

QUADERNO DI CULTURA AERONAUTICA

ED ESERCITAZIONI PRATICHE DI AEROMODELLISMO

Versione elettronica 2012a

di Massimo Bevilacqua
m.bevilacqua@itaer.it

Questo testo è scaricato gratuitamente dal sito www.paer.it
tutti i diritti di riproduzione sono riservati all'autore.

E' incoraggiata la diffusione del testo a mezzo di download,
é' vietata la riproduzione parziale o totale dell'opera senza autorizzazione
dell'autore.

Il testo si rivolge a studenti ed appassionati alle prime armi nel mondo del volo, contiene definizioni, terminologia e concetti di base per cominciare un appassionato studio in questo settore.

La parte di cui vado più fiero è quella relativa alle esercitazioni pratiche di volo, eseguite con un modello di aliante in volo libero; esercitazioni eseguite con studenti e che consentono di porsi domande fondamentali sul come e perché un aereo vola. Ovviamente alle domande seguono le risposte, in uno stile logico e deduttivo tipico dell'apprendimento tramite l'esperienza.

Spero che il mettere gratuitamente in rete questo testo non significhi perderne la proprietà intellettuale in quanto autore, ma condividere il "fare cultura". Contrariamente al mediterraneo modo di agire, la dove riteniate di utilizzare parte di questo testo per fini didattici, vi prego di citare questo testo, l'autore ed il sito www.paer.it quale fonte.

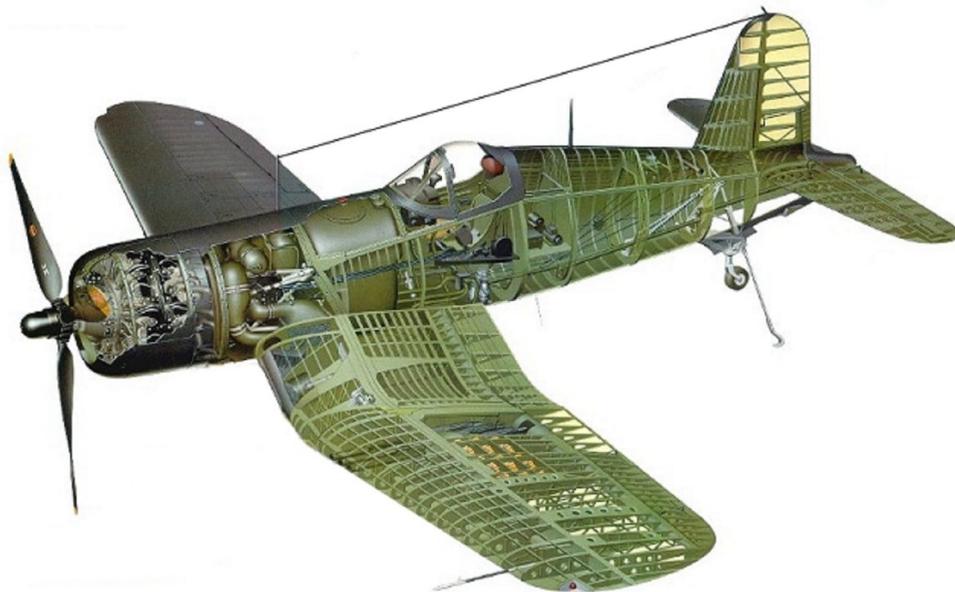
Il testo non è esaustivo ma può svilupparsi in funzione delle necessità. Con il sostegno dei lettori che gradiscono quest'opera, penso che potrà ampliarsi ulteriormente.

Buona lettura

Massimo Bevilacqua



QUADERNO DI CULTURA AERONAUTICA ED ESERCITAZIONI PRATICHE DI AEROMODELLISMO



INDICE

Prefazione alla edizione elettronica

Introduzione

Il Velivolo	Pagina
Architettura generale del velivolo: nomenclatura e funzione delle varie parti.....	6
Il gruppo motopropulsore	10
Le diverse configurazioni di aeromobile.....	12
Altre macchine volanti	15
Gli assi di riferimento ed i movimenti fondamentali.....	17
L'ala	
Geometria e architettura dell'ala.....	20
Il profilo alare, geometria, tipologie di profilo e catalogazione.....	26
Disegno del profilo da tabelle percentuali.....	31
Leggere ed utilizzare una tavola costruttiva.....	35
La costruzione dei primi modelli	
Cenni sulle strutture e sui materiali.....	40
Principali tecniche costruttive per la fusoliera:	
con struttura a tavoletta.....	44
con struttura a traliccio.....	45
con struttura a ordinate e correntini.....	47
con struttura a cassetta	49
con struttura a guscio	50
Tecniche costruttive per l'ala centinata:	
le centine.....	52
il longherone.....	54

Esercitazioni pratiche sulle strutture :

costruzione di longheroni e prove distruttive.....	55
Il bordo di entrata e di uscita.....	55
Il montaggio dell'ala e sua rifinitura.....	56
La rifinitura delle strutture ed il rivestimento.....	59
Il rivestimento in carta seta e tessuti vari.....	61
Il rivestimento in materiale plastico termoretraibile.....	65

Messa a punto e prime prove di volo del modello di aliante

Messa a punto e centraggio statico.....	68
Prove di volo e centraggio dinamico.....	69
Il lancio con cavo di traino.....	72
Il direzionale mobile ed il dispositivo antitermica.....	74
Le riparazioni.....	77

Come e perché un aereo vola

Esperimenti e prove di volo con un modello di aliante.....	78
Definizione delle principali grandezze aerodinamiche.....	82
Variazione dei coefficienti aerodinamici al variare dell'incidenza....	84
Osservazione dei fenomeni aerodinamici sul profilo alare.....	86
Variazione dei coefficienti aerodinamici con il tipo di profilo.....	89
Polare dell'ala ed efficienza aerodinamica.....	90

Esercitazioni pratiche sulla variazione delle grandezze aerodinamiche:

Variazione della portanza con la velocità di volo e la superficie.....	93
Stallo e variazione della portanza con il tipo di profilo	94
Variazione della portanza con il profilo.....	94
Influenza del peso sulla planata.....	95

***Condizioni di equilibrio delle forze
per un aereo su diverse traiettorie di volo***

Volo librato.....	97
Volo livellato.....	98
Volo in salita.....	99
Volo in discesa.....	100
Volo in virata.....	101

Comandi di volo e manovre fondamentali

Manovra di beccheggio.....	102
Manovra di imbardata.....	103
Manovra di rollio.....	104
Il concetto di stabilità e manovrabilità.....	105
Bibliografia	106
Ringraziamenti.....	107

Prefazione dell'autore alla edizione elettronica

Per diversi anni questo testo è stato utilmente usato nel biennio degli Istituti aeronautici, nella materia di "esercitazioni pratiche". Con l'arrivo della discutibile riforma scolastica "Gelmini", che ha trasformato questa tipologia di scuole in Istituti Tecnici per il trasporto e la logistica, la materia è scomparsa per essere sostituita da "scienze e tecnologie applicate".

L'aeromodellismo usato come strumento di cultura aeronautica sembra oggi solo un ricordo. Io penso invece che sia ancora uno strumento didattico appassionante per vivere e conoscere il mondo del volo.

Dall'anno 2011 il libro non è più stampato, l'editore Aviolibri-IBN non ha ritenuto di rinnovare l'edizione. Il testo è tornato quindi nelle mani dell'autore che lo ha rinnovato, mettendolo gratuitamente in rete al sito www.paer.it.

E' un lavoro fatto con passione, spero possiate apprezzarlo e ancor di più spero vi possa essere utile.

INTRODUZIONE ORIGINALE ALLA PRIMA EDIZIONE

"Ma lascia stare ! Non c'è più nulla da scoprire!"

Questa lapidaria frase di commento mi fu rivolta sul campo di volo da un esperto aeromodellista; stavo sperimentando dei piani di coda a "V" sul mio aliante radioguidato, avevo circa venti anni e quello doveva essere il suo personale incoraggiamento. Probabilmente l'inclinazione di quelle superfici di coda era veramente eccessiva.....ma io dovevo ancora scoprirlo!

Questo manuale si rivolge a chi vuole ancora scoprire la bellezza del volo e le sue leggi.

Attraverso la costruzione di un piccolo aliante da volo libero ed una serie guidata di esercitazioni sul campo di volo, il lettore potrà gradualmente scoprire come e perché un aereo vola, arrivando infine a comprendere il significato di formule e diagrammi. Il testo è adatto, inoltre, per gli studenti del primo e secondo anno degli istituti tecnici aeronautici, perché cura in modo particolare le definizioni e la terminologia tecnica, indispensabili per un corretto sviluppo della cultura aeronautica di base.

Contrariamente a quanto alcuni credono l'aeromodellismo non è esattamente "un gioco da ragazzi", perché un aeromodello differisce da un vero aereo solo per le dimensioni e le energie messe in gioco durante il volo.

Definirei allora l'aeromodellismo come uno "sport scientifico", che come tale può divertire e dare molte soddisfazioni.

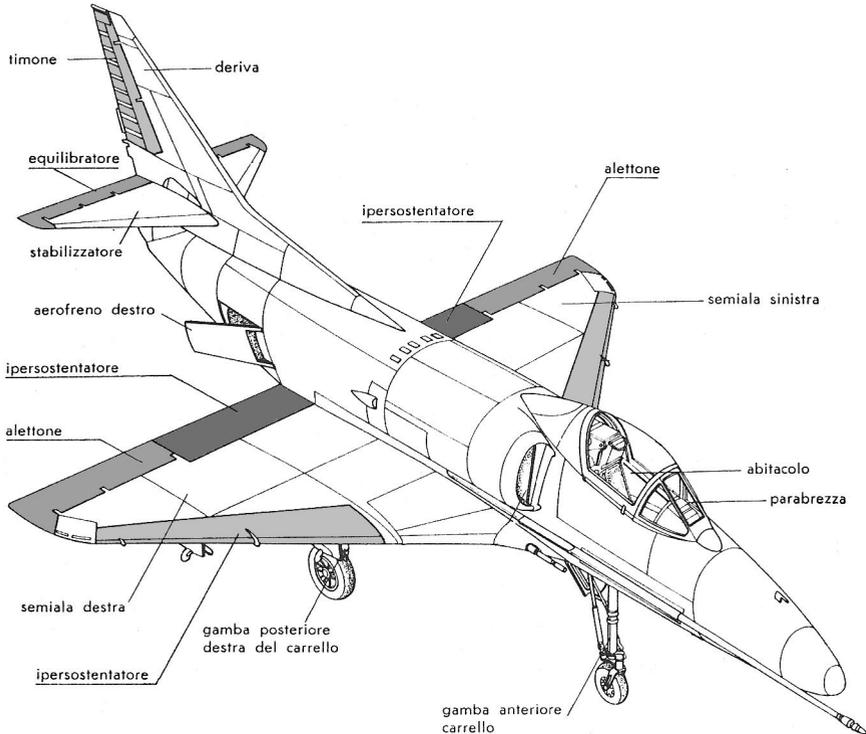
Per riuscire in questo "sport" ritengo ci sia un'unica condizione: pensare che "abbiamo sempre qualcosa da scoprire".

Buon volo!

ARCHITETTURA GENERALE DEL VELIVOLO

Un aeroplano, nella sua impostazione più generica, è costituito dai seguenti elementi fondamentali: ala, fusoliera, piani di coda, organi di atterraggio, gruppo motopropulsore.

Distinguiamo correttamente i vari elementi in base alla loro funzione:



le parti principali del velivolo

Ala

È la parte fondamentale del velivolo, perché grazie alla sua traslazione nell'aria garantisce il generarsi delle forze aerodinamiche in grado di sostenere l'aereo.

Generalmente costruita in due sezioni denominate semiali, sulla sua superficie può alloggiare delle parti mobili in grado di cambiarne il profilo:

gli **alettoni**, che permettono al velivolo di manovrare

e gli **ipersostentatori** che consentono di diminuire la velocità di volo.

Fusoliera

E' l'elemento strutturale destinato a contenere il carico utile, (piloti, equipaggiamenti, merci, passeggeri, ecc..) generalmente accoglie il gruppo motopropulsore ed i carrelli, funge inoltre da rigido collegamento tra ala e piani di coda.

Piani di coda

Sono costituiti da superfici aerodinamiche fisse e mobili che garantiscono la stabilità e la manovrabilità dell' a/m. Generalmente alloggiati sulla parte posteriore (da cui il nome) si suddividono in piani di coda orizzontali e verticali.

Le parti fisse prendono il nome di:

deriva e stabilizzatore.

Le parti mobili rispettivamente :

timone e equilibratore.

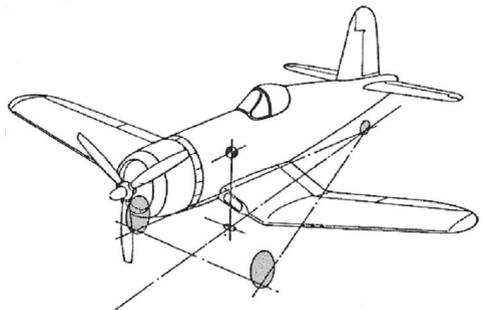
Organi di atterraggio

Sono tutti quei dispositivi che permettono allo a/m di procedere alla corsa di decollo, atterraggio ed eseguire tutti i movimenti al suolo.

Nel caso più comune prendono il nome di **carrelli** e sono costituiti da ruote che consentono il movimento su diversi tipi di terreno, possono essere fissi o retrattili per offrire una minore resistenza aerodinamica.

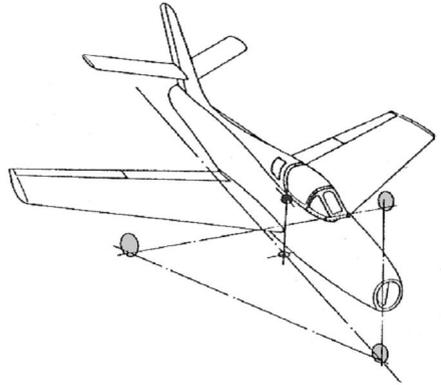
Carrello biciclo: di grande uso nei primi decenni dell'aviazione, si riconosce per la presenza di un piccolo ruotino posto in coda in modo tale che il baricentro (punto di applicazione della forza peso) si trovi appena dietro le ruote principali.

Questa configurazione permette un sicuro movimento su terreni non pavimentati, di notevole economia e facilità costruttiva richiede un maggiore impegno per il pilota nella fase di decollo e rullaggio per la scarsa visibilità anteriore. Presenta inoltre una certa instabilità direzionale proprio dovuta alla posizione del baricentro.

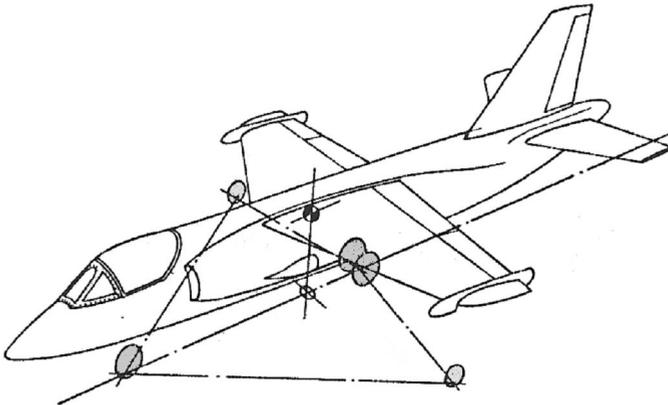


Carrello triciclo: riconoscibile per l'evidente ruotino anteriore orientabile (localizzato sotto il muso dello aereo), ha preso prepotentemente piede grazie all'ormai generalizzato uso di piste in asfalto.

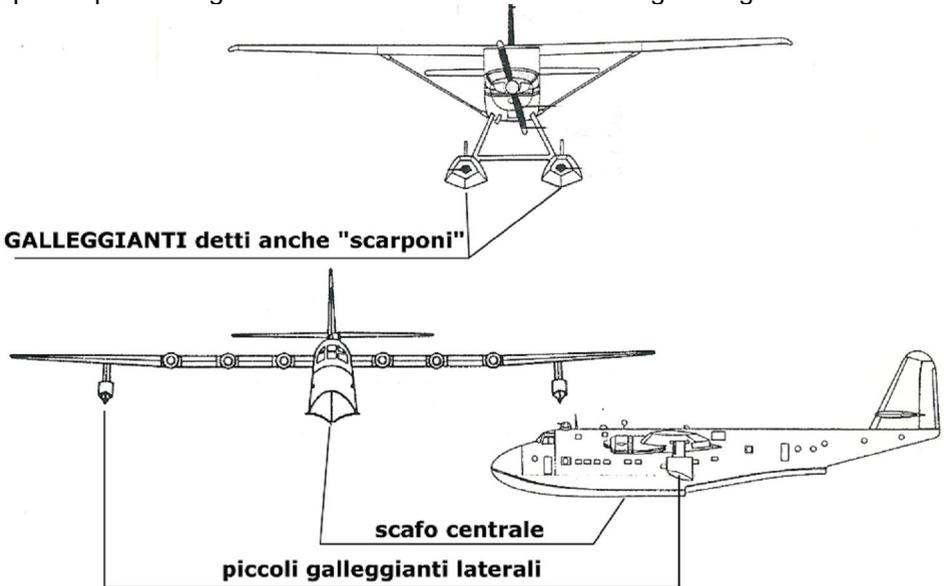
Di utilizzo più semplice ed intuitivo a differenza del biciclo, non richiede particolari tecniche di pilotaggio per il decollo offrendo, oltre ad una ottima visibilità in rullaggio, una naturale stabilità direzionale dovuta al baricentro che ora va a cadere poco davanti alle ruote principali del carrello.



Un caso particolare di carrello è quello definito **monotraccia**, le due gambe principali sono disposte sotto la fusoliera: una davanti e l'altra dietro il baricentro, completando eventualmente il carrello con due piccole gambe laterali per maggiore stabilità trasversale. Viene adottato questo sistema quando le ali sono troppo sottili per consentire la retrazione in esse del carrello.



