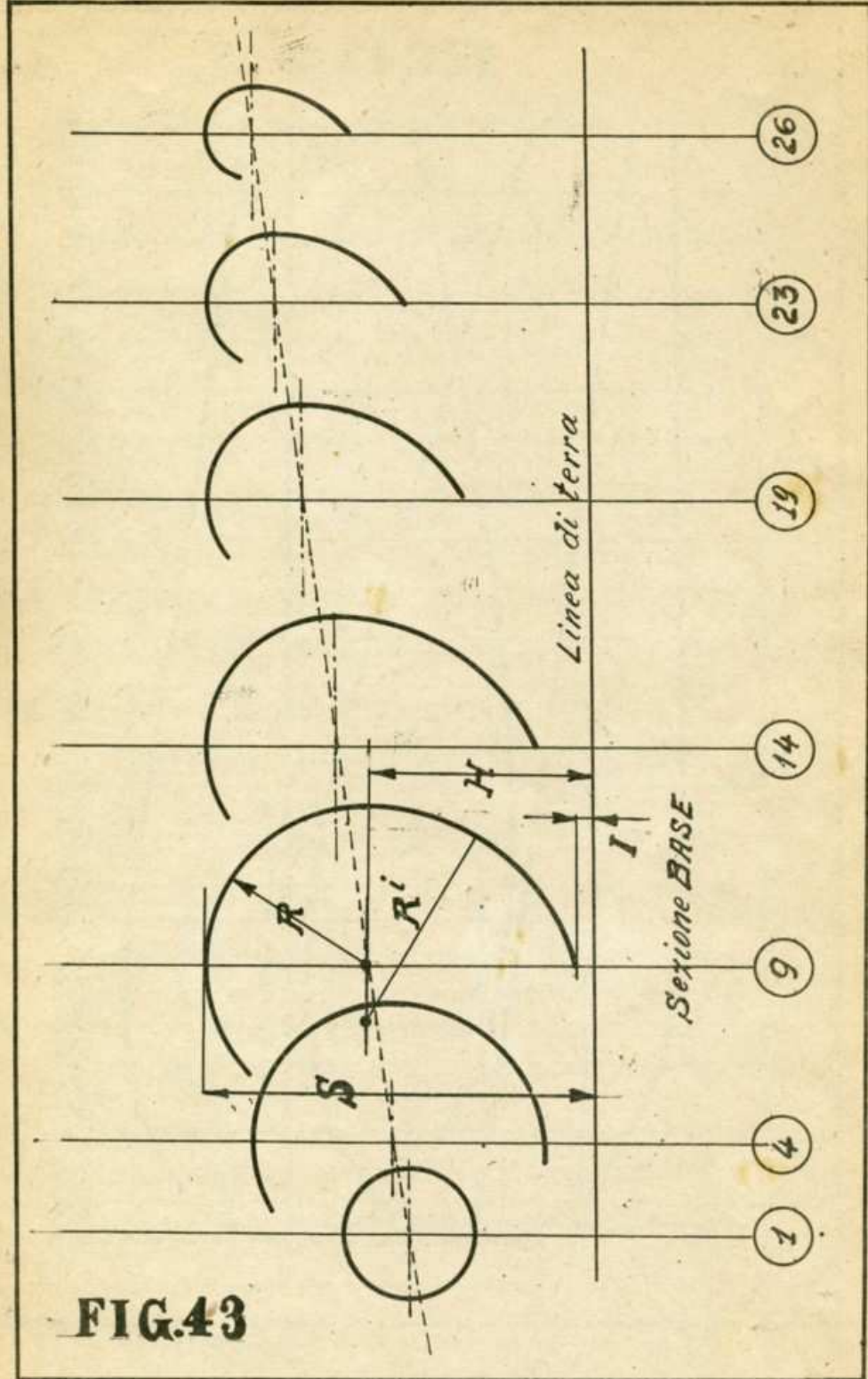


FIG.43



Le considerazioni suesposte sono abbastanza intuitive e di facile applicazione fino a che si tratti di forme particolarmente semplici e fino a quando non si considerino intersezioni di piani di coda, ala, abitacoli, o la sovrapposizione di altri elementi.

In questo caso; il disegno stesso suggerirà quali sono i parametri da verificare ed è logico che non si possa dare nessuna norma fissa.

Abbiamo assunto come base l'avviamento di uno o più parametri della fusoliera, ma non abbiamo detto come si possa procedere all'avviamento degli stessi.

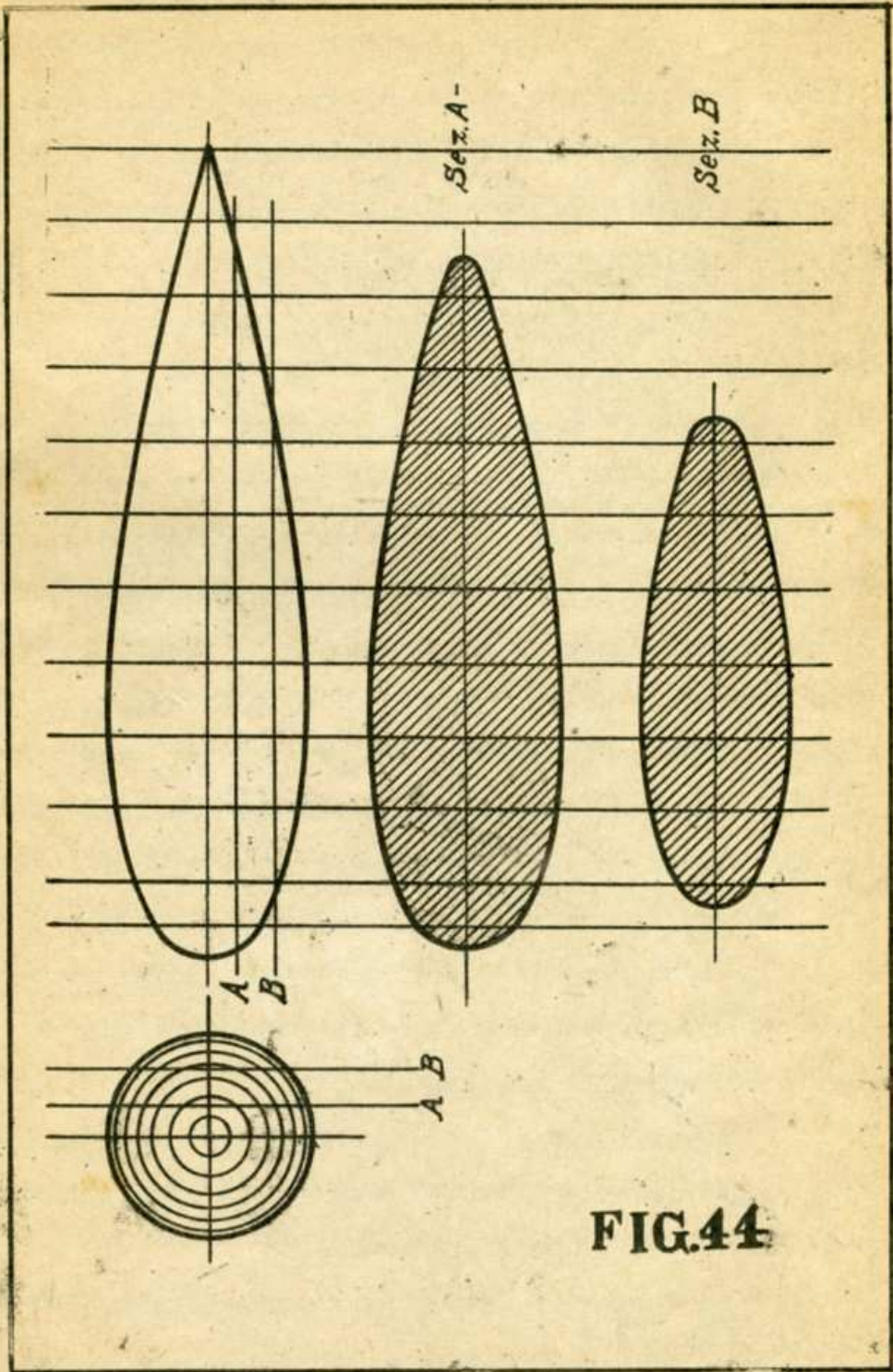
Qualche volta il valore dei parametri viene ricavato disegnando un profilo (quasi sempre simmetrico) e rilevando, in corrispondenza dell'ordinata considerata, la quota del profilo; non sempre però è possibile ricorrere a tale procedimento il quale, fra l'altro, non è troppo esatto. Si cerca allora di disegnare prima ad occhio la linea desiderata e di verificare quindi il suo andamento, mediante il forzamento di curvatura della stessa; in pratica, si procede in questo modo: si disegna la fusoliera con la scala delle lunghezze di 1/10 e con la scala delle dimensioni trasversali o dei parametri da verificare in scala 1/5 o 1/2; il rapporto fra le due scale verrà suggerito dall'esperienza e dal caso specifico inquantochè una esagerazione nel forzamento della curva porterà a delle difficoltà nell'apprezzare bene l'andamento della curvatura, mentre un valore troppo elevato del-

la scala porterebbe ad insufficiente approssimazione nella lettura.

#### Fusoliera a sezioni complesse

Quanto abbiamo detto finora serve fino a tanto che si parli di fusoliera a sezioni facilmente individuabili geometricamente; tutto il ragionamento cade allorchè le sezioni abbiano una forma particolare e priva di riferimenti geometrici; in questo caso si può adottare il procedimento delle così dette "linee d'acqua" per il fatto che questo procedimento è molto usato nelle costruzioni nautiche.

Per fare questo, si seziona la fusoliera longitudinalmente con dei piani verticali ed orizzontali e si tracciano le linee di intersezione di questi piani con la fusoliera: l'andamento di queste intersezioni è sufficiente a valutare l'avviamento della fusoliera; giova però notare a questo proposito che queste linee d'acqua non devono essere necessariamente delle linee di buona penetrazione, come a prima vista potrebbe sembrare, poichè l'andamento dei filetti intorno alla fusoliera non sarà generalmete parallelo ai piani di intersezione. Ad esempio, se noi sezioniamo con dei piani paralleli all'asse longitudinale una fusoliera di sezioni tonde, troveremo come linee di intersezione delle figure posteriormente non appuntite; ciò nonostante, la fusoliera rotonda è una delle migliori dal punto di vista della resistenza



**FIG. 44**

alla penetrazione.

Occorre inoltre fare delle sezioni con dei piani anche non paralleli all'asse longitudinale, specialmente per accertarsi del buon comportamento della fusoliera quando l'asse della stessa formi un certo angolo con la direzione della traiettoria.