Nel caso si tratti di idrovolante (aereo che opera su specchi d'acqua) gli organi di atterraggio sono **galleggianti o carenature di fusoliera**, queste assumono un aspetto tipico a chiglia di natante come mostrato nelle figure seguenti.



Infine, tipico degli alianti o degli a/m sperimentali, ricordiamo l'utilizzo del **pattino di atterraggio**: generalmente accoppiato ad un singolo ruotino su cui cade il baricentro, assolve egregiamente ed in economia di peso, al necessario assorbimento della energia cinetica alla fine di un atterraggio (o accidentalmente durante i decolli).



GRUPPO MOTOPROPULSORE

Abbiamo accennato al fatto che l'ala per generare una forza sustentatrice per l'aereo, deve necessariamente muoversi traslando nell'aria, il gruppo motopropulsore è quello che assicura la forza necessaria a questo movimento vincendo le forze di attrito e di inerzia.

Il motopropulsore è fondamentalmente costituito da un motore (che trasforma l'energia chimica del carburante, in movimento meccanico) e un elemento che trasforma l'energia meccanica fornita dal motore in forza propulsiva (propulsore).



Motopropulsore a getto



e ad elica

I motori di maggior uso sono di due tipi: **alternativi** (motori a scoppio molto simili a quelli delle autovetture) o motori **a turbina**; ad entrambi possono venire accoppiate delle eliche che sono in grado di generare la trazione necessaria.

motore alternativo a quattro tempi



Elica, ogiva e allestimenti

Quando nel motopropulsore ad elica si utilizza un motore a turbina il gruppo prende il nome di **turboelica**.

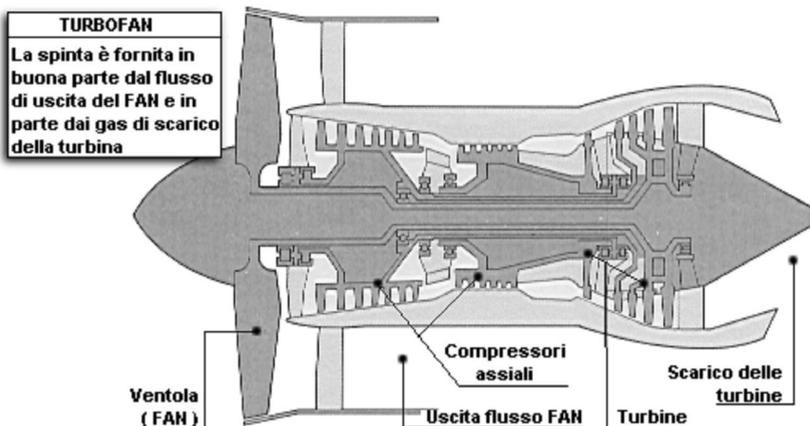
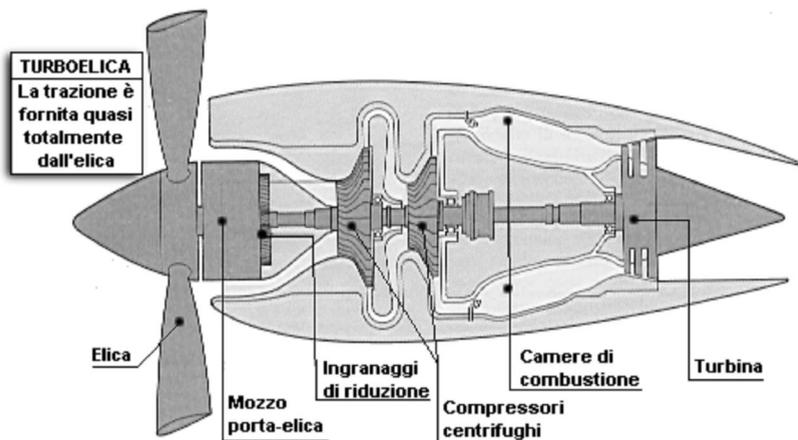
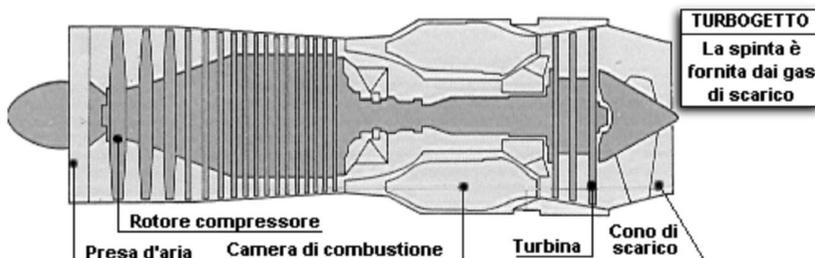
Se al motore a turbina viene accoppiata una ventola intubata il tutto prende il nome di **turbofan**.

Se il motore a turbina viene utilizzato solo per accelerare i gas di scarico verso la parte posteriore si parla di **turbogetto**.



Vista posteriore di un motopropulsore TURBOFAN

Nei disegni che seguono, rappresentiamo i tipi principali di motopropulsore a turbina: il TURBOGETTO, il TURBOELICA e il TURBOFAN.



LE DIVERSE CONFIGURAZIONI DI AEROMOBILE

La fantasia del genio umano si è veramente sbizzarrita nella architettura del velivolo, soprattutto ai primordi dell'aviazione le architetture degli aerei erano tra le più svariate (un riferimento sia il film "Quei temerari sulle macchine volanti").

A tutt'oggi possiamo comunque riconoscere un numero finito di configurazioni cui tutti possono rifarsi:

CONFIGURAZIONE TRADIZIONALE

E' quella descritta e rappresentata all'inizio di questo capitolo, risulta essere quella di gran lunga utilizzata. Riconoscibile ad un primo sguardo per le superfici stabilizzanti poste in coda al velivolo.



CONFIGURAZIONE BIPLANO

Caratterizzata dalla evidente presenza di due ali sovrapposte, in passato veniva adottata per ovviare alla scarsa potenza dei motori; dividere la superficie alare necessaria al volo, su due piani, permetteva infatti di ridurre le dimensioni laterali ed avere delle soluzioni strutturali e costruttive più vantaggiose.

L'odierna potenza dei motori consente di raggiungere una maggiore velocità di volo riducendo la superficie alare complessiva.



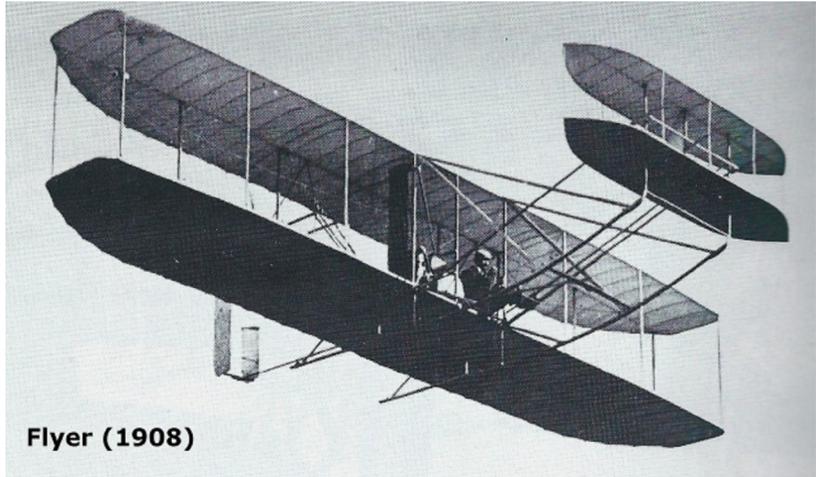
Oggi disporre le ali in configurazione biplano porta a macchine più compatte e manovrabili, come il *pitts special* qui a sinistra.

Il biplano trova infatti il suo moderno utilizzo in applicazioni particolari quali il volo acrobatico o lavori aerei che richiedano ridotte dimensioni laterali e grande manovrabilità.

CONFIGURAZIONE CANARD

In questo caso lo stabilizzatore/equilibratore è posto in prua invece che in coda e quindi per un occhio non allenato si potrebbe avere l'impressione di "un aereo che vola all'indietro".

Questo tipo di architettura non dovrebbe comunque stupire, perché il primo famoso volo a motore dei fratelli Wright, nel 1903, fu condotto proprio con un biplano canard. Attualmente è ampiamente utilizzata nei moderni aerei da combattimento grazie alla grande manovrabilità che è in grado di assicurare.



CONFIGURAZIONE TUTT' ALA

Caratterizzata dal fatto di non avere le tradizionali superfici stabilizzanti in coda o in prua, esige una accurata impostazione aerodinamica del progetto nonché realizzativa; questo perché un'ala isolata è generalmente instabile.

Particolarmente studiata alla fine della seconda guerra mondiale, ebbe sviluppo soprattutto in campo spaziale per il disegno aerodinamico delle navicelle di rientro (progetto culminato nella realizzazione del famoso "space shuttle"); questa affascinante configurazione è ora tornata tristemente alla ribalta poco prima della guerra nel Golfo Persico per l'impiego dell'ormai noto bombardiere "Northrop B-2" al fianco del più famoso "F-117A Stealth"

Il tutt' ala vede comunque da molto tempo un suo normale e particolare utilizzo in tutti gli aerei con ali a delta come il famoso aereo da trasporto "Concorde" o da combattimento "Mirage III".



ALTRE MACCHINE VOLANTI

ELICOTTERO

E' una macchina volante che dispone di vere e proprie "ali rotanti". Il rotore di un elicottero è infatti costituito da 2 o più pale. Ogni pala è in realtà una ala estremamente allungata.



La rotazione delle pale corrisponde alla traslazione delle ali di un aereo nell'aria e sulle pale rotoriche si sviluppa la forza in grado di sollevare l'elicottero.

Caratteristica essenziale di questa

soluzione è il fatto che la macchina può decollare, volare ed atterrare, rimanendo sulla verticale di un punto.

AEROSTATO E DIRIGIBILE

Sono aeromobili che si sostengono nell'aria per spinta statica, avendo un peso totale uguale o inferiore a quello del volume d'aria che spostano con la propria struttura.

L'aerostato (nella foto) non ha comandi di volo diversi dal controllo di quota tramite il bruciatore e la zavorra; il dirigibile invece può determinare la propria rotta e quota, disponendo di motopropulsori ad elica e timoni di controllo.



AEROMOBILI SPERIMENTALI O CON PARTICOLARI CONFIGURAZIONI

E' possibile incontrare aeromobili dalle forme più strane, alla ricerca di soluzioni sempre migliori.

Così vediamo aeromobili con **ali in tandem**, ovvero senza piani di coda e con ali anteriori e posteriori. Un esempio di questa configurazione è il Voyager di Rutan che ha compiuto il giro del mondo senza scalo. Altri aerei, come il Piaggio 180 Avanti (a destra) sfuggono a rigide e precise classificazioni: questo è un esempio di velivolo



con alette canard e piani di coda a T, con motopropulsori a turboelica ed eliche propulsive. Infine, spero possiate scoprire ed osservare macchine volanti sempre nuove e diverse, espressione della voglia dell'uomo di volare in armonia con la natura, come esempio il dedalo con propulsione a pedali (foto di sinistra).

DELTAPLANO e DELTAPLANO A MOTORE

Il deltaplano è la realizzazione del sogno di Icaro e Leonardo, il volo umano più simile a quello degli uccelli : un'ala di forma e caratteristiche particolari, plana nell'aria sfruttando le naturali correnti ascensionali. Il pilota, appeso ad essa, controlla il mezzo spostando il suo peso e cambiando le condizioni di equilibrio dell'ala stessa.

Al deltaplano può essere collegato un carrello sul quale prendono posto il pilota ed un motopropulsore ad elica, in questo caso il velivolo prende il nome di deltaplano a motore o "ultraleggero pendolare".



PARAPENDIO

Questo mezzo volante, evoluzione del paracadute, è costituito da una ala la cui forma viene ottenuta per gonfiaggio di alcuni "cassoni" di tessuto ad opera del vento relativo.

Il pilota agisce su alcune cordicelle che cambiano la forma posteriore della vela e gli consentono di cambiare direzione e velocità di volo. Come per il deltaplano, il volo può avvenire anche sfruttando un motopropulsore ad elica alloggiato dietro le spalle del pilota.

VELIVOLI ULTRALEGGERI (ULM)

Sono velivoli che rientrano in una delle categorie menzionate fino ad ora, ma con un peso totale al decollo inferiore ai 500 KG. Sono autorizzati ad operare fuori dagli spazi aerei controllati ed ad una quota inferiore ai 300 metri di altezza.



GLI ASSI DI RIFERIMENTO ED I MOVIMENTI FONDAMENTALI

Ogni volta che un aereo in volo compie delle evoluzioni, dalla più semplice alla più complessa, è in realtà costretto a ruotare attorno al suo baricentro lungo tre direttrici fondamentali che si chiamano assi di rotazione.

Baricentro e assi di rotazione sono fondamentali elementi di riferimento per tutto quello che riguarda la progettazione, il disegno e le caratteristiche di stabilità e manovrabilità; eccone quindi le definizioni.

Baricentro (o centro di gravità C.G.),

è il punto ideale in cui si applica la risultante delle forze peso delle varie parti dello a/m. E' quindi il punto dal quale sospendendo l' aereo se ne otterrebbe l'equilibrio perfetto e l'esatta determinazione della sua posizione è fondamentale per quanto detto sopra.

Assi di rotazione: assi ideali che attraversano l'aereo passando per il baricentro, ortogonali tra loro ed attorno ai quali ruota necessariamente l' a/m, si distinguono in:

Asse longitudinale (X), attraversa tutta la fusoliera dalla parte anteriore a quella posteriore (e assieme all'asse Z determina un piano di simmetria dell'a/m).

Asse trasversale (Y), mantenendosi ortogonale all'asse longitudinale, passa per il baricentro unendo idealmente le due estremità alari.

Asse verticale (Z), attraversa l'a/m in senso verticale mantenendosi ortogonale al piano orizzontale generato dai primi due assi.

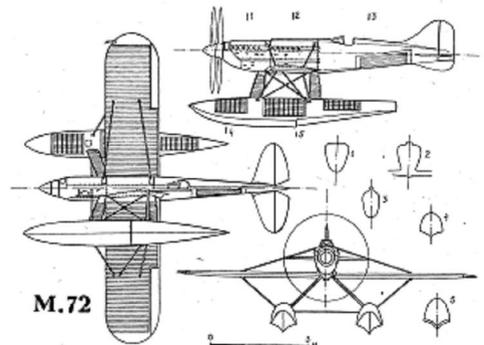
Osservando l'a/m da ognuno degli assi ora descritti, si dispone di differenti viste:

la vista frontale (dall'asse longitudinale)

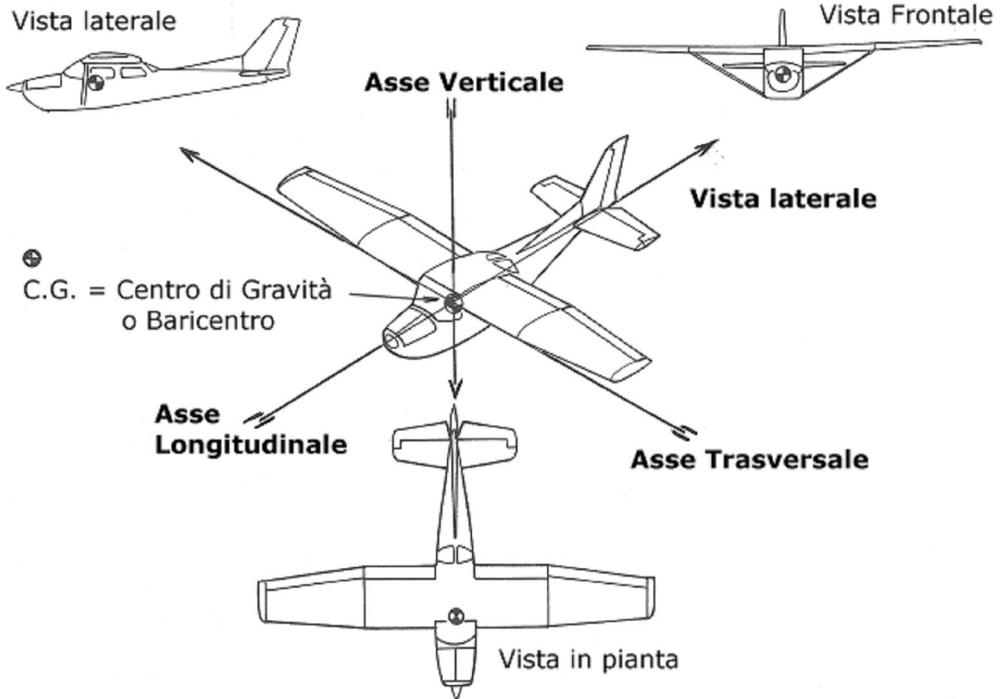
la vista laterale (dall'asse trasversale),

la vista in pianta (dall'asse verticale).

L'insieme di queste tre viste ci fornisce un disegno di insieme che chiamiamo **trittico** e che ci sarà di grande aiuto in tutte le fasi di studio e progettazione.



Vediamo qui riepilogati gli assi e le viste fondamentali:



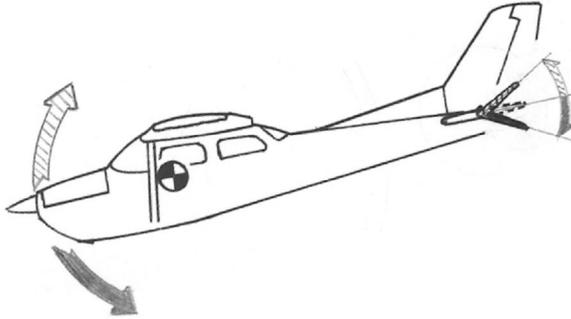
Come si vede anche dal disegno, il baricentro assume un ruolo centrale nel definire un punto di riferimento per gli assi e le rappresentazioni dell'aeromobile; prende anche il nome di Centro di Gravità (C.G.).

Proseguendo nel corso lo incontreremo spesso, perché la sua posizione influenza direttamente le caratteristiche di volo di qualsiasi aeromobile.

Gli assi definiscono anche i movimenti fondamentali dell'aereo così come descritti nella pagina seguente, infatti i movimenti di rotazione del velivolo attorno agli assi, prendono i nomi di :

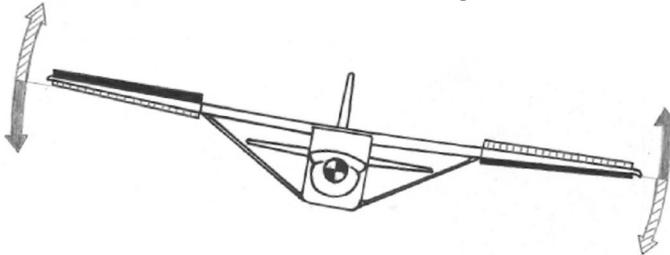
BECHEGGIO

attorno all'asse trasversale e
determinato dal movimento dall'equilibratore



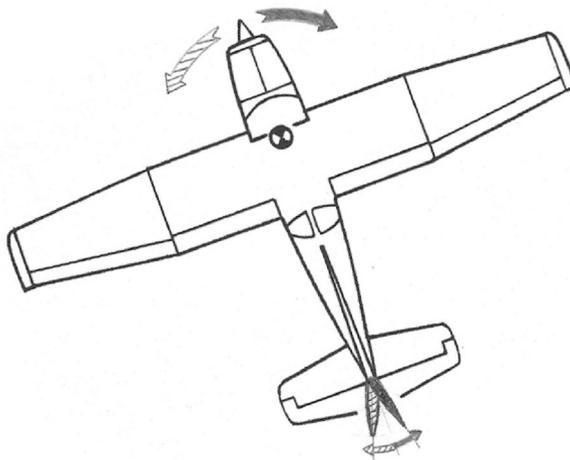
ROLLIO

attorno all'asse longitudinale e
determinato dal movimento degli alettoni



IMBARDATA

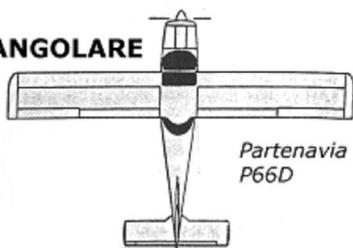
attorno all'asse verticale e
determinata dal movimento timone



GEOMETRIA ED ARCHITETTURA DELL'ALA

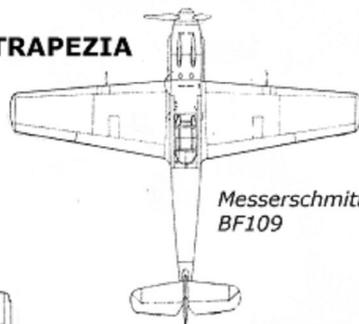
Osservando diversi modelli di aereo notiamo che le ali assumono le più diverse forme in pianta:

RETTANGOLARE



*Partenavia
P66D*

TRAPEZIA



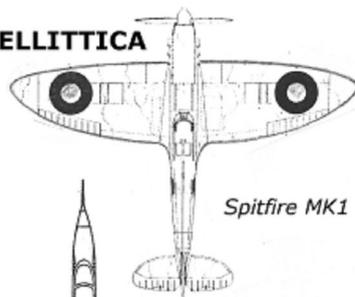
*Messerschmitt
BF109*

RETTANGOLARE CON RASTREMAZIONE



*Cessna
C150*

ELLITTICA



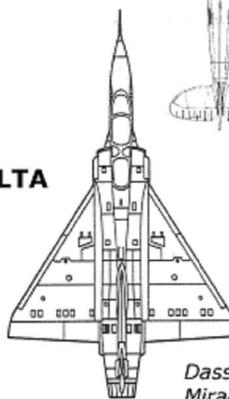
Spitfire MK1

A FRECCIA



FIAT G91

A DELTA



*Dassault
Mirage 2000*

A GEOMETRIA VARIABILE



*Grumman
F14 "Tomcat"*

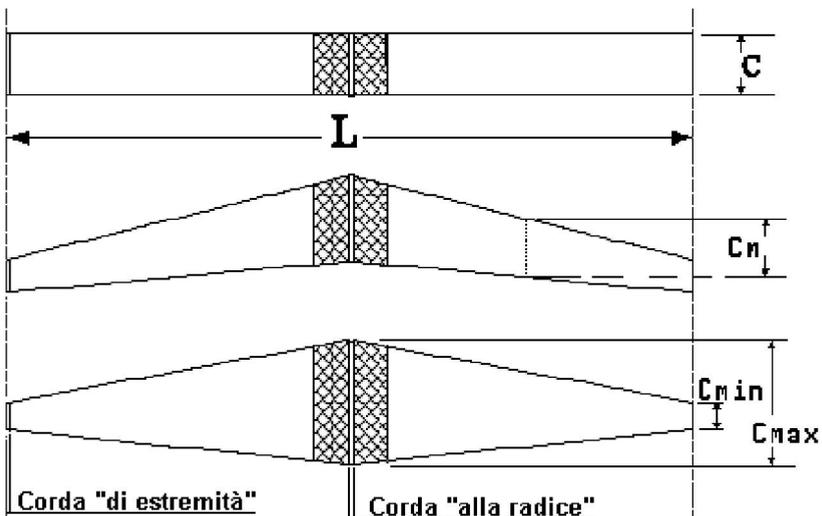
Ognuna delle ali ora viste, può dar luogo ad altre, si parlerà allora di ala a doppio delta, a doppia freccia, rettangolare con estremità ellittiche, ecc. ecc.

Le diverse geometrie forniscono all'ala caratteristiche di volo altrettanto diverse. Così un'ala a freccia offre meno resistenza all'avanzamento di un'ala rettangolare. Un'ala ellittica è decisamente più efficiente di un'ala a pianta trapezoidale. L'ala rettangolare è più semplice e quindi economica da realizzare. L'ala a geometria variabile, che esige una sofisticata e costosa tecnologia, offre però una enorme versatilità di impiego, all'aereo che ne fa utilizzo

Questi pochi esempi servono a dire che la scelta di una forma in pianta è spesso il compromesso tra molti fattori che influenzano la nascita di un aereo.

E' comunque necessario disporre di una terminologia chiara ed univoca, per definire tutti gli elementi in gioco, da quelli geometrici a quelli tipicamente aerodinamici.

Su tutte le ali viste in pianta, è possibile rilevare i seguenti elementi geometrici fondamentali:



Limitandoci quindi **alla vista in pianta** definiamo i vari elementi come segue:

APERTURA (L) = Distanza tra le estremità alari

Bordo di entrata (b.e.) = Linea o bordo anteriore, che per primo incontra l'aria

Bordo di uscita (b.u.) = Linea o bordo posteriore, che per ultimo viene lambito dal flusso aerodinamico

CORDA (C) = Distanza tra bordo di entrata e bordo di uscita

CORDA MEDIA (Cm) = Media geometrica tra la corda massima (C_{max}) e la corda minima (C_{min})

CORDA MEDIA AERODINAMICA (Cma) = Corda media corretta o ricalcolata considerando le effettive prestazioni aerodinamiche dell'ala

ALLUNGAMENTO (λ) = Rapporto tra apertura e corda media.

L'allungamento è una caratteristica geometrica molto importante che influenza direttamente le prestazioni che l'ala può offrire; vediamo di capirne bene il significato geometrico.

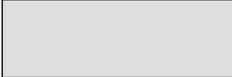
Se consideriamo due ali di pari superficie (es. 10 m^2) ma con allungamenti diversi, ci troveremo di fronte a una situazione di questo tipo:

Superficie alare = 10 m^2

a) **Allungamento = 10** ---- es. $L = 10\text{m}$ $C_m = 1\text{m}$

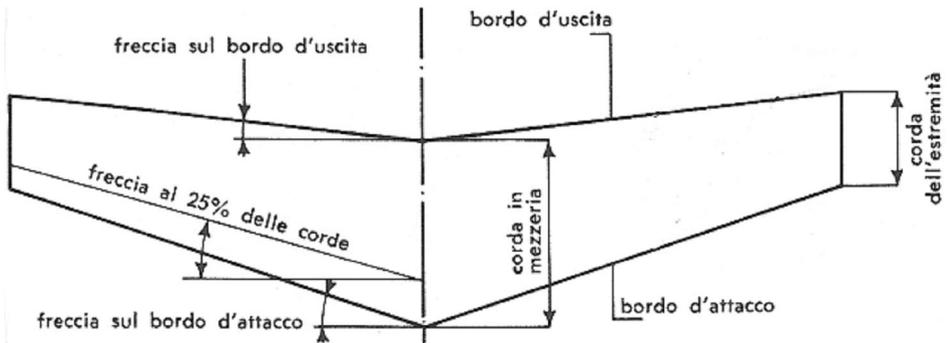
Disegno dell'ala : 

b) **Allungamento = 2,5** --- es. $L = 5\text{m}$ $C_m = 2\text{m}$

Disegno dell'ala : 

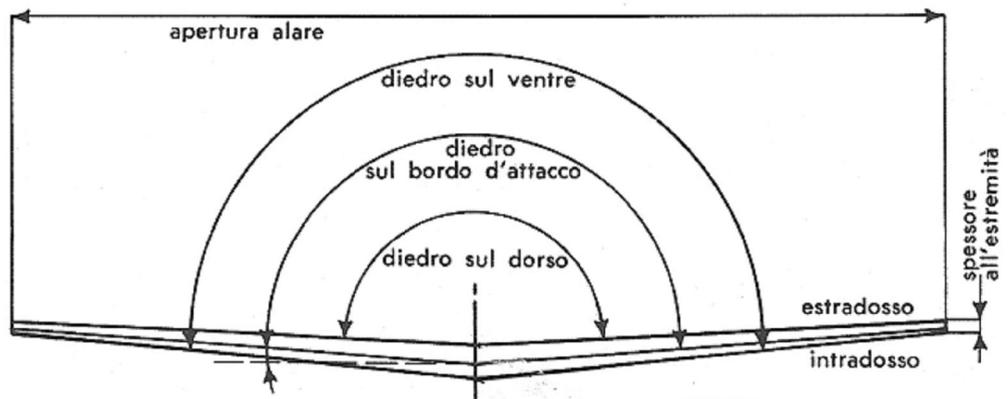
Appare evidente come l'allungamento indichi la "snellezza" di un'ala. L'importanza di questo dato sta nel fatto che, **maggiore è l'allungamento migliore è l'efficienza aerodinamica dell'ala.**

Tipico delle ali a freccia è l'**angolo di freccia**. Questo si può misurare tra una parallela all'asse trasversale e il bordo di entrata (mentre una misura più rigorosa vorrebbe la misurazione rispetto ad un asse che passi per i 3/4 delle varie corde).



Si definisce **freccia positiva** quella di un'ala con le estremità rivolte verso la parte posteriore, mentre **freccia negativa** è quella di un'ala con le estremità rivolte verso la parte anteriore dell'aereo.

Cominciamo ad osservare l'ala nella sua vista frontale e noteremo che ha un suo spessore e che le estremità generalmente non sono sullo stesso piano della radice dell'ala: questa inclinazione rispetto al piano orizzontale prende il nome di **diedro** e si misura in gradi oppure (particolarmente per l'aeromodellismo) in "altezza" dell'estremità rispetto al piano.



Il diedro alare influisce direttamente sulla stabilità laterale. Maggiore è il sollevamento delle estremità, maggiore sarà la tendenza dell'aereo a tornare automaticamente nella posizione con ali livellate.

Con le viste frontali, osserveremo diversi tipi di **diedro alare**:

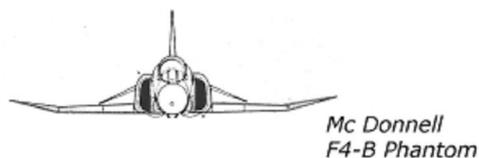
NULLO O "PIATTO"



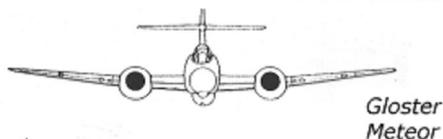
SEMPLICE o a "V"



ad ESTREMITA' RIALZATE



DOPPIO



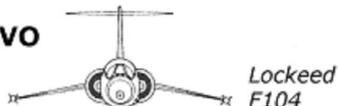
A GABBIANO ROVESCIATO



A GABBIANO

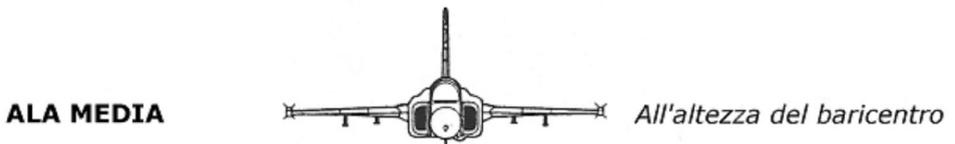
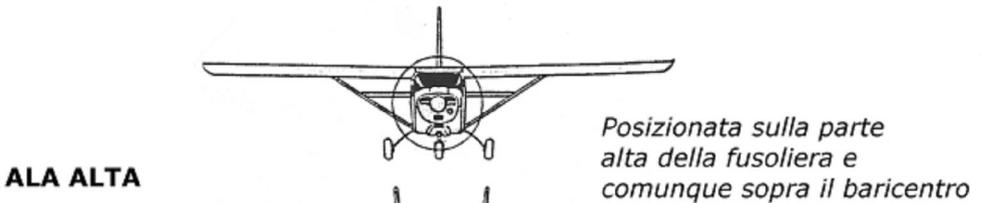
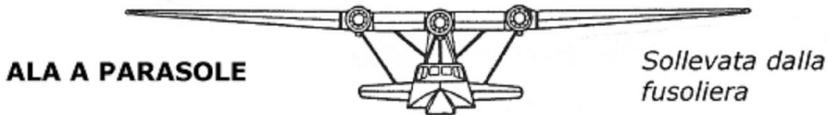


NEGATIVO



La scelta del tipo e dell'entità del diedro è strettamente legata alle caratteristiche di volo desiderate. Talvolta è legata a necessarie scelte costruttive, come nel caso dell'F4U Corsair per il quale il caratteristico diedro a gabbiano rovesciato si era rivelato molto utile per accorciare la lunghezza del carrello, rendendolo più adatto agli appontaggi su portaerei, nonostante l'elica di considerevole diametro.

Osservando L'ala possiamo infine notare un'altra importante caratteristica considerando, **la posizione sull'asse verticale rispetto al baricentro**. Infatti in base ad essa noi distinguiamo le ali in:



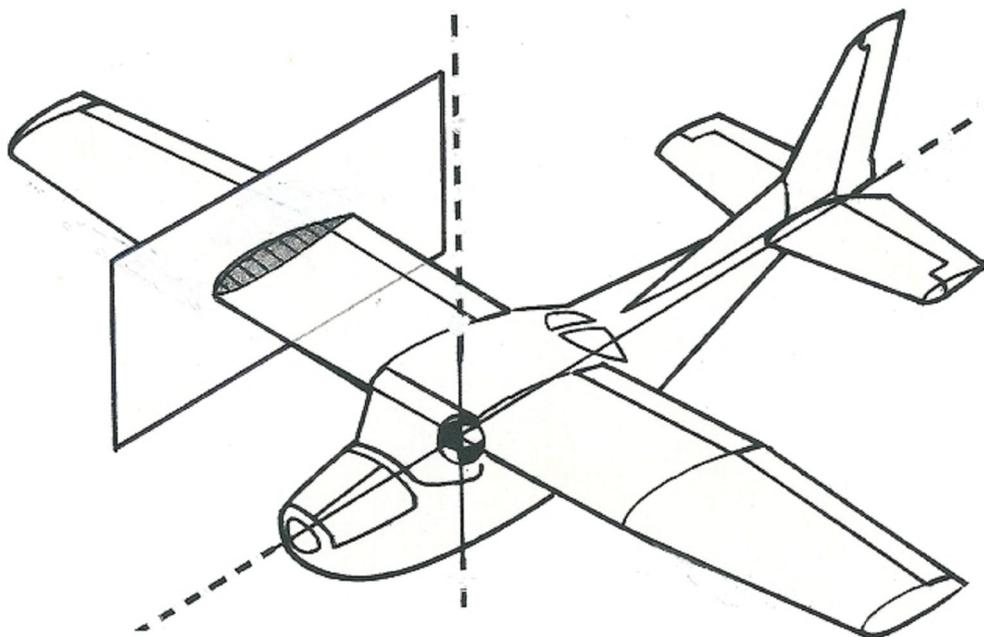
La distanza verticale dell'ala dal baricentro, determina una certa stabilità pendolare che si unisce alla stabilità dinamica laterale indotta dal diedro, ecco quindi che, se la forma in pianta dell'ala influenza il "rendimento aerodinamico" dell'aereo, **il diedro e la posizione verticale dell'ala, influenzano direttamente la stabilità sul movimento di rollio.**

IL PROFILO ALARE

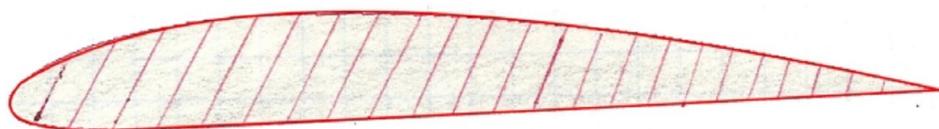
Il profilo alare è senza dubbio "il cuore" di un'ala, perché nella sua forma è racchiuso il "segreto del volo". Vedremo infatti come il profilo riesce a generare la forza in grado di sostenere l'aereo se lambito da una corrente aerodinamica.

Per ora proviamo ad identificarne con esattezza gli elementi geometrici che ci permetteranno di distinguere un profilo da un'altro.