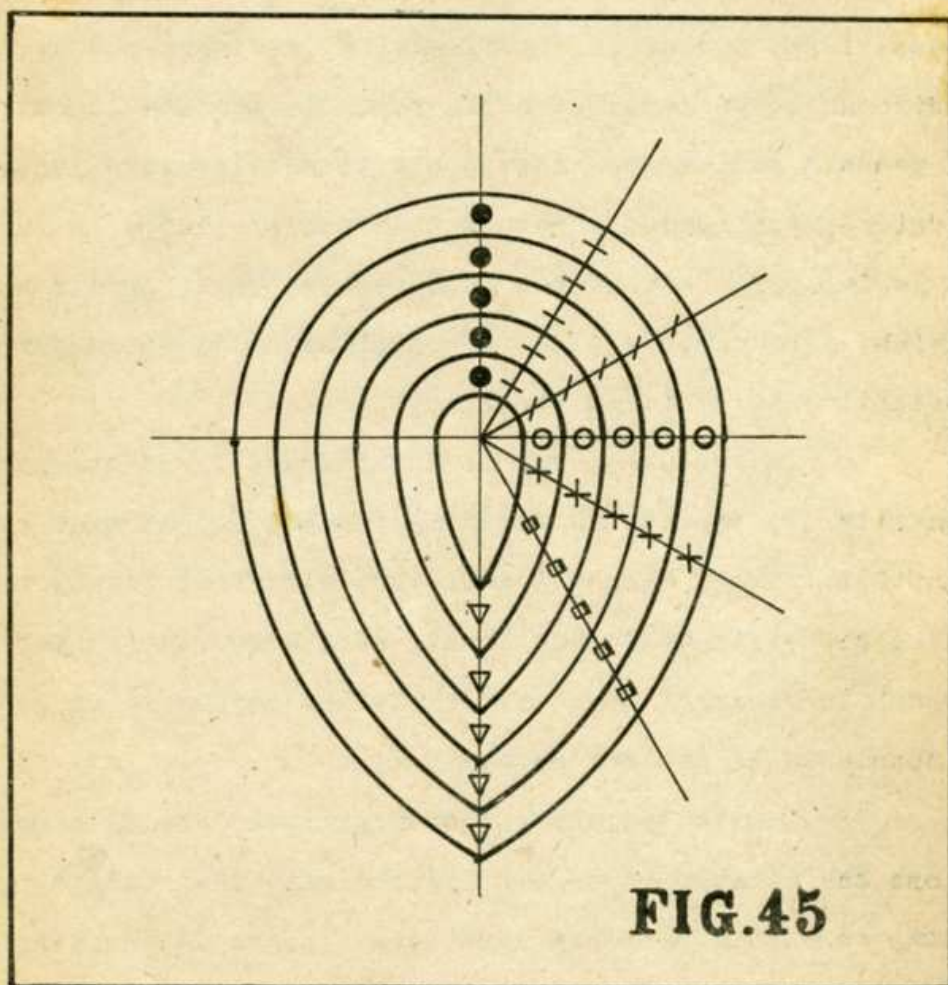
Naturalmente, hanno la loro parte le esigenze costruttive, le quali vengono come al solito, a complicare il problema. E' noto che la copertura con pannelli di compensato si presta male ad essere eseguita su superficie a doppia curvatura; in effetti il compensato può rivestire solo delle parti sviluppabili, consentendo tutt'al più un piccolo stiramento: da qui la necessità di tenere la superficie della fusoliera il più sviluppabile possibile, tale cioè da avere delle generatrici rettilinee lunghe nella maggior misura consentita e che, nei punti dove non possono essere rettilinee, presentino dei raggi sufficientemente grandi.

Quando le sezioni di una fusoliera si mantengono omotetiche, è facile trovare le condizioni che assicurino la sviluppabilità della stessa.

Basterà infatti che uno qualsiasi dei parametri della sezione risulti avviato secondo una retta, dando luogo così ad una superficie conica.

Se invece le sezioni non sono omotetiche, le condizioni diventano più complesse e meno intuitive e sarà be-

ne, dopo aver vagliate le condizioni stesse, caso per caso, fare qualche verifica grafica. Una fra le tante verifiche possibili e questa: disegnate le due sezioni comprendenti il tratto sviluppabile in modo che una risulti interna all'altra e congiungendo con delle rette alcuni punti caratteristici, occorre che le sezioni intermedie stacchino su queste rette dei segmenti proporzionali alle distanze tra le sezioni e, come caso particolare, se le sezioni sono fra loro equidistanti, dei segmenti uguali.



Nel caso di sezioni poligonali, siamo quasi sempre in presenza di superfici sviluppabili, e non occorrerà fare alcuna verifica.

Praticamente il procedimento del disegno di una fusoliera è il seguente: si disegnano dapprima le due viste della fusoliera (di fianco ed in pianta) tenendo conto dell'ingombro dovuto al posto di pilotaggio, ai comandi, ed a tutto ciò che è contenuto in generale nella fusoliera; si fissa poi la forma fondamentale della sezione della fusoliera e l'eventuale variazione della forma stessa lungo l'asse longitudinale; si cercherà poi di definire un corpo semplice della forma desiderata di cui si possano facilmente individuare geometricamente le sezioni. Generalmente, questo solido non si adatta a tutte le funzioni desiderate, ma è necessario ricorrere a qualche deformazione o sovrapposizione di un altro corpo possibilmente di forma semplice.

Individuata così la fusoliera nel suo abbozzo spaziale, si procede ad un primo disegno in cui sian contenuti tutti gli elementi necessari alla individuazione della geometria della fusoliera: da questo disegno sarà possibile ricavare i valori di tutti i parametri in corrispondenza di diverse sezioni.

Queste sezioni possono corrispondere alla posizione che avranno in seguito le ordinate costruttive oppure, essendo abbastanza difficile fissare la posizione

delle stesse prima del disegno definitivo, si potranno considerare delle sezioni collocate in posizione arbitraria ed in numero sufficiente. Si portano quindi i valori di questi parametri in scala forzata rispetto alle lunghezze parallele all'asse longitudinale.

Generalmente la curva che congiunge i punti così assegnati, darà subito l'impressione, con la sua irregolarità, della imprecisione dei valori riportati dai punti stessi; l'andamento della curva stessa suggerirà le variazioni che si devono apportare per avere un buon avviamento; fatto questo, occorre di nuovo disegnare le sezioni coi valori corretti, per accertarsi che esse effettivamente corrispondano ai desiderata dal punto di vista aerodinamico e dell'ingombro.

In seguito, si passa alla sovrapposizione degli altri elementi, p.es. pattini di atterraggio, carenatura del posto di pilotaggio, raccordi, ecc. Gli stessi disegni dell'avviamento dei parametri, possono servire in un secondo tempo a ricavare i valori dei parametri stessi in corrispondenza delle sezioni costruttive.

TRACCIAMENTO DEI PROFILI NELLE ALI  
A PROFILO VARIABILE

Come è noto nella maggior parte delle ali degli alianti, il profilo non è costante, Si tratta di vedere, dati i profili fondamentali, come si possono tracciare i profili intermedi.

Consideriamo un tratto d'ala compreso fra due profili noti: la variazione del profilo è generalmente lineare. Occorre però specificare bene tale linearità: infatti noi possiamo considerare due profili di lunghezza unitaria, operare una variazione lineare fra questi due profili e poi moltiplicare i valori ottenuti per trovare le quote delle centine reali.

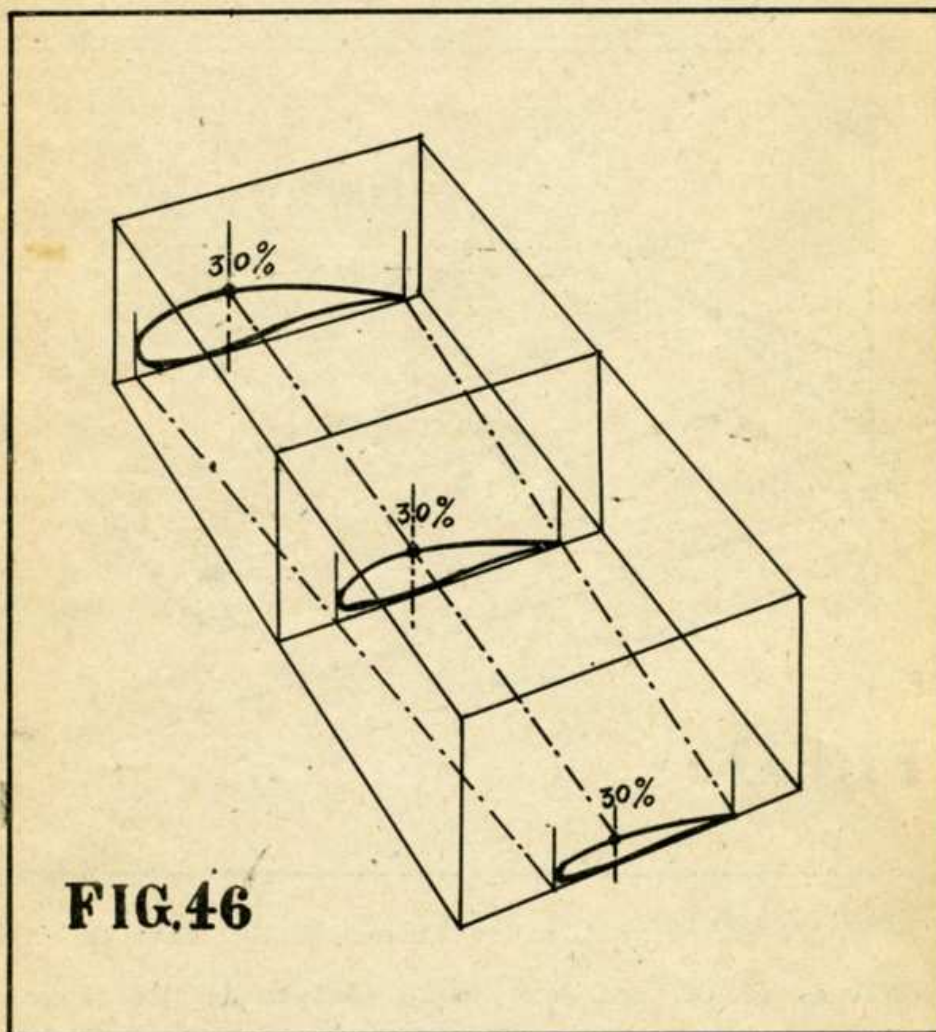
Facendo in questo modo in un'ala linearmente rastremata non si avrebbero delle generatrici rettilinee e quindi la copertura del bordo di attacco non sarebbe sviluppabile. Ora, poichè per la semplicità di costruzione è bene che tale copertura, eseguita in compensato, sia sviluppabile, sarà opportuno avere queste generatrici rettilinee.