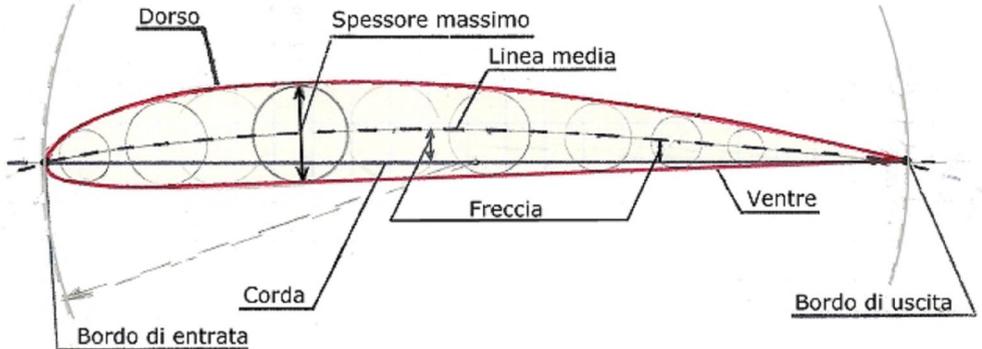
Se immaginiamo di tagliare un'ala con un piano parallelo al piano di simmetria (vedi figura) otterremo una sezione che ne è proprio il *profilo*



Osserviamo il profilo alare ricavato da questa sezione:



La forma del profilo ora visto potrebbe non dirci nulla, definiamone allora alcuni elementi geometrici fondamentali (alcuni dei quali già noti nella geometria dell'ala)



Bordo di entrata e bordo di uscita

Già incontrati nella geometria dell'ala, qui si definiscono più esattamente come dei singoli punti, determinabili nella maggior parte dei casi, come i punti di tangenza al minore cerchio *circoscritto* al profilo stesso.

Dorso e Ventre

Linea superiore del profilo (che giace sulla superficie superiore dell'ala) detta anche linea di estradosso e linea inferiore del profilo (che giace sulla superficie inferiore dell'ala) e detta anche linea di intradosso

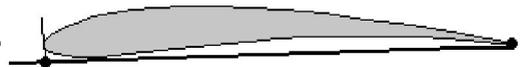
Corda

Nei profili biconvessi è il segmento che unisce bordo di entrata e il bordo di uscita. Nei profili concavo-convessi è il segmento tangente o bitangente al ventre, definito dalle perpendicolari al bordo di entrata e di uscita.

Corda in un profilo biconvesso



Corda in un profilo concavo-convesso



Spessore massimo

Distanza massima tra dorso e ventre (determinabile come il diametro del maggiore cerchio inscritto)

Linea media

Linea equidistante dal dorso e dal ventre (determinabile unendo i centri dei cerchi *inscritti* al profilo)

Freccia

Generica distanza tra la corda e la linea media. Il rapporto tra il valore di freccia *massima* e la corda prende il nome di **inarcamento** e indica la curvatura caratteristica del profilo.

Ogni profilo è quindi dotato di una **curvatura** caratteristica. Considerando la linea media come un "asse di simmetria" del profilo noteremo che la sua curvatura ci indica come il dorso e ventre non sono simmetrici rispetto alla corda. Più la linea media si discosta dalla corda, maggiore è la curvatura del profilo, ovvero il suo **inarcamento**.

Proprio in base all'inarcamento è possibile distinguere le diverse "famiglie" di profili riportati nella pagina seguente ed a tale riguardo è possibile un piccolo esercizio grafico per comprenderne le differenze.

Nei profili alari qui riportati, tracciamo la linea media e osserviamo come questa aumenti la sua curvatura, scostandosi sempre più verso l'alto: nel profilo simmetrico la linea media coincide con la corda mentre negli altri si "solleva" sempre più man mano che si passa a profili di maggiore asimmetria (il profilo autostabile è un caso particolare).

Quello che cambia nei profili considerati *a parità di spessore* è la freccia massima, in particolare la sua grandezza e la sua posizione rispetto al bordo di entrata. Più grande è la freccia maggiore è la curvatura del profilo.

Maggiore è la distanza della freccia massima dal bordo di entrata più la curvatura sarà spostata verso la parte posteriore del profilo.

Definiamo in modo generico le famiglie di profili in base alla loro forma.

Simmetrici :

stessa forma del dorso e del ventre, linea media che coincide con la corda, inarcamento zero, caratteristica fondamentale è lo spessore. Si utilizzano nei piani di coda, nella carenature aerodinamiche o per le ali in aerei estremamente acrobatici.

Asimmetrici :

il dorso ha una curvatura maggiore del ventre, è la forma che caratterizza la maggior parte delle ali.

Piano convessi :

Il ventre è un segmento rettilineo, consente realizzazioni di maggior semplicità costruttiva.

Concavo convessi :

il ventre ha una curvatura che cambia direzione, realizzando una concavità nella parte inferiore; sviluppano maggiore portanza alle basse velocità.

Autostabili :

riconoscibili per la parte posteriore rivolta verso l'alto, sono caratterizzati da una maggiore stabilità longitudinale, si usano nei modelli senza piani di coda.

I profili alari hanno nomi diversi perché studiati in tempi e luoghi diversi; esempi sono la serie NACA, Clark, Eppler, Gottinga, Guidonia, Benedek e altri, tutti hanno preso il nome del luogo, dell'ente o della persona che li ha disegnati e studiati.

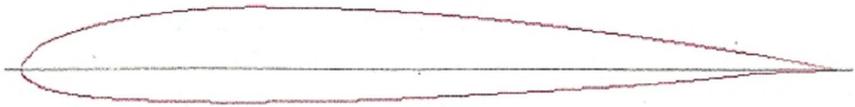
Così ad esempio i profili della serie NACA sono stati studiati dall'omonimo ente americano (**N**ational **A**dministration for **C**ivil **A**viation) ora divenuto NASA (**N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration).

*Nei disegni che seguono la linea orizzontale tracciata, **non coincide sempre con la corda del profilo**, perché è solo una linea di riferimento usata per il disegno tramite tabelle.*

BICONVESSO SIMMETRICO (Naca 0012)



BICONVESSO ASIMMETRICO (Naca 2312)



PIANO CONVESSO (Clark Y)



CONCAVO CONVESSO (Naca 6412)



AUTOSTABILE (Broggini 55509)



I profili NACA sperimentati con metodo scientifico vennero distinti con numeri a quattro o cinque cifre.

Nel numero a quattro cifre la prima indica il valore dell'inarcamento, la seconda indica la sua posizione rispetto al bordo di entrata (in decimi sulla corda), le ultime due indicano lo spessore massimo.

I valori forniti si intendono sempre espressi in percentuale rispetto alla corda.

Esempio: il profilo NACA 6409 di corda 100 mm, è caratterizzato da un inarcamento di 6 mm localizzato sulla corda a 40 mm dal bordo di entrata e ha uno spessore massimo di 9 mm.

I profili NACA a cinque cifre differiscono nella seconda e terza cifra che rappresentano la posizione della freccia moltiplicata per due.

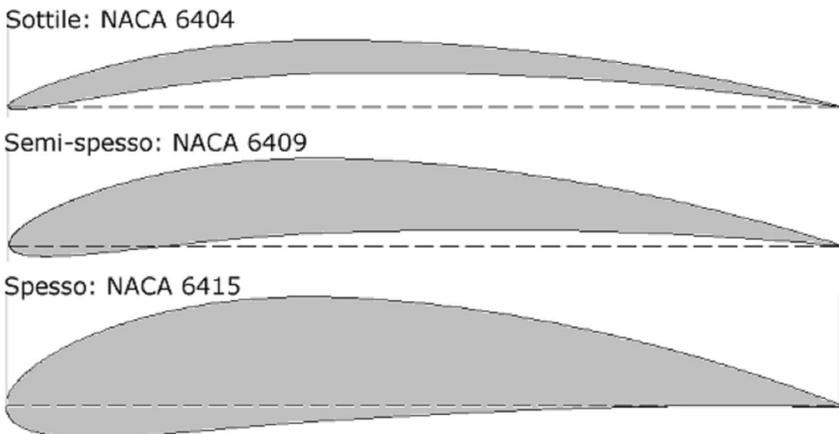
Esempio: NACA 23020, profilo con freccia del 2% posizionata al 15% dal bordo di entrata e spessore massimo del 20% (tutti valori percentuali sempre riferiti alla lunghezza della corda).

Anche lo spessore massimo è un elemento caratterizzante dei profili, se espresso in percentuale rispetto alla corda si dice **spessore relativo (S_r)** e con esso si definiscono le seguenti famiglie di profili:

Profili sottili con $S_r < 6\%$

Profili semi-spessi se $7\% < S_r < 14\%$

Profili spessi con $S_r > 14\%$



Il disegno di un profilo alare

Per scopi non solo aeromodellistici il disegno di un profilo alare si ottiene facendo uso di tabelle che forniscono le coordinate necessarie a tracciare dorso e ventre del profilo su un diagramma ad assi cartesiani.

I profili alari sono quindi catalogati in tabelle con tre serie di valori, e assumono la forma riportata qui a sinistra.

NACA 6409		
X	Y_s	Y_i
0	2,06	2,06
1,25	2,06	- 0,88
2,5	2,96	- 1,11
5	4,3	- 1,18
7,5	5,42	- 1,08
10	6,31	- 0,88
20	8,88	0,17
30	10,13	1,12
40	10,35	1,65
50	9,81	1,86
60	8,78	1,82
70	7,28	1,76
80	5,34	1,35
90	1,57	0,64
100	0	0

Ogni serie di valori é contrassegnata con una lettera:

la serie X rappresenta i valori delle ascisse,

la serie Y_s (s=superiori), rappresenta le ordinate del dorso

la serie Y_i (i=inferiori) rappresenta le ordinate del ventre

(Nelle tabelle americane:

Y_s viene sostituito da Y_u "u=upper" e Y_i con Y_l "l=lower").

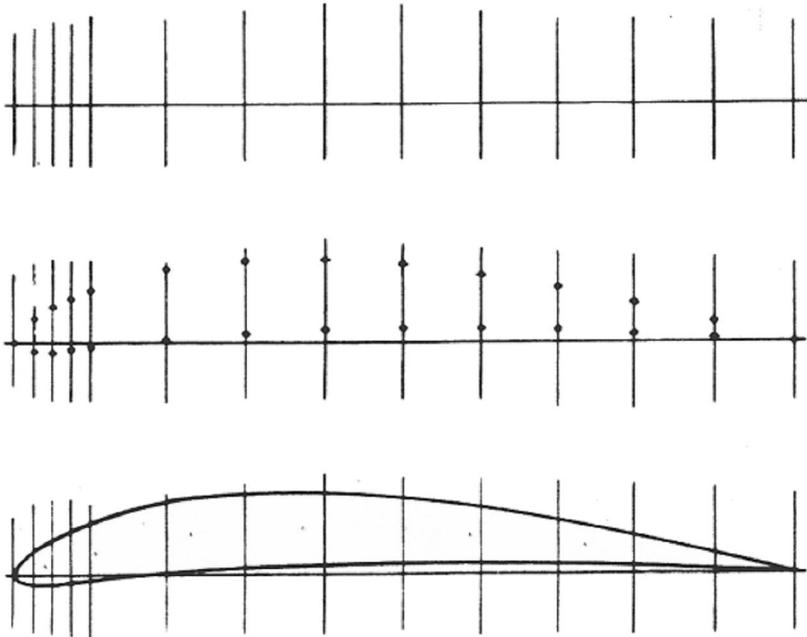
La tabella ha valori di X che vanno da 0 a 100, questo significa che con i numeri disponibili é possibile rappresentare (ad esempio) un profilo di 100 millimetri.

Utilizzando un foglio di carta millimetrata tracciamo una linea orizzontale di 100 mm e su questa riportiamo una linea verticale per ognuno dei valori X della tabella; abbiamo cosí tracciato le ascisse dei punti (prima figura del disegno che segue).

Ora consideriamo la serie di valori Y_s , e per ogni ascissa X riportiamo sulla linea verticale già tracciata, un punto di "altezza" pari al relativo valore di Y_s . Ripetiamo lo stesso per i valori di Y_i (seconda figura).

Non resta che unire i punti del dorso e del ventre usando con pazienza un adatto curvilinee. Il raccordo fra i vari punti dovrà essere tale da non creare spigoli o gradini, cercando di riprodurre la "aerodinamicità" delle linee tipiche del profilo alare. Non a caso dove é necessaria una maggiore precisione vengono forniti più punti (es. bordo di entrata).

Il profilo viene cosí completamente determinato come mostrato nell'ultimo passaggio del disegno che segue.



Il profilo ora rappresentato é il già menzionato NACA 6409 ed é bene osservare come nella sua tabella compaiano dei valori negativi, che devono essere riportati al di sotto della linea di riferimento usata.

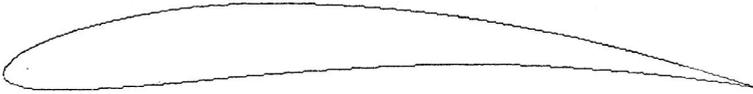
Il metodo descritto ci ha permesso di rappresentare un profilo di corda 100 mm; per disegnare profili di corda diversa sarà sufficiente scrivere un'altra tabella, ottenuta dalla prima moltiplicando tutti i numeri per una costante che chiameremo C. Questa costante é data dalla semplice formula:

$$C = \frac{\text{Corda voluta (mm)}}{100}$$

Così ad esempio se dello stesso naca 6409 si vuole ottenere il disegno con corda 150 millimetri, per ottenere una tabella con valori di X che vanno da 0 a 150 e con ordinate Y aumentate in proporzione, sarà sufficiente moltiplicare tutti i valori della tabella per la costante C = 1,5 .

Ecco un esempio di riproduzione del profilo Gottinga 500, da corda 100 mm a corda 125 mm

Profilo Gottinga 500, di corda 100 mm:



X	YS	YL
0	2.05	2.05
1.25	4.15	.85
2.5	5	.45
5	6.3	.1
7.5	7.35	0
10	8.2	.05
20	10.5	.7
30	11.6	1.6
40	11.65	2.4
50	11	3
60	9.85	3.3
70	8.1	3.15
80	5.85	2.45
90	3.1	1.45
100	0	0

Passaggio dalla tabella per corda 100, alla tabella per corda 125, ottenuto moltiplicando tutto per 1,25:

X	YS	YL
0	2.562	2.562
1.562	5.187	1.062
3.125	6.25	.5625
6.25	7.875	.125
9.375	9.187	0
12.5	10.25	.0625
25	13.12	.875
37.5	14.5	2
50	14.56	3
62.5	13.75	3.75
75	12.31	4.125
87.5	10.12	3.937
100	7.312	3.062
112.5	3.875	1.812
125	0	0

Lo stesso profilo con corda 125 mm:



Tabelle dei profili descritti nell'esempio iniziale.

NACA 0012

X	YS	YI
0	0	0
1.25	1.89	-1.89
2.5	2.61	-2.61
5	3.55	-3.55
7.5	4.2	-4.2
10	4.68	-4.68
20	5.73	-5.73
30	6	-6
40	5.8	-5.8
50	5.29	-5.29
60	4.56	-4.56
70	3.66	-3.66
80	2.62	-2.62
90	1.44	-1.44
100	0	0

NACA 2312

X	YS	YI
0	0	0
1.25	2	-1.5
2.5	3.11	-2.16
5	4.31	-2.85
7.5	5.18	-3.26
10	5.86	-3.52
20	7.54	-3.94
30	8	-4
40	7.77	-3.84
50	7.14	-3.45
60	6.21	-2.92
70	5.02	-2.31
80	3.62	-1.63
90	2	-.52
100	0	0

CLARK Y

X	YS	YI
0	3.6	3.6
1.25	5.4	1.86
2.5	6.4	1.42
5	7.8	.91
7.5	8.8	.59
10	9.6	.39
20	11.32	.01
30	11.68	0
40	11.37	0
50	10.49	0
60	9.13	0
70	7.43	0
80	5.2	0
90	2.79	0
100	.1	0

NACA 6412

X	YS	YI
0	0	0
1.25	2.73	-1.2
2.5	3.8	-1.6
5	5.36	-1.99
7.5	6.57	-2.1
10	7.58	-1.99
20	10.34	-1.25
30	11.6	-.38
40	11.8	.2
50	11.2	.55
60	9.95	.78
70	8.2	.85
80	6.03	.73
90	3.3	.39
100	.12	.12

LEGGERE ED UTILIZZARE UNA TAVOLA COSTRUTTIVA

Leggere, interpretare ed utilizzare correttamente il progetto di un aeromodello, può essere una esperienza particolarmente formativa. Su disegni di carattere tecnico, siano essi di un modello o di un aereo vero, vengono utilizzate delle convenzioni di rappresentazione grafica che ci consentono di interpretare correttamente le intenzioni del progettista e realizzare correttamente le parti rappresentate.

Nei capitoli che seguiranno, si farà spesso riferimento al progetto e al piano di lavoro. La realizzazione di un pezzo parte infatti dal progetto e dalla sua rappresentazione grafica. Nelle due pagine che seguono c'è la riduzione di un progetto di una scatola di montaggio di una nota casa americana: il modello del caccia "Spitfire".

L'impostazione tecnica delle due pagine del piano di lavoro, riprende tutti gli standard internazionali relativi al disegno tecnico.

Nella prima pagina è possibile riconoscere:

- a) Una visione di insieme, in scala, del modello da realizzare
(in questo caso è una foto, in altro casi è un disegno in assonometria)
- b) Il trittico dell'aereo in scala
(vista in pianta, laterale e frontale)
- c) La vista laterale del modello assemblato
- d) La posizione del baricentro
- e) Leggende e note esplicative per la costruzione ed il montaggio delle parti

Questa parte consente al lettore di orientarsi correttamente su quello che deve realizzare, fornendo un continuo riferimento per quel che riguarda parti del modello che difficilmente sono rappresentabili in maniera esaustiva con la sola vista in pianta.

A questa prima pagina del progetto ci si dovrà riferire all'inizio e durante tutto il lavoro, per decidere la sequenza corretta delle operazioni di costruzione e assemblaggio delle parti.

Prima delle prove di volo, è fondamentale distribuire i pesi in modo da far cadere il baricentro dove richiesto dal progetto. La posizione del baricentro viene normalmente espressa in riferimento al bordo di entrata dell'ala alla radice. E' possibile trovare più indicazioni di baricentro per centraggi diversi in funzione del tipo di volo che si vuole realizzare.