A questo fine, basta semplicemente partire dalle centine disegnate nelle loro varie grandezze od almeno ridotte nella stessa scala. Graficamente, si può facilmente intuire come si faccia ad ottenere un profilo



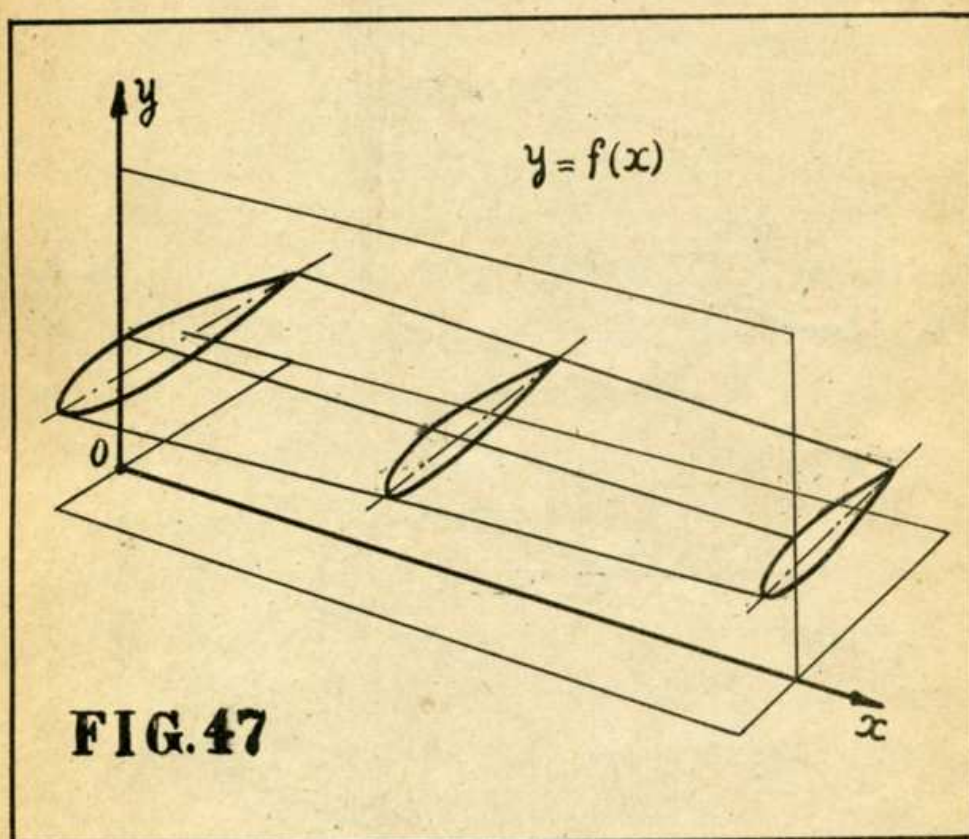
intermedio.

Infatti congiungiamo un punto del primo profilo (per esempio la quota superiore in corrispondenza del 30% della corda) col punto omologo dell'altro e si otterrà appunto una di tali generatrici.



E' chiaro che l'intersezione di questa retta con un piano situato in corrispondenza della céntina che si vuole tracciare, fornirà la quota cercata.

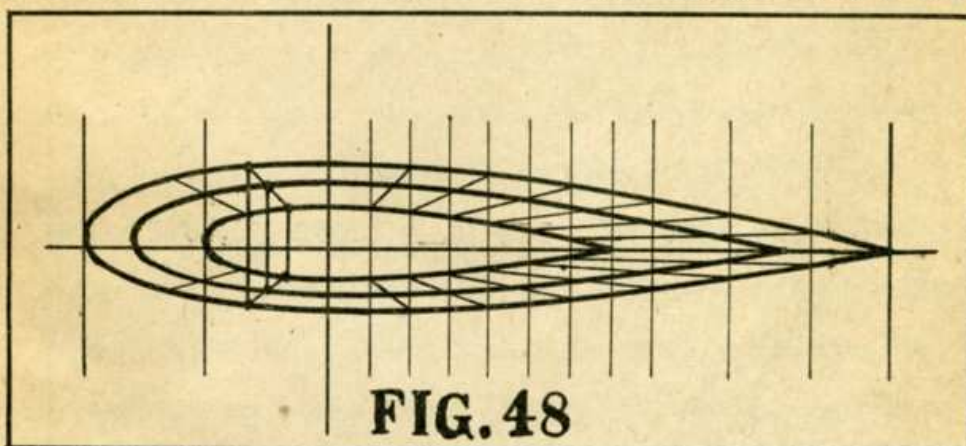
Tale operazione grafica si può anche svolgere analiticamente: basterà infatti considerare l'equazione di questa retta. Per maggiore semplicità, invece di scrivere l'equazione nello spazio, scriviamo l'equazione della retta su un piano contenente tale retta e perpendicolare al piano di costruzione.



**FIG. 47**

Si potrà facilmente trovare l'ordinata in corrispondenza della posizione della céntrina da tracciare, risolvendo l'equazione in funzione della ascissa. Questo metodo generale è alquanto laborioso e si può semplificare a condizione che le céntrine intermedie siano fra loro equidistanti. In questo caso basta fare la differenza fra

le coordinate e dividere questa differenza per il numero delle cèntine pi  1; si ottiene in questo modo l'incremento dell'ordinata per il passaggio da una c ntina all'altra; baster  sommare questo incremento all'ordinata pi  piccola o sottrarlo a quella pi  grande per ottenere l'ordinata della c ntina successiva. Continuando a som-



**FIG. 48**

mare o a sottrarre, si definiscono le ordinate di tutte le cèntine.

Anche in caso che le cèntine non fossero equidistanti si potrebbero calcolare dall'incremento proporzionale alle distanze, ma ci  equivarrebbe press'a' poco a ricorrere alla equazione della generatrice.

Per ali in cui la rastremazione non   rettilinea (per esempio un'ala ellittica) si usa normalmente fare la variazione di profili per un'ala rettangolare e poi passare alle vere lunghezze di cèntine.

E' necessario qualche volta fare delle variazioni di profili non rettilinee, per esempio nei raccor-

di d'ala, dove si usa qualche volta una variazione parabolica. In questo caso è più conveniente il procedimento analitico che consiste semplicemente nello scrivere le equazioni delle generatrici che saranno delle parabole.

Ancora è necessario qualche volta, specialmente nei terminali d'ala o di piani di coda, ricorrere ad un assottigliamento di profilo per meglio raccordare il terminale stesso.

Può convenire in questo caso, disegnare una falsa pianta di estremità in cui le lunghezze delle generatrici siano diminuite in modo che lo spessore calcolato in base alle corde fittizie sia quello desiderato. Il contorno armonico di questo terminale fornisce una prova sicura dell'avviamento all'assottigliamento relativo. Calcolate le ordinate per queste cèntine, si tratterà soltanto di riportare le ascisse alle lunghezze reali delle cèntine.

Normalmente, quando si calcolano le variazioni di profili in un'ala trapezoidale la cui estremità è arrotondata, si disegna dapprima un'ala trapezoidale troncata all'estremità, in modo da poter agevolmente calcolare i vari profili e poi, per le cèntine interessate all'arrotondamento, si moltiplicano le coordinate per il rapporto fra la lunghezza reale e la lunghezza virtuale.

CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLA  
INTERSEZIONE ALA-FUSOLIERA

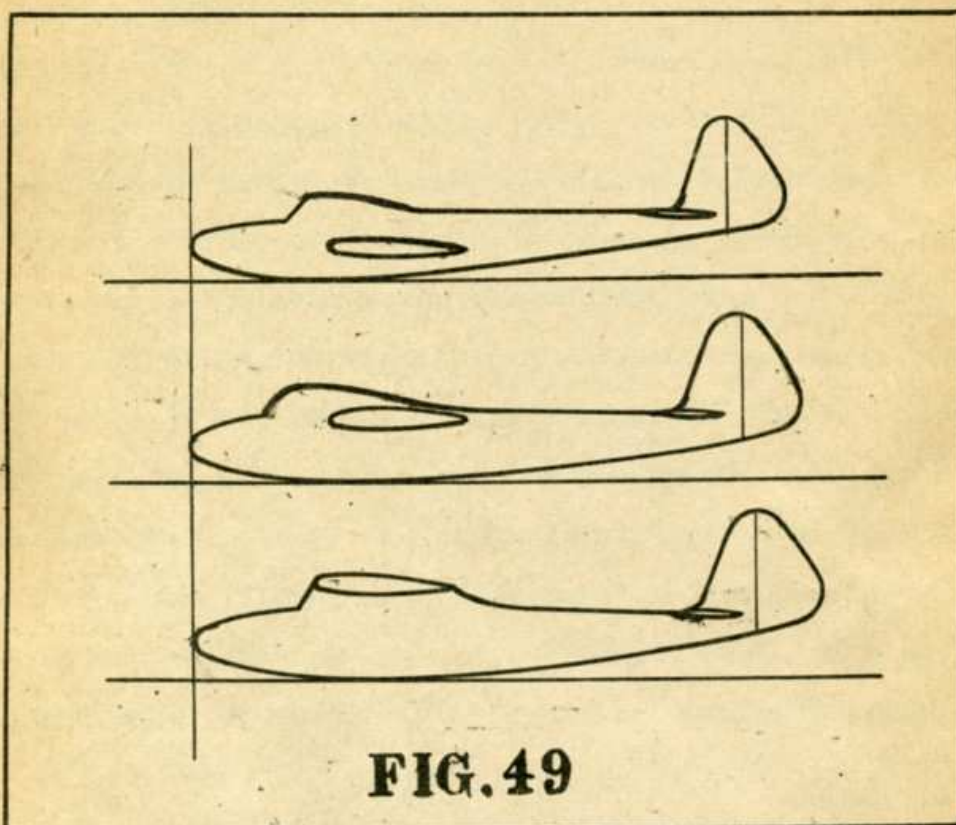
Un argomento assai importante è costituito dal comportamento della intersezione ala-fusoliera; il comportamento di tale intersezione, incide in misura assai notevole sul comportamento complessivo dell'apparecchio; infatti una intersezione male disegnata potrà portare ad un aumento del 10-20% e più di resistenza complessiva.

Uno studio sistematico della intersezione non è possibile se non con l'ausilio di laboriose esperienze alla galleria aerodinamica. Si può dire che per ciascuna ala e ciascuna fusoliera esiste un tipo di raccordo che meglio si adatta; non solo, ma che una variazione anche piccola di posizione relativa, apporta delle sensibili modificazioni al risultato finale.

In un aliante, possiamo definire schematicamente tre posizioni possibili dell'ala rispetto alla fusoliera. La prima è l'ala media, la seconda è l'ala alta affiorante all'incirca al dorso della fusoliera, la terza è l'ala sopraelevata.

Condizioni essenziali da rispettare sempre, sono le seguenti: l'angolo formato fra la superficie dell'ala e del piano tangente alla fusoliera lungo la linea di intersezione, non dovrà mai essere troppo piccolo e

comunque possibilmente maggiore di 90 gradi; la distanza fra le due linee di intersezione superiore od inferiore, non deve diminuire, andando dal bordo di attacco verso il bordo di uscita.



Non sempre queste due condizioni possono essere rispettate: da ciò deriva la necessità di ricorrere ai raccordi: è chiaro che se la regione contenente la linea di intersezione si trovasse sempre in zona di pressione, non si avrebbe (considerando di non avere discontinuità od angolosità della linea stessa) alcun distacco di filetti con formazione di vortici e si otterrebbe la intersezione perfetta.

Ma quando non sia possibile disegnare la linea

di intersezione che soddisfi a questo concetto, è necessario in un certo senso "riempire" le zone in cui si avrebbe un allargamento di canale e quindi un rallentamento pericoloso dei filetti, causa di formazione di vortici.

Un'altra considerazione alquanto primitiva è la seguente: il valore unitario della portanza dovrebbe scendere teoricamente dal suo valore normale a 0 in corrispondenza della intersezione ala-fusoliera; questa discontinuità è assai dannosa ed occorre quindi sostituirvi una zona di transizione, in altre parole "accompagnare" la portanza fino alla parete della fusoliera.

Un concetto buono è quindi quello di ridurre la portanza verso l'attacco dell'ala, ciò che si può ottenere in vari modi: diminuzione di curvatura, o diminuzione di incidenza del profilo o semplicemente col deformare il bordo di uscita innalzandolo e raccordandolo alla fusoliera.

Con quanto abbiamo detto in queste poche righe non abbiamo certamente esaurito l'argomento che è uno dei più interessanti; fra l'altro i problemi che si presentano nello studio dei raccordi di alianti sono alquanto diversi dai corrispondenti per i motovelivoli, in quanto l'aliante utilizza normalmente dei regimi di volo ritenuti eccezionali per gli apparecchi a motore.

ORGANI DI ATTERRAGGIO.

Una particolarità notevole dell'aliante consiste nella differenza profonda degli organi di atterraggio rispetto ad un motovelivolo.

Dato il basso carico alare e quindi la piccola velocità di atterraggio, le ruote del carrello sono quasi sempre sostituite da un pattino: comunque, anche quando vi siano montate le ruote, si hanno le seguenti particolarità:

- = assenza degli organi di ammortizzazione;
- = mancanza di stabilità in senso laterale.

Infatti sia nel caso del pattino, sia nel caso della monoruota che lo sostituisce, il velivolo non può stare in equilibrio trasversale sui punti di contatto col terreno se non quando ha raggiunto una certa velocità. Esaminiamo ora i vari tipi di pattini e di ruote in uso sulle varie categorie di alianti.

Negli apparecchi scuola di primo periodo (Zögling) e similari, il pattino, costituito da una striscia di legno duro, (frassino, robinia, ecc.) viene fissato direttamente senza interposizione di organi elastici, al fondo della fusoliera o del corpo centrale che la sostituisce. Spesso questo pattino viene rivestito con una lamina di acciaio per evitarne il troppo rapido consumo specialmente quando l'aliante venga destinato alla scuola



con verricello dove i recuperi sono frequenti e piuttosto lunghi. Il pattino così costruito è semplicissimo e poco costoso. Oggi però anche negli apparecchi scuola più semplici, si cerca di molleggiare il pattino per evitare danni alla struttura in caso di atterraggio brusco. Il molleggio viene effettuato mediante dei blocchi di gomma lavoranti a compressione, oppure in qualche caso, mediante molle spirali di acciaio.

E' molto comodo in apparecchi piuttosto pesanti e destinati soprattutto al volo rimorchiato, montare una ruota centrale in sussidio del pattino per diminuire la resistenza in partenza e quindi aiutare il decollo. Solitamente questa ruota viene montata leggermente dietro il centro di gravità in modo che, in posizione di riposo, l'apparecchio poggi sulla ruota e leggermente sul pattino: appena l'apparecchio ha cominciato a muoversi e con opportuna manovra, il pattino si solleva da terra e la ruota viene ad essere l'unico punto di contatto col terreno.

All'atterraggio, il primo urto col terreno, viene assorbito dalla ruota (generalmente a bassa pressione). A seconda delle necessità, il pilota nel rullaggio susseguente al contatto col terreno, può sostenere l'apparecchio sulla ruota fino a che la velocità sia smorzata quasi completamente, oppure può, al fine di ottenere una energica frenata, far appoggiare decisamente il peso dell'apparecchio sul pattino, aiutato in questo, an-

che dall'assetto aerodinamico in cui viene a trovarsi il velivolo.

In rullaggio con la monoruota, si arriva persino a descrivere curve di ampio raggio; in tal modo si riesce a fermare l'apparecchio nel punto desiderato con grande precisione.

Naturalmente, la ruota rappresenta un peso supplementare ed una certa complicazione costruttiva, non tanto in sè, ma in quanto obbliga a far seguire ai vari comandi delle deviazioni per evitarla: infine, essendo per metà in fuori, turba un poco la purezza della linea della fusoliera. Per questo si è andato diffondendo in questi ultimi anni, l'impiego del carrello completamente o parzialmente retrattile e la soluzione più completa consisterebbe nell'avere il carrello retrattile del tutto con sportello di chiusura, in modo da ristabilire - con l'abolizione del pattino, (cosa possibile quando si abbia l'avvertenza di far uscire la ruota anteriormente al centro di gravità) la continuità aerodinamica della parete. In questo caso è opportuno montare dei freni sulla ruota, dato che non sarebbe possibile una manovra del tipo prima descritto.

In ogni caso, nella scelta e nel disegno degli organi di atterraggio dell'aliante, occorrerà tener conto di vari fattori dipendenti dall'impiego, quali la capacità del pilota che userà l'apparecchio, il lavoro che

l'apparecchio è destinato a compiere ed i terreni sui quali dovrà avvenire l'atterraggio.

Il pattino di coda, in molti apparecchi, non è indispensabile quando la forma speciale del pattino principale, non consenta all'estremità posteriore della fusoliera di toccare il terreno; ma, specialmente nel caso della monoruota, è necessario che il pattino di coda sia molto robusto e ben molleggiato, inquantochè le escursioni dell'estremità fusoliera possono essere piuttosto ampie e quindi gli urti contro il terreno di una certa violenza.

Il molleggio del pattino di coda, può essere ottenuto per mezzo di un blocco di gomma come per il pattino centrale, oppure per mezzo di una palla da tennis, oppure ancora per l'elasticità del materiale di cui è costituito (per esempio pattino costruito con una balestra di acciaio).

In ogni caso sarà bene tener conto di tutti gli sforzi principali e secondari cui è sottoposto il pattino, e la struttura cui è collegato: in particolare bisognerà tener conto delle possibili derapate in cui si manifestano gli sforzi più gravosi per i supporti del pattino.

Un altro sistema qualche volta usato, è quello di montare l'aliante in partenza sopra un carrello a due ruote sganciabile immediatamente dopo l'avvenuto decollo.

Questo sistema ha molti vantaggi, ma oltre a non costituire la soluzione completa e più razionale del problema, presenta i seguenti inconvenienti:

- 1°) adopera del materiale che resta a terra e quindi non può essere utilizzato per la partenza da un altro aeroporto;
- 2°) non dà mai sufficienti garanzie di perfetto funzionamento inquantochè il meccanismo di sgancio del carrello, dati i frequenti urti col terreno per la caduta del carrello dall'aliante, può subire delle deformazioni.

PARTE IV

IL DIMENSIONAMENTO DELLE STRUTTURE RESISTENTI

CRITERI GENERALI

Il carattere e i limiti di queste note non permettono di trattare in misura adeguata il problema del dimensionamento delle strutture resistenti, problema che d'altronde riguarda più da vicino la scienza delle costruzioni.

Ci interessa solamente l'impostazione generale del problema che sarà resa più chiara da qualche schema esemplificativo.

E' inutile insistere sull'importanza di assegnare a ciascun organo le dimensioni sufficienti alla sua robustezza: si noti soltanto che rispetto ad un'altra macchina qualsiasi, vi sono nell'aliante degli elementi che rendono più difficile la questione: la lotta contro il peso che non permette di usare delle sezioni esuberanti, l'incertezza delle ipotesi di carico, la gravità spesso irreparabile della rottura di un pezzo anche secondario.

Il procedimento generale seguito per disegnare le sezioni resistenti di ciascun pezzo consta di tre fasi:

1° - Analisi delle varie condizioni in cui può venirsi a

trovare un velivolo durante il volo e degli effetti che ne derivano;

2° - Determinazione degli sforzi massimi agenti su ciascuna parte della struttura;

3° - Verifica della stabilità della struttura stessa.

Delle tre fasi quella forse più ardua da trattare è la prima. Occorre determinare innanzi tutto in quali condizioni viene a trovarsi un velivolo in volo e le forze che agiscono su di esso. Pensando alle varietà di assetti e di evoluzioni che può compiere un velivolo, alla diversità di condizioni atmosferiche, agli eventuali incidenti e anomalie che si possono verificare, si ha una idea della vastità e difficoltà del campo di investigazione.

Naturalmente i risultati di un lavoro siffatto sono comuni in gran parte a tutti i velivoli con opportuni adattamenti in funzione del tipo di apparecchio cui ci si riferisce.

In effetti è evidente che le sollecitazioni cui vien sottoposto un velivolo da trasporto civile sono diverse da quelle subite da un caccia e questo non solo per la diversità delle evoluzioni che normalmente i due apparecchi eseguono, ma anche per la diversità dei rapporti peso-superficie, peso-potenza, ecc.

In base a numerose esperienze in volo e ad argomentazioni analitiche, sono state raccolte e compilate

delle norme per il dimensionamento costruttivo dei velivoli.

Queste norme non servono solamente per semplificare ed aiutare il lavoro di progetto, ma anche per disciplinarlo.

Infatti in mancanza di queste norme molte ipotesi sarebbero lasciate all'arbitrio del costruttore.

I regolamenti erano all'inizio molto schematici ed empirici, inoltre si avevano delle forti diversità fra Paese e Paese; attualmente invece si vanno completando e complicando con l'introduzione in misura sempre maggiore degli elementi aerodinamici del velivolo oltre ai suoi elementi geometrici, mentre si è arrivati ad una certa unificazione almeno dal punto di vista sostanziale.

In questi regolamenti viene esaminato il comportamento del velivolo in tutta la gamma di assetti possibili. Tra questi assetti ne vengono fissati alcuni che generalmente sono i più pericolosi. Tali assetti vengono associati a quelle condizioni di volo da cui sono normalmente provocati e si giunge così a determinare le ipotesi fondamentali.