Tutte queste rappresentazioni vanno lette con estrema attenzione, notando la differenza tra linee continue e linee tratteggiate. Il disegno è realizzato in modo da fornire una descrizione intuitiva di come vanno assemblate le parti.

Esempio di progetto per la costruzione del modello "Spitfire" - prima pagina -

visione di insieme del modello da realizzare

Il trucco in scala dell'aereo

posizioni del baricentro

vista laterale del modello assemblato

Leggende e note esplicative

posizioni del baricentro

SCALE PROPELLER

Gullow's AUTHENTIC SCALE FLYING AIRCRAFT

Manufactured by Paul K. Gullow, Inc., Wakefield, Mass., U.S.A.

Copyright 1967 by Paul K. Gullow, Inc. Made in U.S.A.

Scale 1/48

Modeling Hint: Use a sharp hobby knife to trim the plastic. Use a fine file to smooth the edges. Use a sandpaper to polish the surface. Use a brush to apply the paint. Use a spray gun for the best results.

Materials: Plastic, Metal, Wood, Paper, Glue, Paint, Oil.

Tools: Hobby knife, File, Sandpaper, Brush, Spray gun, Glue, Paint, Oil.

Assembly: Follow the instructions carefully. Assemble the fuselage first, then the wings, tail, and engine. Test the model before flying.

Notes: The model is designed to fly at a speed of 100-120 mph. It is suitable for indoor and outdoor flying. Use a light wind for the best results.

Warnings: Do not fly over populated areas. Do not fly near power lines. Do not fly near airports.

Nella seconda pagina troviamo il piano costruttivo vero e proprio con:

(per la nomenclatura non nota delle varie parti si faccia riferimento al capitolo che segue)

- a1) La vista in pianta dell'ala e dei piani di coda
- b1) La vista frontale dell'ala
- c1) La vista frontale di tutte quelle parti che necessitano di maggiori dettagli
(in questo caso la vista del carrello anteriore sinistro)
- d1) La rappresentazione delle centine e delle semi-ordinate di fusoliera
- e1) La vista laterale del piano verticale su cui giace la fusoliera
- f1) Viste con sezioni particolarmente significative
(in questo caso una sezione laterale tipica della centina)

Le linee tratteggiate (sulla vista laterale di fusoliera, ad esempio) indicano elementi presenti sul modello ma non visibili a questo livello di rappresentazione e servono come linee di guida per il montaggio.

Le linee continue indicano come le varie parti si collegano tra loro, in particolare la loro interruzione indica un punto di discontinuità o di unione delle parti.

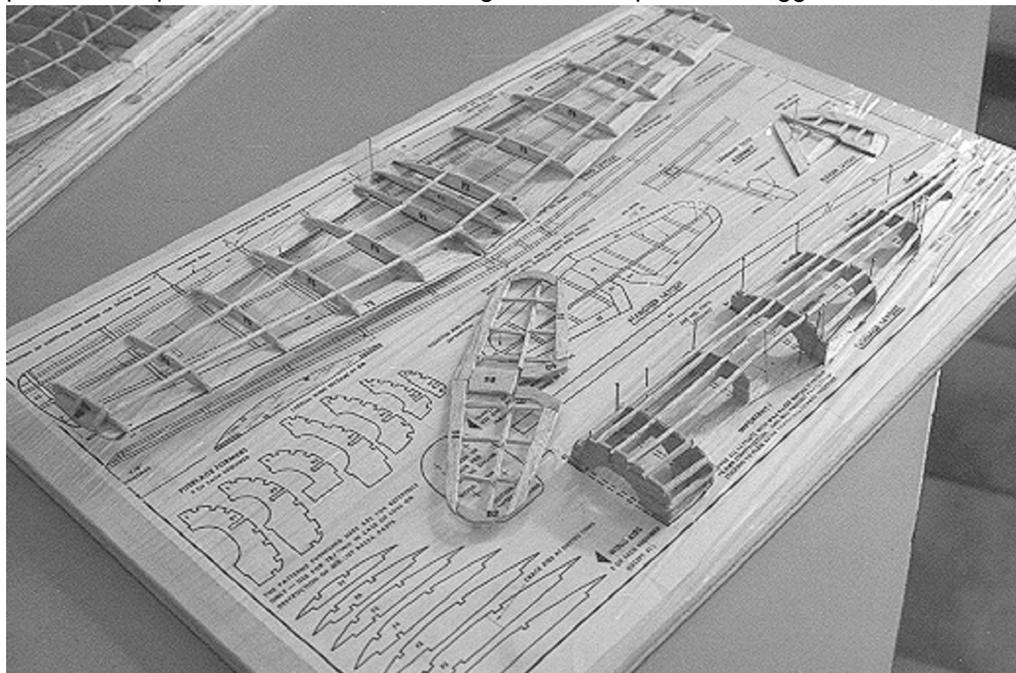
Notiamo ad esempio per le semiali: dei listelli (i correntini) che “attraversano” gli elementi contrassegnati con la lettera F (le centine), partendo dal bordo di entrata verso il bordo di uscita ne contiamo tre. Il primo è continuo, il secondo si interrompe su ogni linea degli elementi F, il terzo appare continuo. Questo indica che il primo ed il terzo correntino passano sopra gli elementi F, mentre il secondo passa sotto. Abbiamo una conferma di questo con la sezione laterale tipica della centina.

Il progetto può essere arricchito da illustrazioni o elementi tratteggiati che indicano la colorazione, il contorno delle superfici mobili, forma e caratteristiche dei portelli e dei vani che possono essere riprodotti come rifinitura del modello finito.

In questo caso sulla pianta alare è riconoscibile un tratteggio che indica la posizione delle coccarde di riconoscimento, i portelli del carrello e la posizione dei radiatori, ed infine il contorno di flap e alettoni.

E' bene quindi non farsi distrarre da questi elementi e concentrarsi sulle linee principali (generalmente più marcate) cercando di capire nel dettaglio forma e posizione di tutti gli elementi di montaggio. Non è bene procedere al taglio ed al montaggio dei pezzi se si hanno dei dubbi sulla interpretazione del disegno.

In questa pagina viene riportata una illustrazione che mostra l'utilizzo pratico di un piano costruttivo. Il progetto viene disposto su un piano lavoro, protetto con della pellicola trasparente ed utilizzato come guida diretta per il montaggio.



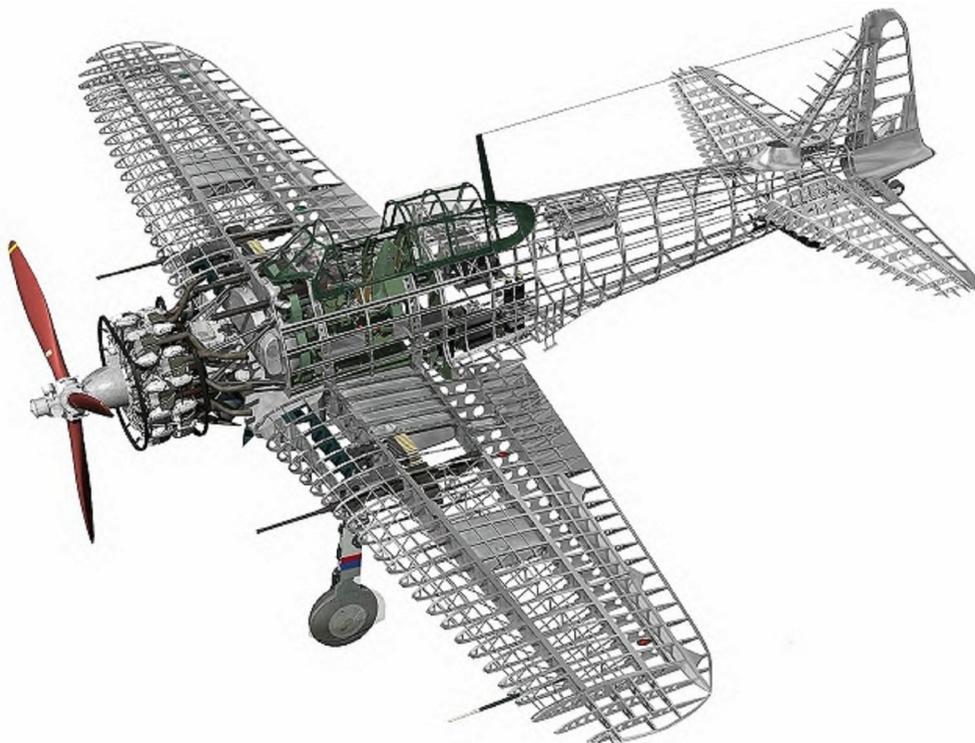
Le parti vengono normalmente fissate al piano utilizzando degli spilli di acciaio e fino a quando il collante non ha fatto presa, le parti non possono essere rimosse dal piano di lavoro. Normalmente i progetti sono realizzati sulle due facciate dello stesso foglio, ecco quindi la necessità di uno studio accurato del progetto PRIMA di cominciare a lavorare.



STRUTTURE AERONAUTICHE E COSTRUZIONE DEI PRIMI MODELLI

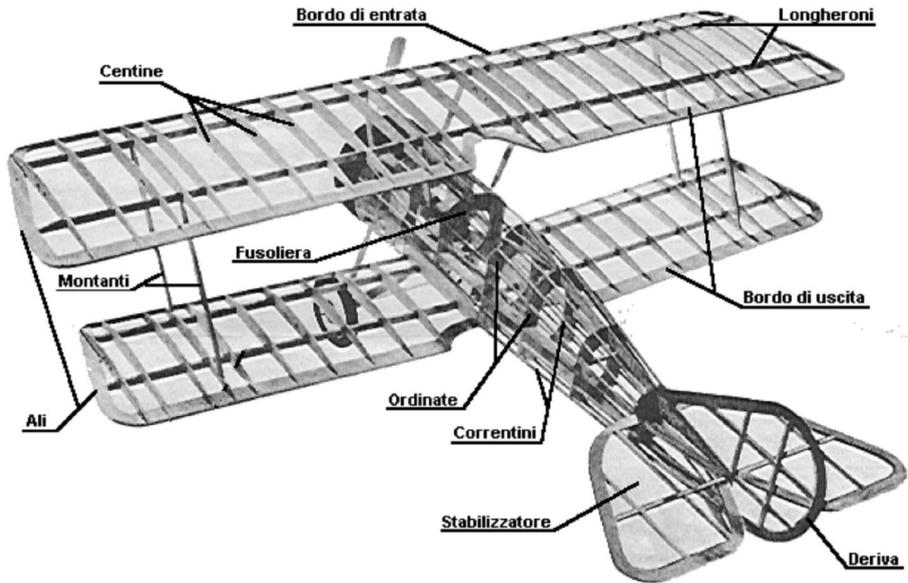
Cenni sulle strutture e sui materiali

La struttura interna di un aereo può essere molto complessa e l'illustrazione che segue ce ne dà un esempio.



Per i fini di questo corso è sufficiente conoscere gli elementi fondamentali di queste strutture attraverso la costruzione di alcuni modelli volanti.

Il disegno seguente mostra la struttura di un semplice modello ad elastico, serviamoci di essa per conoscere i primi elementi strutturali, diversi a seconda della parte di velivolo in cui vengono utilizzati e per la specifica funzione che assolvono.



Centine : Elementi strutturali e di forma, sono disposte nella direzione del moto e riproducono la forma del profilo alare desiderato.

Longheroni : Elementi di forza destinati a sopportare lo sforzo flettente e torcente che si genera sull'ala del modello in volo, vengono disposti nel senso dell'apertura alare.

Bordi di entrata e di uscita: Elementi di forma e strutturali che tenendo unite le centine, realizzano la forma in pianta dell'ala e riproducono la parte anteriore e posteriore del profilo.

Ordinate : Elementi di forma e strutturali, paralleli all'asse laterale realizzano le varie sezioni di fusoliera

Correntini: Elementi strutturali e di forma che unendo le varie ordinate in senso longitudinale, forniscono alla fusoliera la sua forma esterna assorbendone gli sforzi.
Sono utilizzati anche sulle ali in aggiunta ai longheroni.

Traversine, tiranti, montanti: Elementi strutturali alternativi o complementari a ordinate o longheroni, inseriti per distribuire uniformemente gli sforzi senza appesantire eccessivamente la struttura.

La costruzione del primo modello

Per la costruzione del primo modello, sarà saggio procedere all'acquisto di una scatola di montaggio. Le parti già pronte e le istruzioni in essa contenute, faciliteranno in modo decisivo la prima esperienza aeromodellistica.

Il modello più adatto per cominciare sarà un aliante da volo libero con le seguenti caratteristiche:

- a) *Ala e stabilizzatore con struttura tradizionale "centinata"*
- b) *Montaggio dell'ala e dello stabilizzatore sulla fusoliera attraverso elastici.*
- c) *Apertura alare intorno ai 120 Cm*

Un modello che risponda a questi requisiti ci darà la possibilità di:

- a) imparare a costruire le strutture fondamentali
- b) fare esperimenti per capire le leggi che regolano il volo e la stabilità del modello senza rompere tutto ai primi atterraggi "duri"
- c) disporre di un modello sufficientemente efficiente per apprezzare le diverse caratteristiche di volo che vorremo osservare.

Le attrezzature e i materiali minimi di cui avremo bisogno sono:

- Una tavola piana in multistrato di dimensioni adeguate al montaggio dell'ala (150 x 25 x 2)
- Taglierino
- Spilli di acciaio per sartoria
- Un piccolo martello
- Mollette da bucato (da utilizzare come pinze e morsetti)
- Colla cellulosa
- Colla vinilica ad asciugamento rapido
- Carata vetrata fine e grossa, applicata con biadesivo su un blocchetto di legno piatto e rigido che chiameremo sinteticamente "blocchetto"
- Seghetto e lame per traforo
- Limette per modellismo
- Nastro adesivo tipo "Scotch"
- Colla bianca tipo "Coccolina"
- Tendicarta cellulosico
- Pennello piatto e morbido da 2 centimetri
- Diluente nitro

Per la costruzione del modello è importante seguire le istruzioni fornite nella scatola di montaggio. Nelle pagine seguenti descriveremo comunque le principali tipologie di struttura, nonché alcuni suggerimenti pratici per realizzare più facilmente e con maggiore precisione in nostri modelli.



Considerazioni importanti sui materiali e sul primo modello

Le strutture che vado a descrivere sono generalmente realizzate in legno di Balsa, Tiglio e compensati; in questo modo é possibile eseguire riparazioni su strutture molto danneggiate, ricostruendo anche intere sezioni ed esercitando una certa "manualità dimenticata".

Le case produttrici delle scatole di montaggio ed un mondo aeromodellistico sempre più moderno e consumistico, hanno portato al grande uso di materie plastiche e materiali compositi che rimpiazzando le strutture tradizionali, realizzano in poco tempo modelli di grande fascino e fedeltà.

L'aeromodellista inesperto deve comunque sapere che l'utilizzo di questi modelli e dei relativi materiali, *esige la presenza di una persona esperta durante il montaggio e ancor più sul campo di volo.*

Al momento dell'ultima revisione di questo testo, appare abbastanza anacronistica la costruzione di un modello centinato da volo libero, soprattutto perché chi si reca in un negozio di aeromodellismo viene indirizzato su tutt'altra tipologia di modello.

I modelli ARF (Almost Ready to Fly) sono generalmente in polistirolo o suoi derivati e sempre radiocontrollati. Ad oggi, sempre più spesso, la scelta si riduce a quale modello "rompere per primo", perché far volare un modello non è così semplice come si pensa.

Sul sito www.paer.it , nella sezione "modelli" troverete alcune indicazioni su diverse categorie per cominciare e idee per progetti da realizzare, ma il mio consiglio è sempre quello di cominciare come indicato su questo testo, spendendo poco e divertendosi molto fino a che non si capisce se l'aeromodellismo piace oppure no.

Il centraggio e la messa a punto di un modello da volo libero permettono realmente di capire come vola un aereo e come deve essere realizzato correttamente per volare come si deve ed in sicurezza.

LA COSTRUZIONE DELLA FUSOLIERA

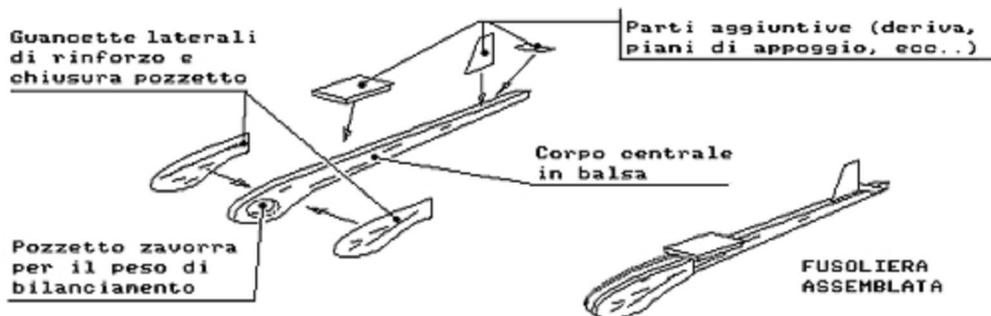
Essenziale elemento di collegamento tra ala e piani di coda, la fusoliera deve essere particolarmente robusta per assorbire le sollecitazioni dell'atterraggio e alloggiare le superfici portanti ed il carico utile.

In aeromodellismo può assolvere a tale compito in modo semplice, riducendosi ad una tavoletta di legno sagomata, o riprodurre in scala il vero aereo.

La fusoliera a tavoletta

E' costituita da un corpo centrale e da guancette laterali di rinforzo. La parte centrale è tipicamente ricavata da una tavoletta di balsa spesso; sulla parte anteriore vengono realizzati dei fori per alloggiare il peso di bilanciamento.

Le guancette laterali di rinforzo e chiusura del pozzetto anteriore è bene realizzarle in compensato, perché il modello urta spesso con il muso al suolo e le guancette in balsa si rompono facilmente. In questa zona l'incollaggio deve essere forte ed elastico (il collante vinilico di tipo rapido è l'ideale).