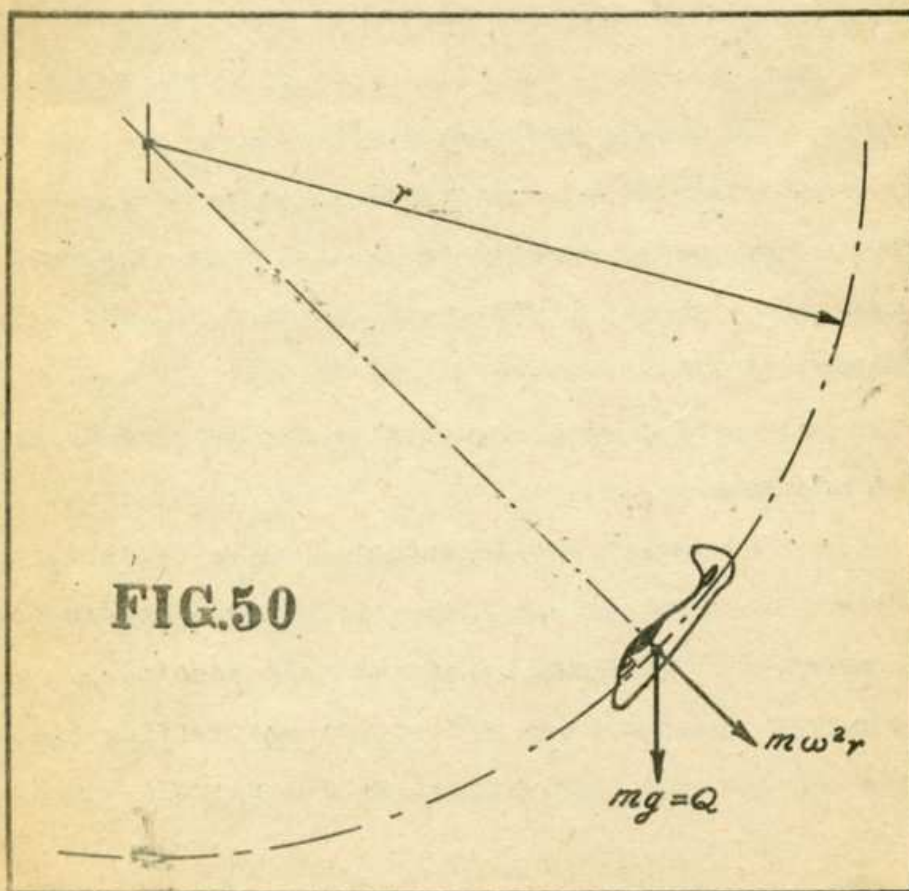
Ad esempio (riferendoci ad un aliante) si può vedere come la picchiata limite in capdela corrisponda all'assetto di portanza nulla. Ma tale assetto può anche essere raggiunto per effetto di una raffica discendente che investa improvvisamente il velivolo e che, com-

ponendosi con la velocità relativa, annulli momentaneamente la portanza.

Con ragionamenti analoghi vengono definite le altre ipotesi di volo cui vanno aggiunte quelle riguardanti il decollo, l'atterramento e la manovra dei vari comandi.

Esaminiamo ora sempre a titolo esemplificativo la manovra di richiamata di un aliante.

Partendo da un certo assetto che per semplicità supponiamo di regime, l'aliante inizierà una traiettoria curvilinea. E' evidente che alcune limitazioni che ci impone lo studio dei moti di regime, non sono più valide.





Entrano in gioco infatti le forze di massa del velivolo che, data l'accelerazione centripeta del moto sulla traiettoria, consistono in una reazione centrifuga in funzione della velocità iniziale, del raggio di curvatura della traiettoria, ecc.ecc.

Queste accelerazioni vengono misurate paragonandole a quella di gravità: è così che parlando comunemente di un'accelerazione 7-8, si intenderà un'accelerazione pari a 7-8 volte quella di gravità.

Per un aliante normale si è visto che durante una richiamata il valore massimo dell'accelerazione si aggira intorno a 3,5 g.

Orbene, questo rapporto numerico viene indicato col nome di "coefficiente di contingenza" e abbreviato con la lettera n.

E' chiaro che la resistenza della struttura deve essere proporzionale agli sforzi di contingenza; generalmente - allo scopo di essere sicuri che il materiale impiegato non venga assoggettato da tali sforzi al di sopra del limite di elasticità - si esige che la struttura non ceda prima di aver sopportato un carico doppio di quello di contingenza (carico di robustezza).

Il rapporto fra i due carichi viene chiamato "coefficiente di sicurezza" e indicato con la lettera j; generalmente appunto  $j = 2$ , raramente minore.

Qualche volta, impropriamente, viene chiamato coefficiente di sicurezza quello di robustezza ( $2 n$ ).

mentre è logico che tale nome spetti al rapporto fra le sollecitazioni che la struttura può sopportare e quelle cui viene effettivamente sottoposta.

Si può infine parlare di un "coefficiente di rottura" sempre riferito a  $g$  che è quello per cui avviene il cedimento della struttura. Tale coefficiente è sempre leggermente superiore a quello di robustezza, dato che la struttura deve sopportare il carico di robustezza senza scomporsi. Anche qui talvolta si genera confusione fra i due coefficienti di robustezza e di rottura.

Per quanto se ne parli più oltre, (vedi prove statiche) accenniamo anche al coefficiente di prova elastica, corrispondente al carico impiegato per eseguire prove di elasticità nelle strutture. Tale coefficiente è pari al 1,25 n.

#### FORZE AGENTI SULLA STRUTTURA

Considerando una condizione di volo qualsiasi avremo che il velivolo è soggetto ad un sistema di forze dinamicamente equilibrato.

Ciascun elemento è sollecitato da forze aerodinamiche, forze di peso, reazioni di masse, reazioni di vincoli.

Tornando all'esempio della richiamata ed esaminando il comportamento globale dell'ala, troveremo le seguenti forze: azioni aerodinamiche (portanza, resistenza, momento), peso proprio, reazione centrifuga di massa

reazione dei vincoli che trasmettono all'ala l'analogo sistema di forze applicato al resto del velivolo.

Normalmente per gli alianti, seguendo il regolamento del R.A.I. (Registro Aeronautico Italiano), si considerano le seguenti 4 ipotesi fondamentali per l'ala:

- 1°) assetto di portanza massima;
- 2°) assetto di velocità massima;
- 3°) assetto di portanza nulla;
- 4°) atterramento brusco.

L'assetto di portanza massima, corrisponde ad una ripresa brusca o ad una raffica verticale ascendente, per un assetto di volo corrispondente alla portanza massima. Il coefficiente di contingenza fissato per questa ipotesi, è per gli alianti normali di 3,5 e per quelli acrobatici, di 4,5. La velocità di contingenza si ricava subito dalla seguente formula

$$V = \sqrt{\frac{n Q}{\rho S C_p \max}}$$

In generale, questa è l'ipotesi per cui si ha la massima flessione. Nel caso di un'ala bilongherone, essendo il centro di pressione nella sua posizione più avanzata, il longherone anteriore viene ad essere quello più sollecitato.

La seconda ipotesi corrisponde alla massima velocità raggiungibile in volo orizzontale. Siccome per gli alianti questa definizione non avrebbe alcun valore, tale velocità viene fissata in un valore pari al doppio

di quella minima. Il coefficiente di contingenza per questa ipotesi è pari a 0,75 quello della prima ipotesi; la flessione quindi che si ha per questa ipotesi è minore di quella riscontrata precedentemente, ma poichè l'assetto è diverso (generalmente il centro di pressione viene ad essere in posizione più arretrata), nasce una sollecitazione a torsione e, nel caso di un'ala bilongherone, un maggiore carico sul longherone posteriore.

L'assetto di portanza nulla corrisponde alla picchiata in candela alla velocità limite ed al caso di raffica verticale discendente.

In corrispondenza di tale ipotesi si riscontra in generale il massimo valore della torsione.

La quarta ipotesi infine riguarda le relazioni di massa che si sviluppano durante un atterraggio brusco. Come per l'alà così per tutti gli altri organi vengono determinate le ipotesi di carico e quindi le forze in gioco.

A questo punto si inizia la seconda fase del lavoro. Sono determinati per ciascun organo del velivolo i sistemi di forze che lo sollecitano: si tratta di trovare ora gli sforzi agenti sulla struttura.

E' evidentissimo che il genere di sforzi dipende dal tipo di struttura e che pertanto in questa seconda fase si comincia a restringere il campo, poichè i risultati di uno studio riguardante un certo velivolo sa-

ranno applicabili soltanto ad un altro velivolo che abbia la struttura dello stesso tipo.

Sarà bene raccogliere in opportuni diagrammi e tabelle gli sforzi agenti su ciascun elemento per facilitare la terza fase del lavoro.

ATTACCO POSTERIORE ALA

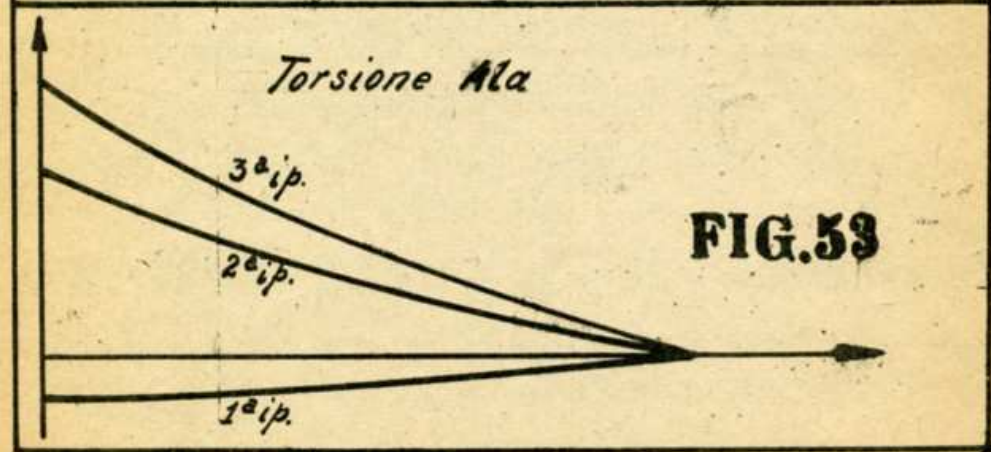
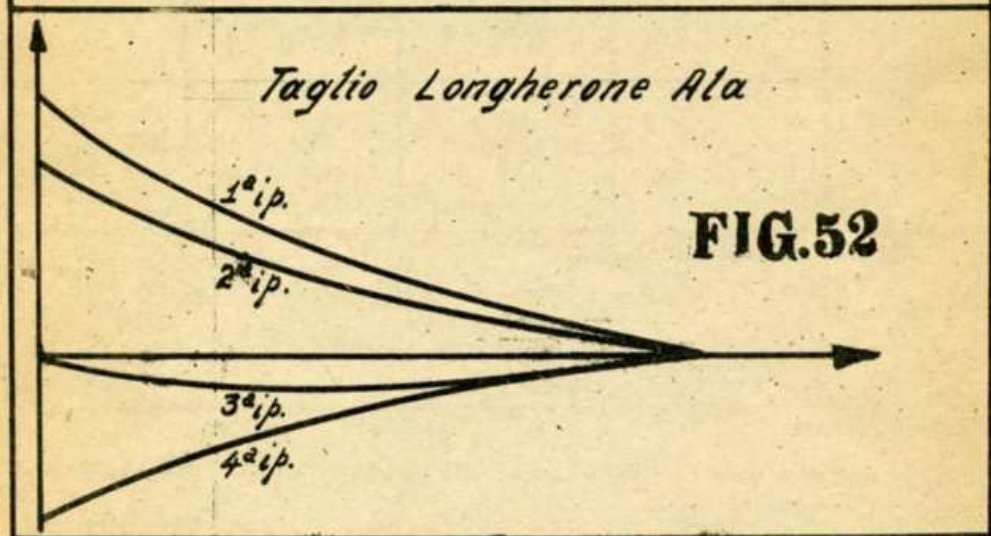
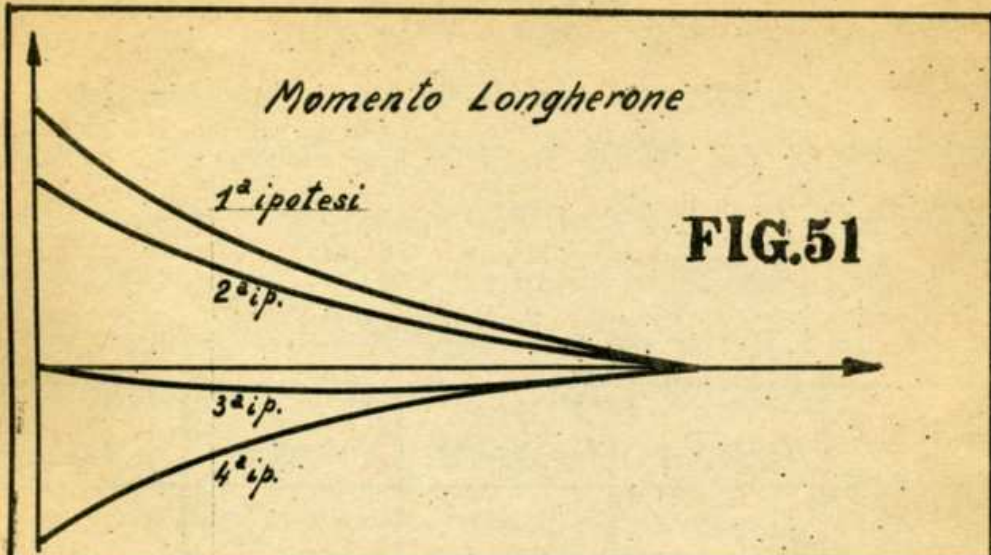
	1^ ipotesi	2^ ipotesi	3^ ipotesi	4^ ipotesi
Componente verticale	+ 25 Kg	+102 Kg	+425 Kg	- 20 Kg
Componente orizzontale	+170 Kg	+ 12 Kg	-216 Kg	+ 34 Kg

Nota: i versi positivi sono verso l'alto e verso l'esterno.

Di questi sforzi si considereranno quelli massimi con l'avvertenza di combinare opportunamente quegli sforzi che possono essere presenti contemporaneamente.

Con questi elementi possiamo passare alla terza fase che riguarda l'effettivo dimensionamento dei vari pezzi.

Su questo punto non si ritiene utile insistere poichè si tratta di problemi di scienza delle costruzioni.



Si noti soltanto che spesso si usano nelle costruzioni aeronautiche delle strutture un po' particolari, e che si tratta quasi sempre di strutture spaziali.

La difficoltà consiste essenzialmente nel precisare le tensioni nelle varie sezioni e nel fissare le sezioni sufficienti per verificare la stabilità di tutta la struttura.

E' essenziale, nello stabilire le tensioni nelle varie sezioni, ricordare di applicare tutte le sollecitazioni che possono essere presenti contemporaneamente.

Ad esempio nella seconda ipotesi di volo, le anime del longherone vengono assoggettate a due azioni tangenziali: una derivante dalla flessione del longherone e l'altra dalla torsione dell'ala (che viene assorbita dalla scatola formata dal rivestimento del bordo di attacco e dall'anima del longherone).

Le tre fasi che abbiamo distinto per necessità di comprensione non sono effettivamente così staccate una dall'altra, ma spesso nella pratica si fondono fra loro.

#### P R O V E   S T A T I C H E

Terminata la costruzione e prima di passare alle prove in volo, i prototipi vengono sottoposti a delle prove statiche.

Esse consistono nel sottoporre i vari elemen-

ti della struttura e degli sforzi paragonabili a quelli che si verificano in volo.

Si possono eseguire delle prove di elasticità, di robustezza e di rottura: ciascuna di queste prove corrisponde a determinate finalità.

#### PROVE DI ELASTICITA'

Le prove si effettuano applicando delle forze riprodotte per quanto possibile gli sforzi di contingenza. Poichè questi sforzi si possono effettivamente verificare in volo (almeno per ipotesi) è necessario che negli elementi della struttura non si abbiano a produrre delle deformazioni permanenti. Occorre cioè che si rimanga nel campo delle deformazioni elastiche, deformazioni che si annullino quando scompaiano le forze che le hanno causate. Attualmente anzi per accertarsi con maggior sicurezza della perfetta elasticità della struttura, i carichi applicati vengono maggiorati del 25% rispetto a quelli di contingenza.

#### PROVE DI ROBUSTEZZA

Consistono nell'applicare i carichi di robustezza verificando che la struttura li sopporti senza rompersi per almeno un minuto primo. Questa verifica diretta della robustezza della struttura si rende alle volte necessaria poichè una struttura che supera ottimamente una



prova elastica può anche rompersi prima di aver raggiunto il limite di robustezza e ciò è dovuto all'impiego di un determinato tipo di materiali o a sistemi di giunzione oppure ad un cedimento locale che compromette la stabilità di tutta la struttura. Naturalmente, un materiale che ha subito delle prove di robustezza, non può più essere impiegato per il volo, perchè, se anche non è rotto, ha però superato i limiti di elasticità.

#### PROVE DI ROTTURA

Generalmente, arrivati al carico di robustezza, si continua la prova fino alla rottura. La determinazione del carico di rottura ha infatti un'importanza rilevante.

Se è necessario che il carico di rottura superi quello di robustezza, è necessario d'altra parte che questo margine non sia eccessivo.

L'esuberanza di robustezza è necessariamente legata ad un maggior peso, e del resto se non è omogenea è perfettamente inutile.

A che cosa servirebbe ad esempio avere un longerone il cui carico di rottura superi del 20% quello di robustezza, quando i suoi attacchi non possiedano lo stesso margine?

E' per questo che delle prove di robustezza possono suggerire degli irrobustimenti e degli alleggeri-

menti in modo da rendere più armonica la struttura così da livellarne la robustezza.

Si noti a questo proposito che necessità di lavorazione, incertezze e imprecisioni nell'applicazione dei carichi, la non omogeneità e l'incostanza delle caratteristiche dei materiali, costituiscono un limite a questo livellamento.

Per esempio si richiede che gli attacchi metallici resistano il 15-20% in più delle parti cui vengono applicati.

#### ESECUZIONE DELLE PROVE

Generalmente sugli alianti non vengono eseguite prove di rottura in considerazione del fatto che un aliante viene spesso costruito in pochissimi esemplari; diversamente si verrebbe ad incidere troppo sul costo di fabbricazione.

Ci si limita pertanto a delle prove elastiche su tutti gli elementi, integrate da prove di rottura su certi particolari sul cui comportamento siano sorti quei dubbi cui si è accennato parlando delle prove di robustezza. Per riprodurre le condizioni di volo, occorrerebbe applicare al velivolo tutte le forze e reazioni che si hanno appunto in quella determinata fase del volo che viene presa in considerazione per la prova statica:

Esaminiamo per esempio come dovrebbe essere e-

seguita la prova riprodotte la richiamata.

All'ala verrebbero applicate delle depressioni e pressioni corrispondenti a quelle aerodinamiche, nonché le reazioni d'inerzia.

Altrettanto dicasi per la fusoliera, i piani di coda e per gli organi di comando, ai quali dovrebbero applicarsi delle forze tali da equilibrare esattamente le azioni aerodinamiche sui piani mobili.

In questo modo il velivolo non risulterebbe vincolato al terreno, ma dovrebbe essere perfettamente in equilibrio poichè il sistema di forze ad esso applicate è per ipotesi equilibrato.

Naturalmente le difficoltà che si incontrano per realizzare una tale prova sono pressochè insormontabili.

Si pensi ad esempio all'impossibilità pratica di ottenere una distribuzione di pressioni simile a quelle aerodinamiche oppure - ed anche peggio - all'impossibilità di riprodurre le reazioni di inerzia su tutti gli elementi della struttura.

Ci si accontenta perciò di avvicinarsi alle reali condizioni con approssimazione più o meno grande. Praticamente si provano i vari elementi isolatamente, sostituendo alle reazioni di vincolo date dal resto del velivolo, quelle date da un cavalletto o simulacro fissato al terreno.

Riprendendo l'esempio di prima, per provare l'ala, si costruisce un cavalletto che rechi degli attac-

chi uguali a quelli della fusoliera.

A questi attacchi viene vincolata l'ala in posizione rovesciata.

Viene poi applicato un carico di sacchetti di sabbia o altro che riproduca presso a poco la distribuzione in pianta delle pressioni aerodinamiche.

Delle reazioni d'inerzia si tiene conto detraendole dal carico.

I carichi di prova vengono suddivisi in modo che la loro applicazione sia graduale.

Inoltre durante le operazioni di carico le strutture appoggiano su opportuni cricchi, necessari ad impedire pericolose oscillazioni.

Dopo aver applicato ciascun carico parziale, i cricchi vengono abbassati in modo da liberare la struttura. Controllando le deformazioni per ogni carico, si segue il comportamento della struttura e si rilevano le eventuali anomalie.

Ad esempio durante una prova elastica si dovrà verificare che le deformazioni siano proporzionali ai carichi.

Le deformazioni vengono lette mediante stadiole collocate opportunamente e tragguardate con due fili. E' essenziale collocare delle stadiole anche sugli appoggi per accertarsi che questi non abbiano a cedere o quanto meno per detrarre i cedimenti di questi da quelli della struttura.

Prima di eseguire la prova definitiva si assesta la struttura tenendola sotto a un carico pari circa alla metà di quello di prova per un tempo relativamente lungo. Durante questo assestamento la struttura subisce quei piccoli cedimenti permanenti che la stabilizzano.