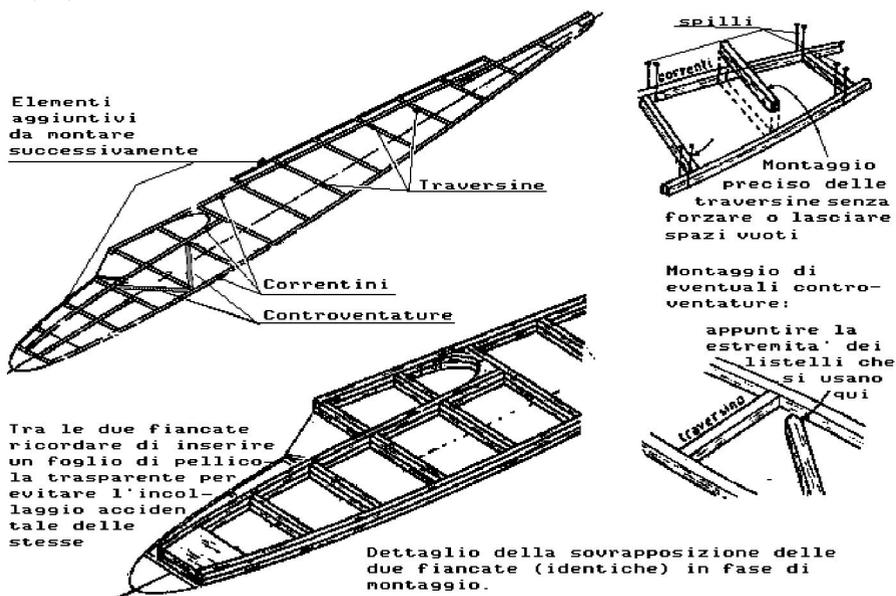


La fusoliera a traliccio

Quando la fusoliera deve accogliere un gruppo motopropulsore con motore ad elastico o un piccolo motore elettrico, la struttura che più si adatta (per leggerezza e resistenza), è quella denominata "a traliccio".

In essa ritroviamo gli elementi già menzionati quali correntini, traversine e ordinate. Il rivestimento in carta seta, tesa e resa impermeabile col tendicarta, assume anche valore strutturale come elemento antitorsione. Il rivestimento in balsa da 0,8 mm appesantisce la struttura ma la rende estremamente robusta.

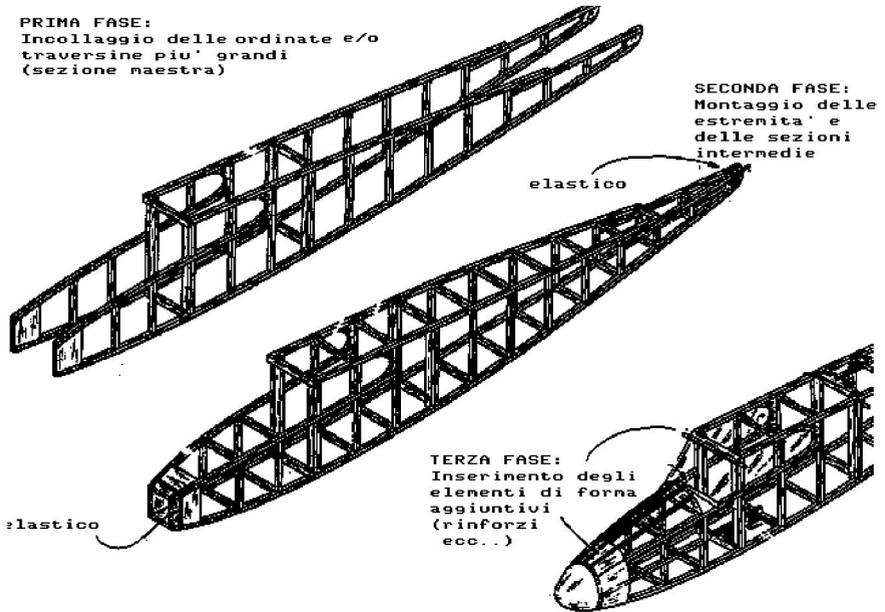
Il procedimento costruttivo è semplice ma richiede un po' di pazienza e precisione. Una volta disteso il disegno sul piano di montaggio (aiutarsi con lo scotch) lo si copra con un foglio di cellophane per evitare che il collante si attacchi al progetto. Disporre per primi i due correntini esterni della fiancata seguendo il contorno della fusoliera; fra di essi si infilino le traversine tagliate con precisione dopodiché si incollino i punti di giunzione, usando il collante cellulosico con parsimonia.



Per posizionare il tutto ci si aiuti con degli spilli, che *senza forare i listelli* tengano fermi i vari pezzi; in questa fase si faccia molta attenzione a non incollare gli spilli con la struttura.

Una volta asciugato il collante, procedere al montaggio della seconda fiancata direttamente sopra la prima e per evitare che le due si incollino tra loro, disporre fra di esse un altro foglio di pellicola trasparente.

Quando le due fiancate saranno completate, si tolgono delicatamente gli spilli e gli eccessi di collante;



aiutandosi anche con legature elastiche o mollette opportunamente posizionate, si incollano prima l'ordata alle traversine centrali di larghezza massima, poi il rinforzo anteriore e l'estremità posteriore; subito dopo si completano la struttura piazzando le altre traversine, i rinforzi, gli attacchi dell'ala, della deriva, ecc..



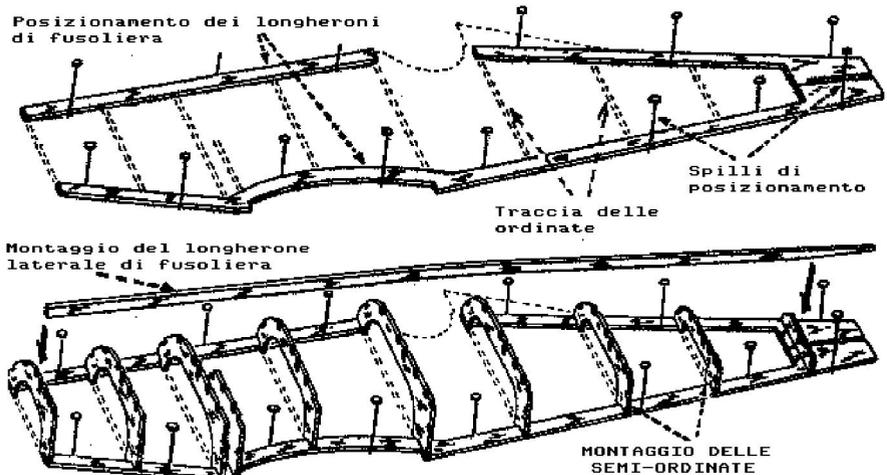
La fusoliera a " ordinate e correntini"

Per procedere a questa realizzazione che particolarmente si adatta alle riproduzioni, si deve ovviamente disporre del disegno di tutte le ordinate che si vogliono utilizzare. Su di esse deve essere riportata con chiarezza la posizione di tutti i correntini e delle relative scanalature, nonché la posizione di quei particolari "correntini portanti" che per la loro dimensione ed importanza strutturale chiameremo "**longheroni di fusoliera**".

I longheroni di fusoliera hanno le forme più diverse (riproducendo il disegno in pianta della fusoliera stessa), generalmente sono disposti sugli assi verticale e laterale delle ordinate e fungono loro da guida.

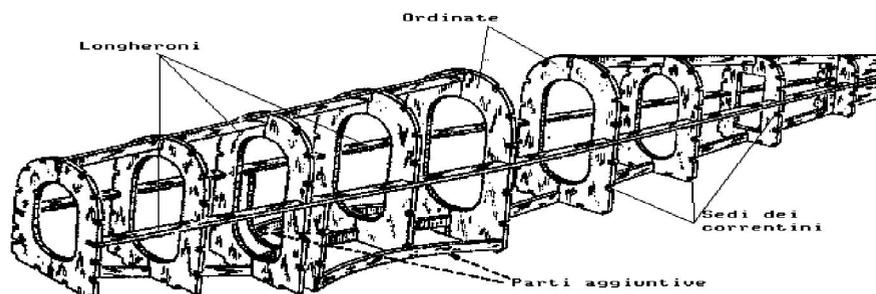
Un modo preciso ed originale di procedere al montaggio é il seguente.

Una volta realizzate, si tagliano le ordinate lungo l'asse verticale, mentre sul piano di montaggio si dispongono i longheroni di fusoliera che fungono da guida.

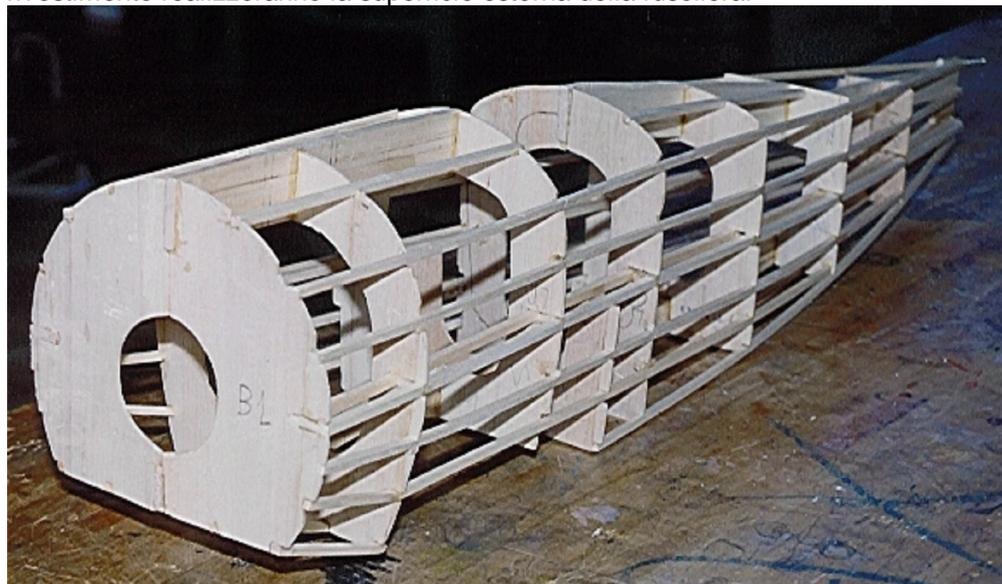


Aiutandosi con gli spilli per mantenerne la posizione, incollare le varie semi-ordinate ai longheroni ora preparati. Incollare quindi il longherone laterale, controllando che le ordinate siano ortogonali al piano di montaggio e attendere quindi l'asciugatura del collante.

Togliere gli spilli dal piano e sollevare la struttura ora assemblata; incollare le semi-ordinate rimanenti accoppiandole ognuna con la sua gemella e aggiungere il rimanente longherone laterale (questa seconda fase richiede una maggiore pazienza perché bisogna aspettare l'asciugatura del collante per ogni ordinata).



La struttura ora è composta da quattro longheroni che uniscono una serie di ordinate, rimane da disporre ed incollare tutti i correntini, che insieme al rivestimento realizzeranno la superficie esterna della fusoliera.

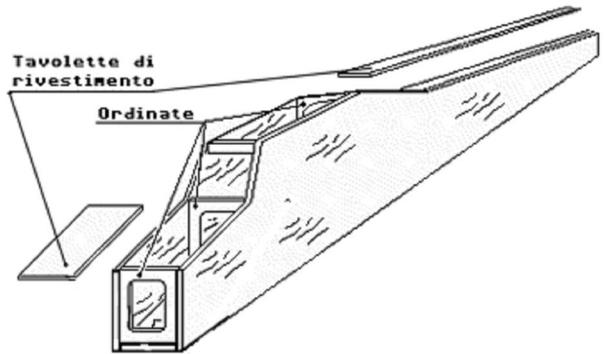


Il metodo ora descritto è laborioso ma in grado di dare grandi soddisfazioni, perché consente di realizzare fusoliere estremamente robuste, leggere e comunque fedeli al modello che si vuole riprodurre.

Nella realizzazione di modelli radioguidati, aumenta lo spazio necessario per il montaggio dei vari accessori. Questo comporta un aumento del peso complessivo e delle sollecitazioni sulla struttura che quindi diventa più complessa; compare l'uso di ordinate più robuste e portanti, longherine di maggiori dimensioni e l'uso di tavolette per il rivestimento.

La fusoliera "a cassetta"

Nel disegno a lato è schematizzata una fusoliera molto semplice, a sezione rettangolare con fondo piatto, il suo montaggio non presenta particolari problemi a patto che si controlli spesso l'ortogonalità delle parti; è il tipo di struttura che più si adatta alle prime realizzazioni per modelli radio-comandati.



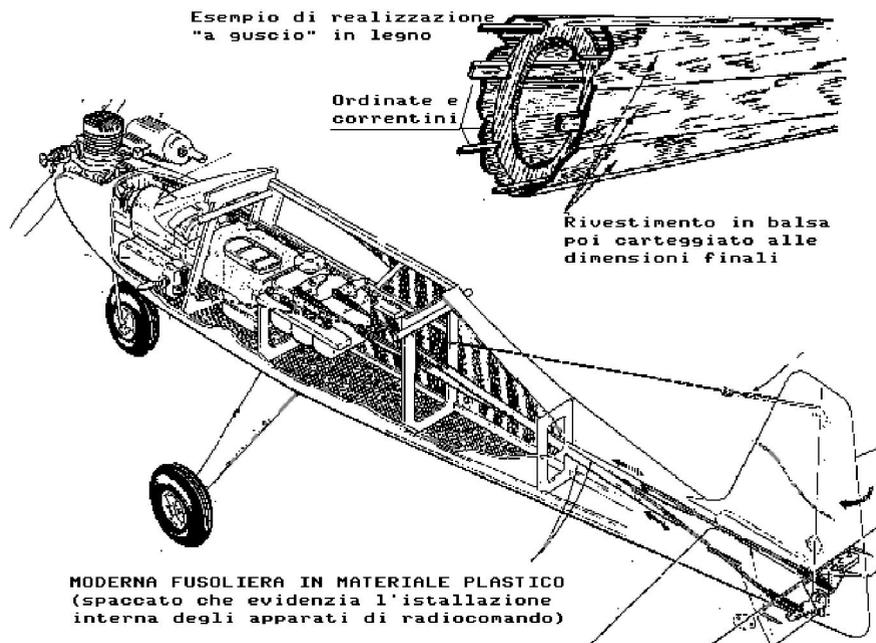
Quando invece la fusoliera ha una forma decisamente più aerodinamica e quindi meno squadrata, è indispensabile trovare un piano di riferimento sul quale poggiare le prime fasi di montaggio. Si evidenzia sulla tavola costruttiva un contorno o un riferimento rettilineo e lo si usi come punto di partenza, la posizione delle successive ordinate andrà verificata passo passo, magari utilizzando un filo teso per evidenziare l'asse longitudinale di simmetria.



Fusoliera a guscio

In passato le fusoliere a guscio venivano realizzate rivestendo con tavolette di balsa una struttura di ordinate e correntini. Con un abbondante carteggio finale si ottenevano robuste e leggere fusoliere di sezione pressoché rotonda.

L'utilizzo delle materie plastiche quali l'ABS o composite come la vetroresina, ha risolto il problema alla radice, proponendo agli aeromodellisti fusoliere a guscio già pronte, estremamente attraenti ed aerodinamiche.



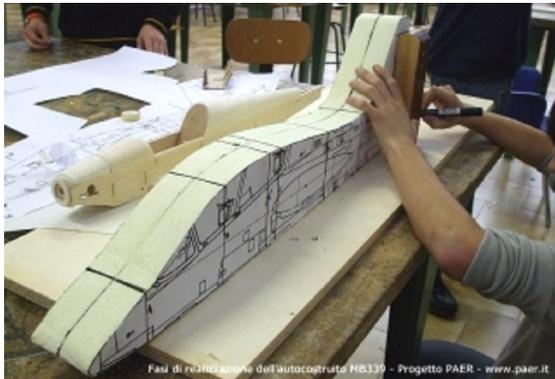
Questo tipo di fusoliere sono disponibili in scatole di montaggio praticamente pronte all'uso. Bastano poche rifiniture ed il montaggio dei componenti interni per essere pronti al volo. Un solo neo: il principiante si trova ad utilizzare un modello relativamente pesante e quindi veloce. In questi casi è bene saper scegliere il primo modello che dovrebbe essere estremamente semplice, disponendo di una fusoliera a cassetta in legno.

Ancor più recentemente, con l'uso del polistirolo e di tutte le sue varianti, le scatole di montaggio propongono modelli per ogni esigenza. Le fusoliere sono normalmente pronte o in due semigusci da incollare tra loro.

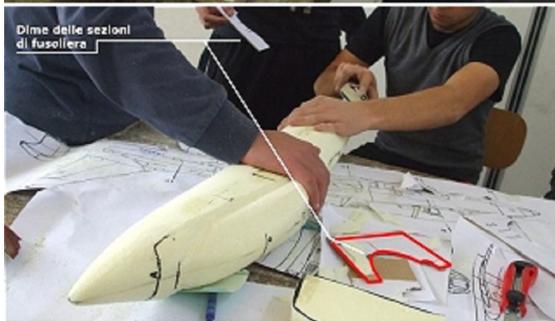
Se si vuole realizzare una fusoliera con questi materiali è sufficiente un po' di pazienza e molto "olio di gomito", ma con l'uso di dime e riferimenti è possibile costruire praticamente qualsiasi cosa.

Un esempio di come si può realizzare una fusoliera in poliuretano espanso è nell'articolo presente al link : www.paer.it/339.html dove viene descritta la realizzazione di un MB339 proprio con questo materiale.

Sgrossatura della fusoliera:



Fasi di realizzazione dell'autocostruito MB339 - Progetto PAER - www.paer.it

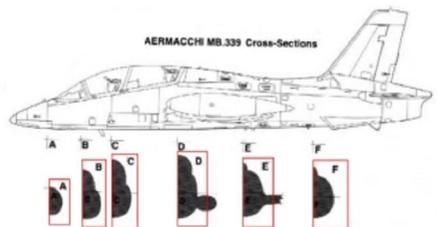


Dime delle sezioni di fusoliera



Fasi di realizzazione dell'autocostruito MB339 - Progetto PAER - www.paer.it

Partiamo dal disegno della vista laterale di fusoliera e la riportiamo su due tavole di poliuretano espanso da 4cm di spessore (la fusoliera avrà una larghezza massima di 8Cm). I due pannelli vengono affiancati e tenuti insieme con nastro biadesivo. Si ritaglia il blocco seguendo il contorno della fusoliera, la sgrossatura avviene con blocchetto di carta vetro da grossa a fine.



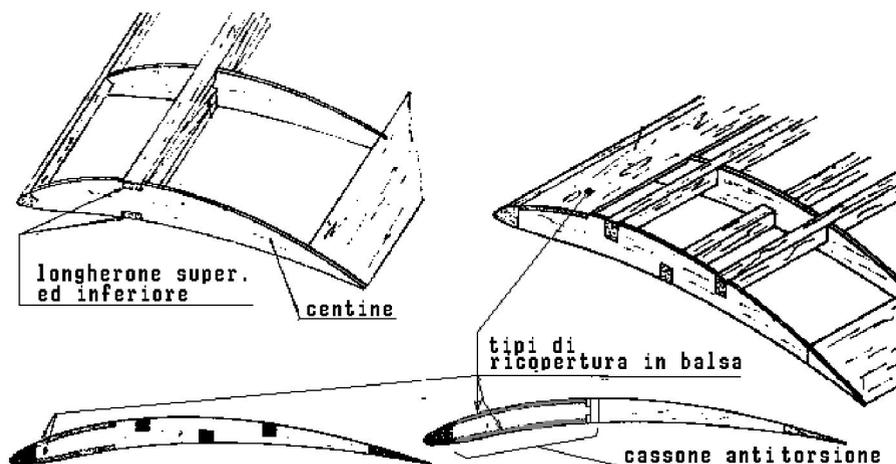
Dai piani costruttivi si realizzano delle dime (forme di cartone) con il contorno esterno delle semisezioni di fusoliera. Queste vengono utilizzate sulle sezioni caratteristiche, durante la sgrossatura con cartavetro, per controllare la forma finale che si va a sagomare.

Le due parti, una volta sgrossate, vengono separate e svuotate per accogliere i componenti esterni.

Una volta predisposti gli spazi interni, si riuniscono i due semigusci incollandoli in modo definitivo per la finitura. Con questa tecnica si può riprodurre qualsiasi fusoliera.

LA COSTRUZIONE DELL'ALA "CENTINATA"

L'ala "centinata" é quella costituita dagli elementi strutturali prima descritti, ma come per la fusoliera, anche in questo caso le varianti sono molte. E' possibile infatti realizzare strutture piú o meno complesse utilizzando parziali rivestimenti in balsa, piú di un longherone, oppure disponendo le centine in modo da realizzare una struttura geodetica piú complessa, ma estremamente leggera e resistente.



L'ala inoltre può essere realizzata in un sol pezzo (piccole aperture entro i 120 Cm), oppure in due o piú parti a seconda delle esigenze. Così a livello aeromodellistico come nella realtà, le ali si possono smontare per esigenze di trasporto e praticità. Di questo, ad esempio si deve tenere conto nella realizzazione della struttura che avrà bisogno di maggiori rinforzi proprio nella zona di unione delle semiali dove si concentrano gli sforzi.

La preparazione dei vari elementi

Le centine

Come già accennato, il cuore aerodinamico della superficie portante é il profilo alare, questo viene riprodotto dalle centine che quindi realizzeremo con la massima precisione.

Nella costruzione tradizionale, le centine sono ricavate da tavolette di balsa di spessore adeguato al tipo di modello, mentre le centine che alla radice dell'ala devono sopportare sforzi maggiori (se alloggiavano i tubicini per le baionette delle semiali smontabili) vengono realizzate in compensato.

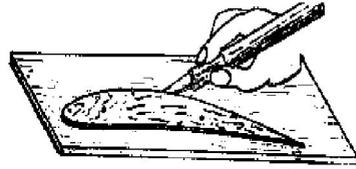
Nelle scatole di montaggio le centine sono già pretagliate ed é sufficiente rifinirle con il taglierino o con la carta vetro fine, ma se vogliamo realizzare una nuova ala

per il nostro modello, magari per provare un nuovo profilo, abbiamo la necessità di costruire da soli le centine necessarie.

Vediamo alcuni metodi per ricavare le centine da una tavoletta di balsa.

Se si vuole costruire un'ala rettangolare (centine tutte uguali tra loro), si ricalca con carta carbone il disegno della centina su del compensato da 2 o 3 mm, si ritaglia la sagoma con l'archetto da traforo e la si rifinisce con la carta vetrata fino a ottenere il contorno esatto del profilo.

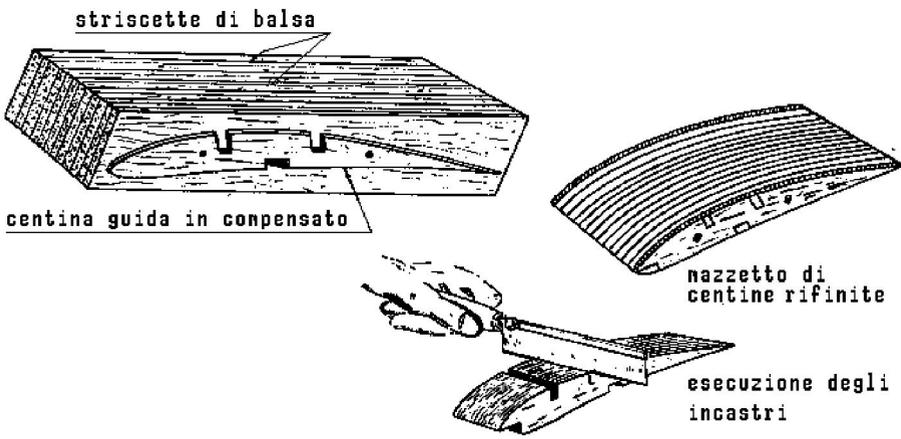
Si usa poi questa prima centina come guida, si poggia sul foglio di balsa e seguendo il contorno con il taglierino si tagliano le centine una per una. Altro metodo più spedito e preciso (utile anche per ali trapezoidali) é quello della lavorazione "a mazzetto".



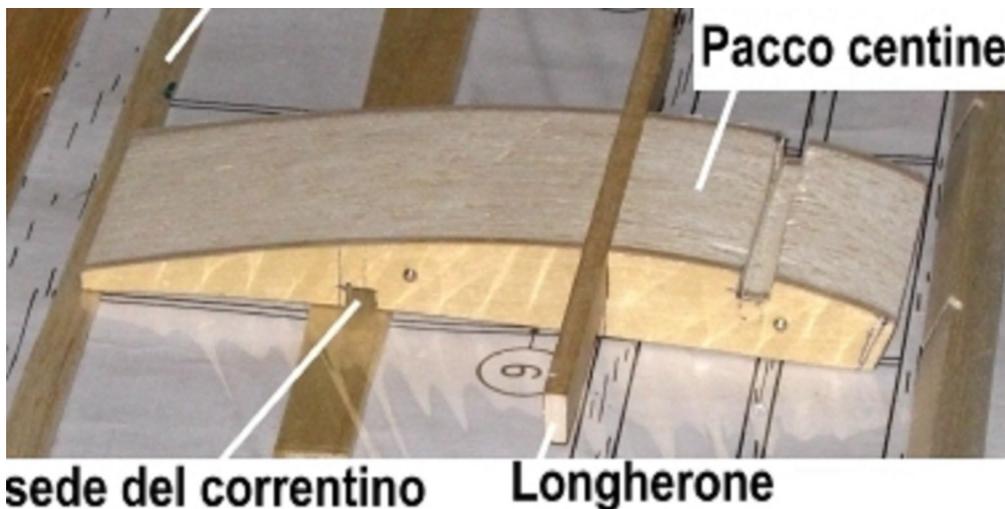
Questa volta si preparano due centine di compensato identiche per l'ala rettangolare, mentre per l'ala trapezoidale si fanno pari alle corde di radice ed estremità; si ritagliano tante strisce di balsa quante sono le centine da fare (ovviamente di dimensioni più grandi delle centine di compensato) si mettono le striscioline una dietro l'altra formando un mazzetto ai lati del quale si dispongono le centine guida di compensato, tenendo insieme il tutto con un paio di spilli da ambo i lati. Utilizzando poi lima e carta vetro si sagoma il blocchetto fino alle dimensioni delle due centine guida, infine si praticano gli incastri per i longheroni ed il bordo di entrata utilizzando una lama rigida, l'archetto da traforo o una piccola lima.

E' fondamentale che tutti gli incastri siano esatti, perché se i longheroni forzano troppo o si muovono nella loro sede le deformazioni (svergolature) dell'ala saranno inevitabili.

La figura mostra le varie fasi di realizzazione



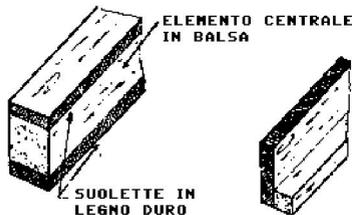
Ecco un pacco centine disposto sul piano di lavoro e pronto per l'utilizzo:



Il longherone

Questo é l'elemento di forza piú importante dell'ala ed é necessario che sia robusto e allo stesso tempo relativamente elastico. Queste caratteristiche dipendono non solo dal materiale con cui é realizzato il longherone stesso, ma anche dalla sua forma in sezione e dalla sua posizione nella struttura alare.

SEMPLICE LONGHERONE "COMPOSITO"
REALIZZATO CIOE' USANDO PIU' PARTI
E MATERIALI

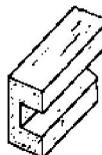


SUOLETTE IN
LEGGNO DURO

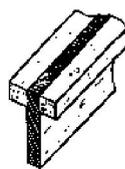
ELEMENTO CENTRALE
IN BALSA



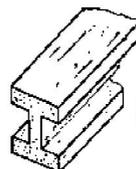
sezione a
L
(composito)



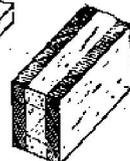
sezione a
C
(fresato)



sezione a
T
(composito)



sezione a
DOPIO F
(fresato)



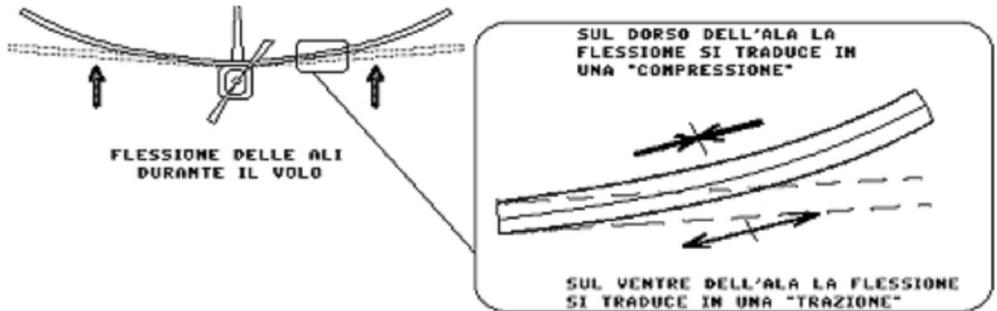
sezione a
CASSONE
(composito)

LONGHERONI DI DIVERSA SEZIONE
E TECNICA DI REALIZZAZIONE

La precedente figura mostra alcuni tipi di longherone in legno, diversi per sezione e modo di realizzazione.

All'interno della struttura, la posizione del longherone riveste un ruolo importante; il legno di qualsiasi tipo resiste meglio alla trazione che alla

compressione, così ad esempio se utilizziamo un longherone disposto sul ventre dell'ala questo potrà avere una sezione minore di un analogo disposto sul dorso (perché sull'ala in volo, le forze aerodinamiche esercitano una flessione verso l'alto che si traduce in uno sforzo di compressione sul dorso e in una trazione sul ventre).



Esercitazioni Pratiche sulle strutture:

Un interessante esperienza per verificare in maniera economica i vari tipi di longherone e prendere quindi dimestichezza con le varie resistenze da essi offerte, consiste nel realizzare alcuni modelli dei diversi longheroni prima elencati. I modelli potranno essere lunghi una trentina di centimetri e larghi 0,5 Cm, utilizzando del balsa da 2 mm per la loro costruzione. Si potrà per le stesse strutture, disporre la venatura del legno in modo diverso. Una volta realizzati una decina di modellini di longheroni in balsa più o meno complessi, ci si "divertirà" nel portarli a rottura attraverso flessione, registrando il peso sopportato, e notando dove avviene per prima la rottura. Dopo questo tipo di esperimento, distruttivo ma economico, si avranno molto chiare le varie caratteristiche di resistenza delle diverse strutture, senza dover necessariamente arrivare alla teoria e al calcolo delle strutture che esulano dagli scopi di questo testo.

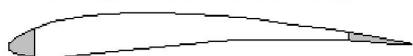
Bordi di entrata e di uscita

Sono generalmente realizzati in balsa pre-sagomato, di dimensioni opportune e tali da potersi adattare alla maggior parte dei profili semplicemente attraverso una rifinitura finale con carta vetro. Altre volte sono ricavati da listelli di sezione quadrata o rettangolare e poi sagomati direttamente sulle centine, altre volte sono realizzati con tavolette di balsa opportunamente disposte e sagomate sul profilo alare.

Bordi di entrata e uscita realizzati tramite tavolette di balsa incollate e rifinite tramite carteggio

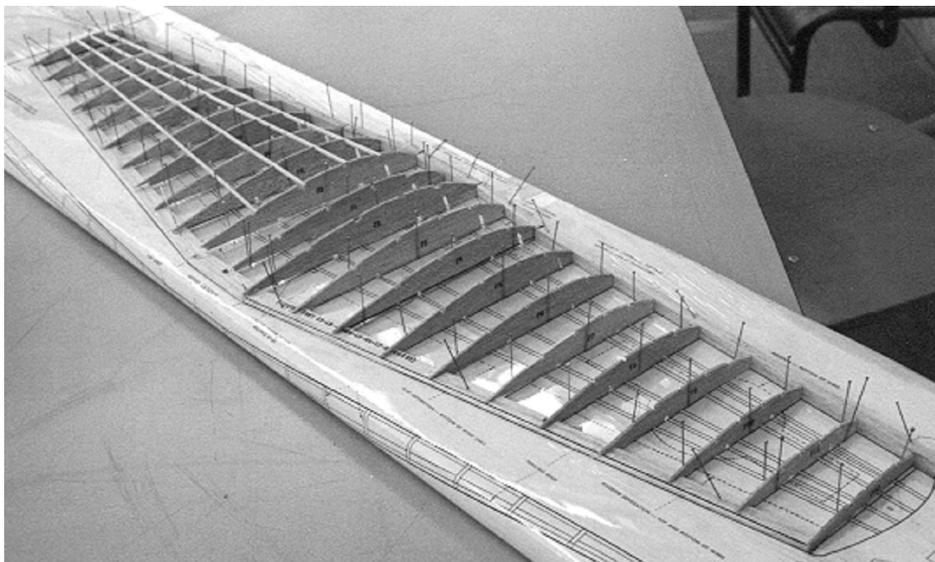


Bordi di entrata e uscita realizzati da listelli pre sagomati o rifiniti tramite carteggio



Il montaggio dell'ala

Riconosciute o preparate le varie parti strutturali dell'ala (bordi, longheroni e centine), si dispone il progetto sul piano di montaggio stendendolo bene con l'aiuto di nastro adesivo e lo si ricopre con un foglio di pellicola trasparente. Poi aiutandosi con degli spilli si dispongono tutti gli elementi nella posizione indicata dal disegno, conviene disporre prima il bordo di entrata e l'eventuale longherone inferiore, poi le centine e il longherone superiore e in ultimo il bordo di uscita. Se si dispone correttamente il bordo di entrata, in modo da offrire alle centine una superficie di appoggio stabile, tutta la costruzione sarà facilitata. E' bene eseguire prima un montaggio senza usare il collante controllando bene tutti gli incastri ed usando gli spilli per tenere ferme le parti *senza forarle*.



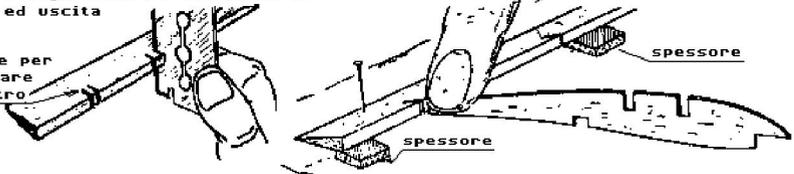
In questa fase bisogna tenere presente che l'unione delle varie parti non deve creare spigoli o gradini; può essere necessario sollevare alcuni elementi dal piano di lavoro usando degli spessori (ad esempio se il profilo è concavo convesso sarà necessario alzare il longherone inferiore e il bordo di uscita),

gli incastri non devono forzare, nel caso fossero troppo larghi bisognerà riempirli pazientemente con dei pezzettini di balsa su misura (altrimenti l'uso della colla per "tappare i buchi" provocherà solo grandi deformazioni della struttura).

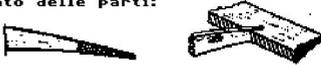
Se gli incastri sono corretti si procede al montaggio definitivo utilizzando lo stesso schema e applicando il collante con parsimonia.