Per le prove elastiche le strutture scaricate dovrebbero tornare esattamente nella posizione iniziale; praticamente si tollerano delle deformazioni residue del 5% rispetto alle frecce elastiche sotto il carico di prova.

Nelle prove di rottura è bene valersi di opportuni accorgimenti in modo da evitare che la rottura iniziale provochi altra rottura e ciò allo scopo di individuare i punti deboli.

#### P R O V E   D I N A M I C H E

E' chiaro che le prove statiche costituiscono una garanzia molto relativa in quanto le sollecitazioni che si hanno in volo sono delle sollecitazioni dinamiche.

Nell'aliante, pur mancando il motore sorgente di vibrazioni, si possono avere degli scuotimenti ed oscillazioni di origine aerodinamica.

Ad esempio la scia vorticoso dell'ala può provocare degli sbattimenti dei piani di coda.

Oppure in un'ala le vibrazioni di flessione

e di torsione possono combinarsi in modo che l'azione aerodinamica ecciti queste vibrazioni.

E' noto che il comportamento di una struttura sottoposta a carichi alternati è ben diverso da quello che si ottiene caricandola gradualmente e con tutte le precauzioni.

E' per questo che attualmente vanno diffondendosi delle prove dinamiche maggiormente atte di quelle statiche a riprodurre il tormento di una struttura durante il volo.

Nell'aliante abbiamo già notato che manca una delle sorgenti maggiori di vibrazioni: il motore; in generale inoltre, le velocità di impiego sono poco elevate e questa condizione, associata al basso carico alare, non è delle più favorevoli al prodursi di vibrazioni pericolose.

E' per questo, ed anche per le solite ragioni finanziarie, che fino ad ora non si sono effettuate prove dinamiche sugli alianti.

APPENDICE I^

T E C N O L O G I A   D E L   L E G N O

SCELTA DEL LEGNAME

La maggior parte delle strutture degli alianti, è in legno. Possiamo distinguere i legnami in due grandi categorie: legni dolci e legni duri o forti.

Alla prima categoria appartengono: l'abete, lo spruce, il pioppo, ecc.; alla seconda, il frassino, il noce, il betulla, il faggio, ecc.

Negli elementi di struttura lavoranti a flessione o sotto sforzi assiali, vengono impiegate di massima le essenze dolci; mentre si usano le essenze forti dove si hanno delle rilevanti sollecitazioni locali (per esempio passaggio di bulloni o viti, applicazione di piastre, ecc.).

Caratteristiche generali ed essenziali del legname usato in aviazione, sono le seguenti: omogeneità, fibre dritte, umidità inferiore al 15%, assenza di nodi, screpolature, fenditure, o difetti di qualsiasi genere. Oltre a queste condizioni, sono fissati dei dati di resistenza meccanica, specifici per ciascuna qualità di legname.

Era molto usato per il passato lo spruce per la costruzione dei longheroni ed in genere di tutti i pezzi soggetti a notevole flessione; tale legname è stato ora completamente sostituito con l'abete.

L'abete ha delle caratteristiche leggermente superiori a quelle dello spruce, però si trova in tavole della lunghezza massima di 4 metri, difficilmente esenti da nodi ed inoltre le sue caratteristiche sono molto incostanti. Per ovviare a questi inconvenienti, oltre ad un'accurata scelta del materiale, si procede alla lamellazione, incollando fra di loro delle strisce abbastanza sottili: in questo modo si ottiene:

- 1°) una maggiore omogeneità del pezzo;
- 2°) elementi abbastanza lunghi, sfaldando opportunamente la giunzione delle singole lamelle;
- 3°) un minore scarto di materiale.



**FIG.54**

L'incollatura fra i vari strati, è fatta mediante colla alla caseina. E' di introduzione abbastanza recente l'impiego di faggio bonificato, consistente



in strati lamellati come abbiamo prima spiegato, con la differenza che le lamelle sono molto sottili e l'incollatura è fatta con colle speciali.

Le sue caratteristiche meccaniche sono molto elevate ed il suo uso è molto conveniente, specialmente in longheroni molto sollecitati dove impiegando l'abete si avrebbero delle sezioni troppo massicce. Il pioppo è usato soltanto per elementi corti o per riempimenti o viene compensato con altri legnami: esso infatti presenta il grave inconveniente di deformarsi molto con l'umidità.

Negli alianti il pioppo viene usato in sostituzione dello spruce per la costruzione di cèntine e di ordinate.

Il frassino è adoperato in quantità irrilevante e generalmente per la costruzione dei pattini di atterraggio: si usa anche talvolta per ricavarne guance da mettere in corrispondenza di parti metalliche: a questo scopo però si prestano meglio il noce od il faggio.

#### IL LEGNO COMPENSATO.

Riveste una particolare importanza nella costruzione degli alianti, come d'altra parte in quella di tutti gli apparecchi in legno, il legno compensato; è infatti con esso che viene eseguita la maggior parte del rivestimento esterno, elemento essenziale della struttura non solo, ma anche rivestimenti e fazzoletti interni, or-

geni essenziali di collegamento.

Il legno impiegato per la costruzione di compensati, è generalmente il betulla: esistono però compensati di pino, faggio ed anche compensato costituito da diverse qualità di legname.

La ragione principale dell'uso tanto esteso del compensato risiede nella anisotropia delle caratteristiche meccaniche del legname: è noto infatti che la resistenza perpendicolarmente alle fibre è di molto inferiore a quella lungo le fibre.

Nel legno compensato, disponendo gli strati a fibre incrociate, si arriva, se non proprio alla perfetta omogeneità, ad un comportamento soddisfacente in qualsiasi direzione.

#### INCOLLATURA.

Il collegamento fra le varie parti in legno avviene mediante l'incollatura: sono da scartarsi incastri, avvitature, chiodature, ecc. perchè compromettono la continuità delle fibre proprio nel punto della giunzione.

Una buona incollatura, eseguita rispettando delle norme abbastanza semplici, stabilisce una continuità assai soddisfacente fra i vari pezzi incollati; anzi, una delle ragioni principali per cui la costruzione in legno ha dominato per molto tempo nel campo delle costruzioni aeronautiche è non è ancora completamente

abbandonata, risiede appunto nella facilità e nella sicurezza della incollatura; si sa infatti che la questione essenziale per lo sfruttamento razionale delle caratteristiche meccaniche del materiale, è costituita dal problema dei collegamenti. Le norme da tener presenti per l'incollatura dei legnami, sono le seguenti: innanzi tutto occorre che le superfici che vengono a contatto siano estese il più possibile e naturalmente ben combacianti.

La superficie necessaria per l'incollatura viene ovviamente determinata dalla resistenza allo scorrimento della colla.

Occorre che le due superfici che vengono a contatto non siano perfettamente lisce ma presentino una certa rugosità, essenziale soprattutto per i legnami molto duri ed in mancanza di che la colla non potrebbe penetrare nell'interno del legno.

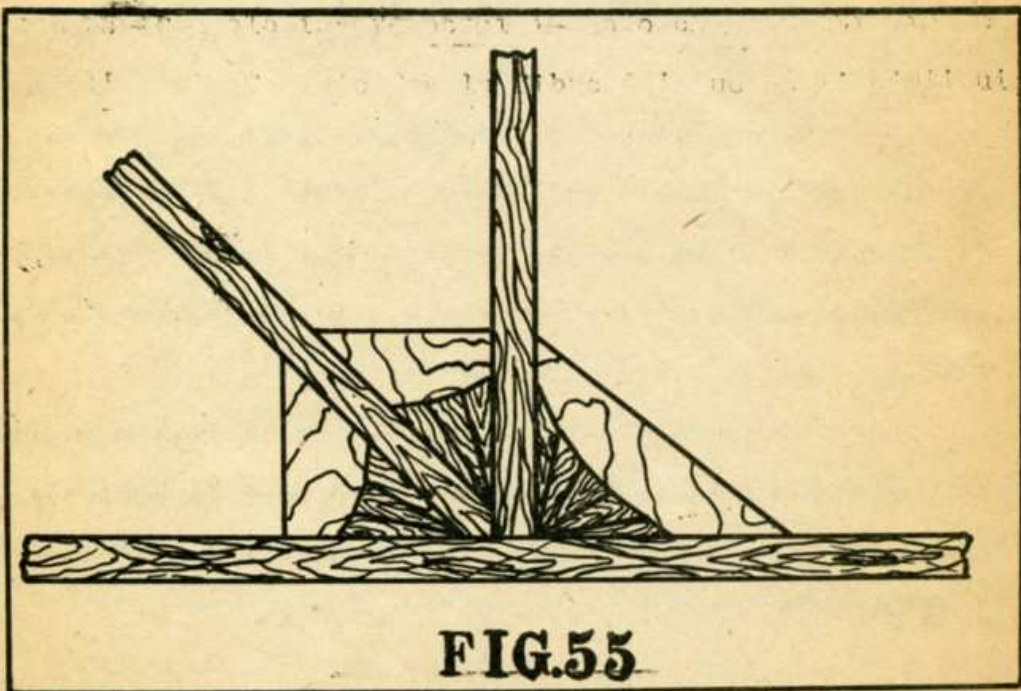
Occorre che i due elementi rimangano pressati fra di loro durante l'essiccazione, essendo indispensabile che non rimanga fra le due superfici nessuno spessore di colla, molto dura e fragile e non resistente a fatica.

Le fibre dei due elementi che vengono congiunti devono essere fra loro parallele o, per lo meno, le due direzioni devono formare un angolo quanto più piccolo possibile.

Le incollature cosiddette " di testa" in cui ad esempio un listello viene ad incollarsi perpendicolarmente contro un'altro, hanno una resistenza piccolissima.

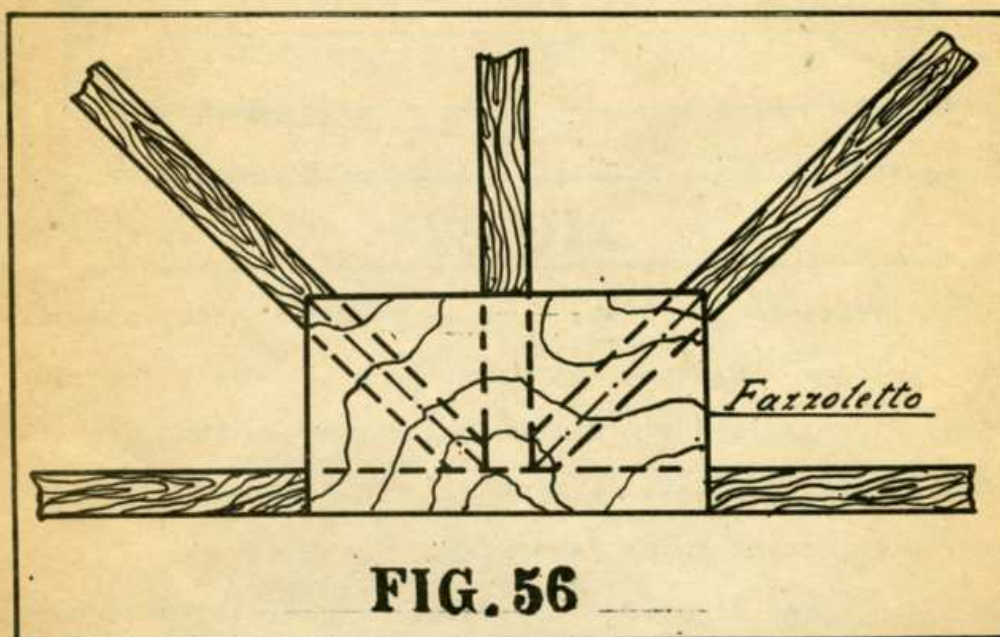
Poichè capita spesso di dover incollare degli elementi in queste condizioni, si ricorre ad uno o più dei seguenti artifici:

- 1°) si incollano, negli angoli formati dai due pezzi, degli smussi, costituiti da angolini di legno in cui la direzione delle fibre è perpendicolare al piano contenente i due elementi : in questo modo le condizioni di incollatura degli smussi contro i due elementi vengono rispettate;
- 2°) si pongono degli angoli in cui la direzione delle fibre segue la bisettrice dell'angolo formato dai due elementi; anzi, in qualche caso, si usa compor-



**FIG.55**

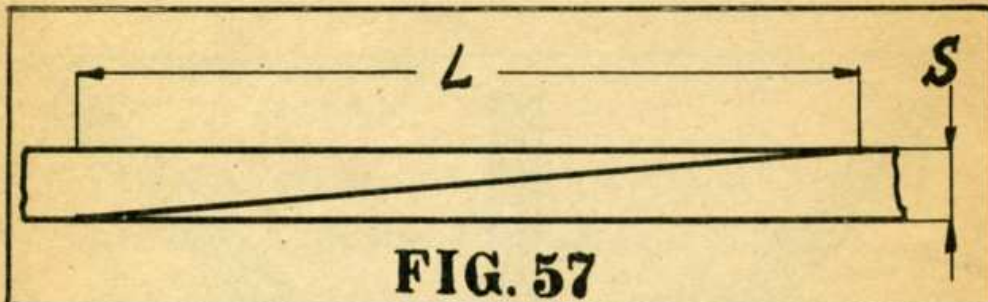
re l'angolo in più pezzi in modo che risulti minore l'angolo formato fra le fibre dei due pezzi contigui;  
3°) si sovrappone alla giunzione un fazzoletto o una guancia di compensato.



La resistenza di un simile tipo di nodo, sarà facilmente calcolabile se si tiene conto che gli sforzi vengono trasmessi attraverso le incollature ed i pezzi che chiameremo ausiliari (angoli smussi, fazzoletti) non tenendo cioè conto della resistenza presentata dall'incollatura diretta fra i due elementi.

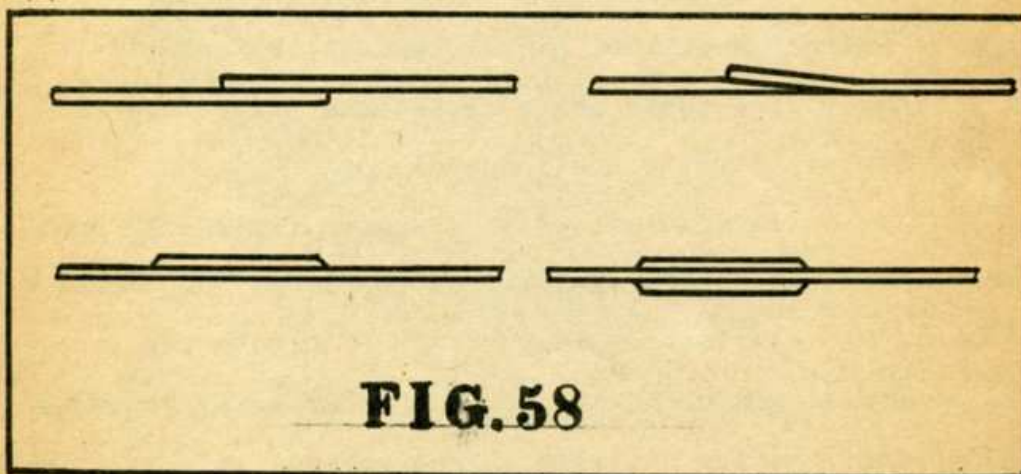
Nella costruzione di elementi importanti quali ad esempio longheroni di ali o di fusoliera, se non si dispone di materiale di lunghezza sufficiente per ricavare l'elemento in un unico pezzo, è necessario procedere alla giunzione per arrivare alla lunghezza voluta.

Il tipo di giunzione che si usa normalmente, è il tipo a bisello: tale tipo di giunzione viene anche usato comunemente per il compensato.



L'inclinazione del bisello od il rapporto tra spessore del pezzo e lunghezza del bisello, è dato dal rapporto fra le resistenze a trazione del legname e quella a scorrimento della colla. I rapporti comunemente usati, vanno da un decimo ad un ventesimo.

Per il solo compensato, vengono talvolta usati altri tipi di giunzione: per esempio il tipo a sovrapposizione semplice, il tipo con coprigiunto semplice o doppio.



APPENDICE II°

NORME LEGISLATIVE.

Per quanto non riguardi direttamente l'opera del costruttore, pure è utile se non necessario, conoscere alcune norme che disciplinano in Italia la costruzione e l'impiego degli aianti.

Prima di iniziare la costruzione di un aiente, occorre darne avviso per iscritto al Ministero dell'Aeronautica - Direzione generale dell'Aviazione Civile e del Traffico Aereo - precisandone il tipo e le caratteristiche.

La costruzione degli aianti come di tutti gli aeromobili civili deve essere sorvegliata dal Registro Aeronautico Italiano (RAI) il quale pertanto deve essere debitamente informato.

Alla sottodirezione più vicina del RAI vanno inviate due copie dei disegni (almeno quelli più importanti) dai quali si possano desumere le dimensioni dei pezzi e le caratteristiche dei materiali.

Unitamente ai disegni occorre inviare, pure in duplice copia, una relazione che documenti il dimensionamento costruttivo.

Si stabiliscono inoltre degli accordi per le

visite di sorveglianza durante la lavorazione.

Tutti i materiali usati nella costruzione debbono avere le caratteristiche meccaniche e tecnologiche volute; pertanto debbono essere tutti collaudati. Questi collaudi debbono essere fatti in presenza dell'Ispettore del RAI.

La frequenza delle visite verrà stabilita caso per caso. Come norma generale si può solo dire che nella lavorazione non si può passare da una fase a quella successiva se questa rende difficile o impossibile il controllo della prima. Ad esempio non si può posare la copertura su un bordo dell'attacco o su una fusoliera se prima non è stata controllata la struttura interna.

A documentazione dei vari controlli verranno apposti dei timbri o delle punzonature.

Durante tutta la costruzione e a costruzione ultimata verranno controllati i pesi totali e parziali.

Ultimata la costruzione ed eseguito il controllo generale ad apparecchio montato, se l'aliante è di serie potrà passare al collaudo in volo; se è un prototipo dovrà prima subire le prove statiche.

Nel frattempo sarà stata chiesta al Ministero dell'Aeronautica la sigla di immatricolazione composta da una I seguita da altre quattro lettere.

Il collaudo in volo verrà eseguito alla presen-



za dell'Ispettore del RAI e con le modalità di volta in volta stabilite.

Terminati i collaudi con esito favorevole, occorre richiedere i seguenti documenti:

1. Certificato di navigabilità;
2. Certificato di collaudo;
3. Certificato di immatricolazione;
4. Libretto di volo.

Il certificato di navigabilità è rilasciato dal Registro aeronautico e attesta che il veleggiatore ha subito favorevolmente le prove e i controlli tecnici prescritti. Il rilascio del certificato di navigabilità è subordinato alle seguenti condizioni:

a) esame delle caratteristiche di progetto (corredato dai calcoli e dai disegni delle strutture resistenti più importanti); controlli sui materiali impiegati e sulle lavorazioni; verifiche e prove secondo le norme del Registro Aeronautico;

b) esecuzione dei voli di prova per la verifica delle caratteristiche di volo, dell'efficacia dei comandi ecc.

Ogni veleggiatore deve essere provvisto di cinture di sicurezza e dei seguenti strumenti:

- un indicatore di velocità
- un indicatore di salita
- un altimetro a lettura diretta
- una bussola
- un paracadute.

Il certificato di navigabilità è valido per sei mesi. Il certificato di collaudo è rilasciato dal Registro aeronautico e attesta che l'apparecchio ha subito favorevolmente le prove e i controlli tecnici prescritti per permetterne l'impiego.

L'apparecchio è poi soggetto a visite periodiche per il controllo dell'efficienza del materiale.

I N D I C E

Prefazione	pag.	1
PARTE PRIMA		
Il volo a vela	"	5
Caratteristiche generali degli alianti	"	11
Alianti libratori	"	12
Alianti veleggiatori	"	16
Sistemi costruttivi	"	20
La pratica del volo	"	23
Sistemi di lancio	"	23
Il volo veleggiato	"	26
Evoluzione nel progetto di alianti	"	30
PARTE SECONDA		
Premessa	"	33
L'ala	"	33
Reazione aerodinamica	"	33
Portanza e resistenza	"	35
Centro di pressione	"	43
Polare di un profilo	"	46
Momento di un profilo	"	49
Momento baricentrico	"	56
Fuoco del profilo	"	58
L'ala finita	"	59
L'aliante completo	"	63
Dimensionamento generale	"	68
Considerazioni generali	"	68
Impostazione del problema.	"	71
Conclusioni	"	75
Meccanica del volo	"	80
PARTE TERZA		
Avviamento della fusoliera	"	88
Premesse	"	88
Il disegno	"	91
Fusoliere a sezioni complesse	"	98

Tracciamento dei profili nelle ali a profilo variabile	pag. 104
Considerazioni relative all'intersezione ala-fusoliera	" 109
Organi di atterraggio	" 112
PARTE QUARTA	
Il dimensionamento delle strutture resistenti	" 117
Criteri generali	" 117
Forze agenti sulla struttura	" 122
Prove statiche	" 127
Prove di elasticità	" 128
Prove di robustezza	" 128
Prove di rottura	" 129
Esecuzione delle prove	" 130
Prove dinamiche	" 133
APPENDICE I	
Tecnologia del legno	" 135
Scelta del legname	" 135
Il legno compensato	" 137
Incollatura	" 138
APPENDICE II	
Norme legislative	" 143

---