Per facilitare il montaggio si possono praticare degli incastri sui bordi di entrata ed uscita

tagliare per completare l'incastro



L'uso degli spessori permette un corretto allineamento delle parti:



MONTAGGIO DEL BORDO DI USCITA ATTRAVERSO L'USO DI OPPORTUNI SPESSORI

Se non si usano spessori di supporto o non si presta la dovuta attenzione le parti non vengono bene allineate:



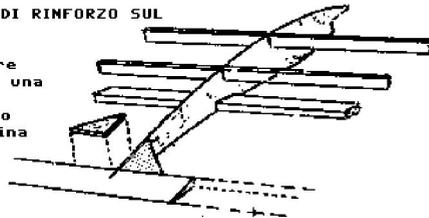
TIPICI ERRORI DI MONTAGGIO SUL BORDO DI USCITA

Una volta essiccato il collante (attendere almeno due ore) togliere gli spilli con delicatezza e controllare l'unione delle parti, applicare gli eventuali rinforzi in balsa (soprattutto i triangolini sul bordo di uscita e i rivestimenti al centro dell'ala). Quando si saranno asciugati anche questi ultimi incollaggi, carteggiare dove necessario sui bordi per eliminare le imperfezioni o gli eccessi di materiale.

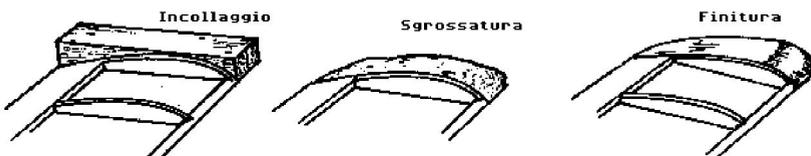
Generalmente l'ala é costituita da più sezioni la cui unione va eseguita alla fine e con la massima precisione perché una asimmetria di montaggio delle semiali o del diedro porta durante il volo del modello, a virate che difficilmente si possono correggere. Prima di questa fase sarà comunque necessario completare l'estremità delle ali come indicato sul progetto; il metodo più semplice consiste nell'incollare sull'ultima centina, un blocchetto di balsa leggero e presagomato secondo la vista in pianta e poi carteggiato in sede fino alla forma voluta.

APPLICAZIONE DEI TRIANGOLINI DI RINFORZO SUL BORDO DI USCITA:

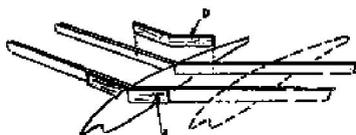
Questi rinforzi possono essere usati senza economia e hanno una notevole importanza. Il montaggio migliore é quello a filo con i bordi della centina e del bordo di uscita senza fare "scalini".



LE VARIE FASI DI SAGOMATURA DEL BLOCCHETTO TERMINALE



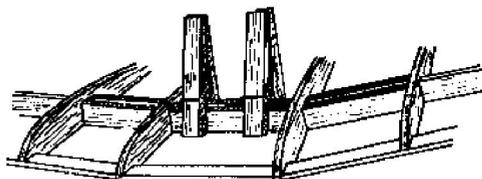
Rifinite così le varie parti si procederà alla unione delle varie sezioni alari, attraverso l'uso di guancette di compensato (1 mm), sagomate alle dimensioni del longherone e su di esso incollate.



GUANCETTE DI COMPENSATO PER L'UNIONE DELLE SEMIALI



PARTICOLARE ED ESEMPIO DELL'UNIONE DEL LONGHERONE AL CENTRO DELL'ALA

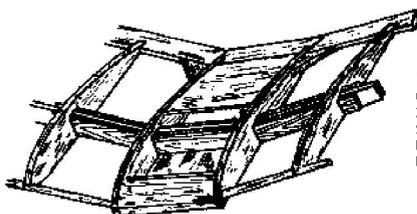


ESEMPIO DI UNIONE CENTRALE DELLE SEMIALI:

Due guancette vengono incollate davanti e dietro il longherone e tenute in sede durante la asciugatura, con delle mollette da bucato. Quando la colla non è ancora asciutta si controlla il diedro, (figura seguente)

I piani di coda si costruiscono con le stesse tecniche viste fino ad ora per l'ala o per le fiancate delle fusoliere a traliccio, con l'unica avvertenza di utilizzare materiali e strutture decisamente più leggeri onde evitare di appesantire inutilmente la coda. Le accortezze costruttive necessarie per modelli più complessi di quelli che ora vogliamo realizzare, sono appannaggio di persone più esperte.

Durante questa fase per assicurare la simmetria del diedro, ci si aiuterà con delle squadrette o con dei blocchetti di pari altezza. La zona di unione verrà ulteriormente rinforzata con rivestimenti o fazzoletti di balsa.



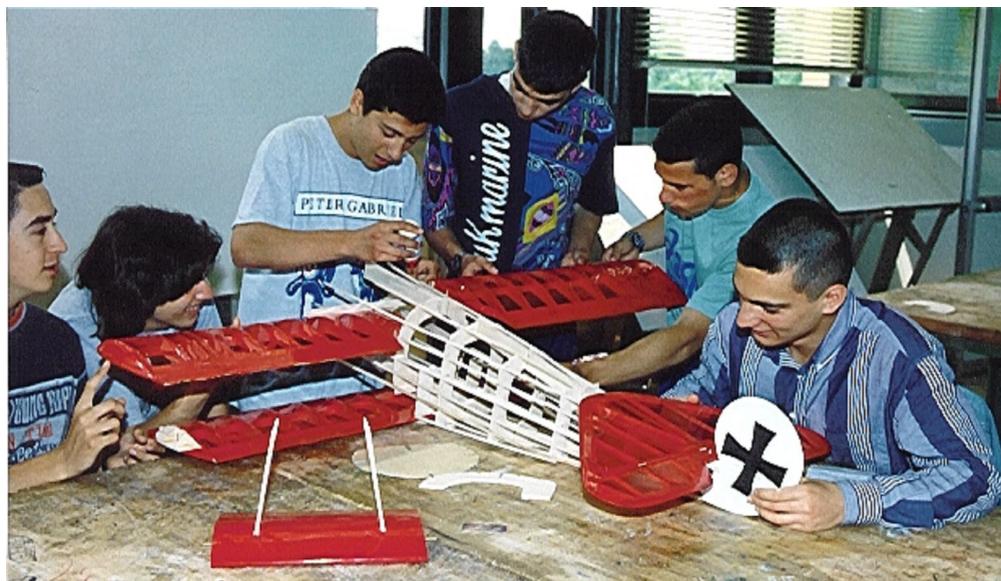
L'UNIONE DELLE SEMIALI PUO' ESSERE COMPLETATA ATTRAVERSO IL RIVESTIMENTO IN Balsa DELLA PARTE CENTRALE SI FORMA COSI' UN "CASSONCINO" IN GRADO DI SOSTENERE GLI SFORZI DOVUTI AGLI ELASTICI DI FISSAGGIO

PRIMA CHE L'INCOLLAGGIO DELLE SEMIALI O DEI TERMINALI SIA COMPLETATO, CONTROLLARE ACCURATAMENTE IL DIEDRO:

Il sollevamento delle semiali deve essere simmetrico ed è necessario controllarlo con opportuni spessori oppure con una squadra



LA RIFINITURA ED IL RIVESTIMENTO



Rifinitura e controlli

La rifinitura delle strutture andrà necessariamente eseguita con molta cura e consisterà nel:

- a) verificare che siano stati applicati tutti i rinforzi e tutte le parti accessorie per il futuro montaggio del modello. A tal fine eseguite un montaggio del modello completo prima del rivestimento, controllando gli attacchi delle ali e dello stabilizzatore
- b) Nel caso stiate realizzando un modello radiocomandato, assicuratevi di avere già posizionato e fissato tutti i cavi di comando, i rinvii necessari ed il posizionamento di tutta la componentistica elettronica di bordo
- c) carteggiare con delicatezza tutte le strutture finora realizzate, eliminando ogni spigolo, eccessi di colla, imprecisioni varie. Maggiore sarà la rifinitura delle superfici, più facile sarà il rivestimento
- d) controllate l'allineamento di tutte le parti con il modello montato: che i piani di coda siano simmetrici e paralleli agli assi di riferimento, che l'ala abbia un diedro simmetrico rispetto al piano orizzontale, verificate il corretto angolo di montaggio dell'ala e dei piani di coda (angolo di calettamento)

Il rivestimento delle strutture

Per i modelli finora considerati, le possibilità di rivestimento sono sostanzialmente due:

- 1) Rivestimento in carta o tessuti vari con utilizzo di tendicarta o tenditela
- 2) Rivestimento con pellicola plastica termoretraibile

Per modelli da volo libero era preferibile il rivestimento in carta perché più leggero ed economico.

Per i modelli radiocomandati delle varie categorie è preferibile utilizzare il termoretraibile, più robusto e duraturo anche se più costoso della carta.

Il rivestimento con tessuto di nylon, raso o seta, è certamente il più pregiato e costoso, conferisce al modello un aspetto e una robustezza decisamente superiori e per questo è bene utilizzarlo solo su modelli da riproduzione radiocomandati.

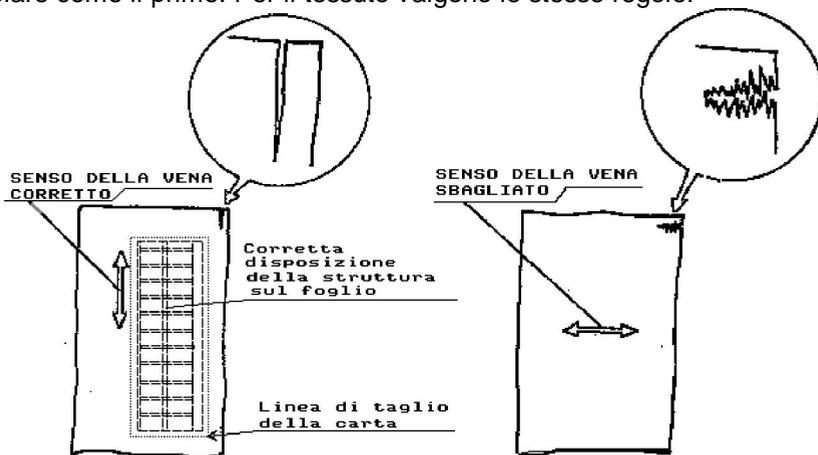
Al momento dell'edizione elettronica di questo testo, proporre il rivestimento in carta seta è praticamente impossibile per le difficoltà che si incontrano nel reperire il materiale necessario. Il paragrafo di spiegazione su come applicare questo rivestimento è comunque utile perché l'applicazione del tessuto segue le stesse regole.



1) Il rivestimento in carta seta o tessuto

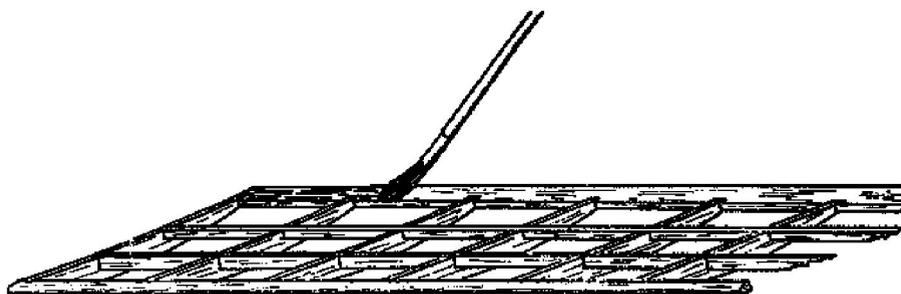
Generalmente nella scatola di montaggio viene fornita la carta per il rivestimento, disponibile in diversi colori. Noterete che non é una carta di tipo comune, é infatti denominata "carta seta", viene appositamente prodotta per scopi modellistici e ha le seguenti caratteristiche:

estremamente porosa per accogliere la vernice tendicarta che successivamente la renderà tesa ed impermeabile, ha una trama simile a quella dei tessuti. Come i tessuti anche la carta seta é caratterizzata da una "vena" che va determinata per ben disporre il foglio sulla struttura; per controllare il senso della vena (generalmente disposta nel senso di maggior lunghezza del foglio) é sufficiente strappare due pezzetti del foglio: noterete che nel senso della vena lo strappo é piú facile, mentre nel senso contrario, la carta resiste maggiormente e lo strappo non é regolare come il primo. Per il tessuto valgono le stesse regole.

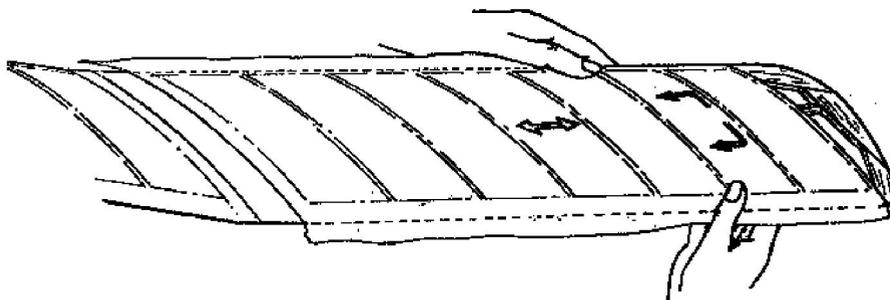


Cominciamo ora con il rivestimento dell'ala o dello stabilizzatore. Il rivestimento dell'ala, a causa del diedro, va eseguito a settori cominciando sempre dalla parte inferiore (ventre). Una volta determinata la vena del foglio disponete la struttura su di esso in modo che il longherone sia parallelo alla vena, tagliate una striscia di carta seguendo il contorno dell'ala e lasciando il margine di 1 Cm su ogni bordo della struttura; preparatevi ora per l'incollaggio utilizzando della colla per carta tipo "coccoina" o comunque del tipo che non asciuga troppo rapidamente e che bagna un pochino la superficie della carta.

Con un pennello spalmate la colla su tutte quelle parti della struttura che saranno a contatto con la carta (in particolare i bordi di entrata e uscita, le centine di estremità e, se il profilo alare é concavo, bagnate anche il longherone inferiore), quindi poggiatevi il rettangolo di carta già tagliato.

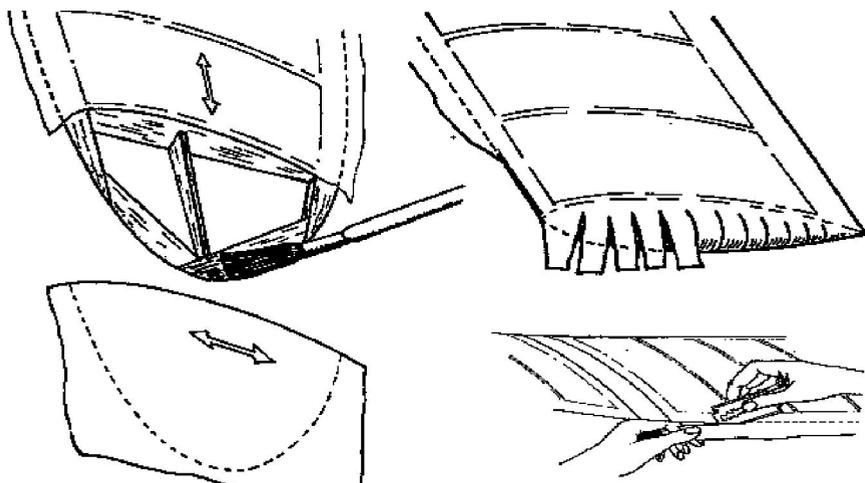


Lavorate con delicatezza perché la carta tende a strapparsi una volta inumidita. Per disporre bene la carta poggiate e fatela aderire **per punti** alla struttura; prima ai quattro vertici della struttura poi su alcuni punti dei bordi di entrata e uscita, proseguite facendo aderire la carta su tutto il longherone, infine centina per centina distendete la carta facendola aderire a tutta la superficie dei bordi e sulle centine di estremità.



Una volta asciutto, ritagliate il contorno in eccesso con il tagliabalsa. Si ripete l'operazione per tutti i settori del ventre e del dorso, ponendo particolare attenzione alle zone di unione sul diedro, dove é importante che l'incollaggio sulla centina comune a due settori sia eseguito con molta cura.

Bordi molto arrotondati o curvi come i terminali, si seguono praticando dei tagli sulla carta in modo che le "frangiature" una volta inumidite dalla colla, possano facilmente seguire il contorno.

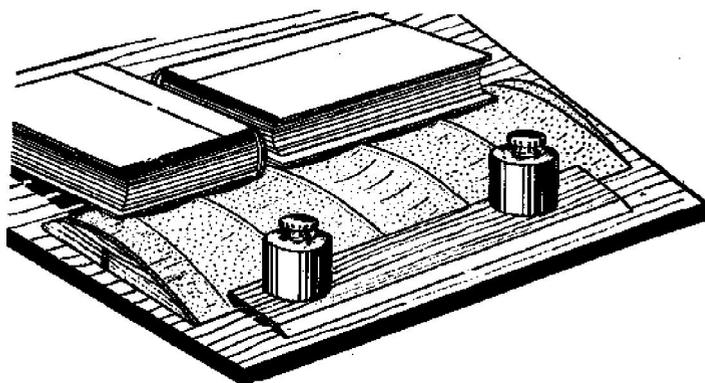


Per la fusoliera si incontra qualche difficoltà in più soprattutto se si pensa di "foderarla". Bisogna allora ricordarsi che la ricopertura deve essere sempre eseguita "a settori", così se ad esempio la fusoliera è a sezione quadrata bisognerà tagliare almeno quattro settori di carta, se è esagonale sei e così via.

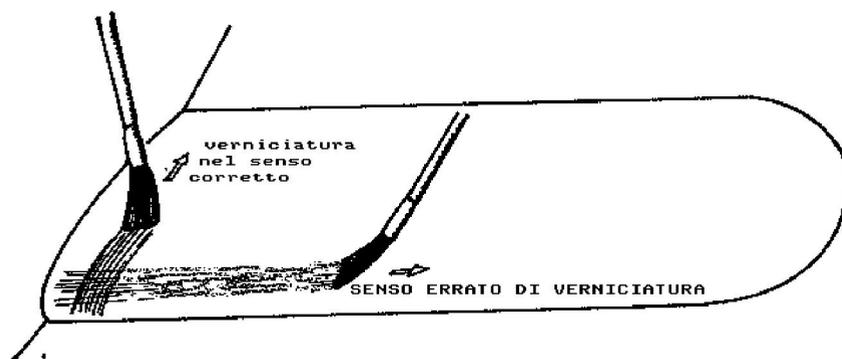
La ricopertura dei modelli non è sempre semplice e soprattutto esige pazienza e pratica, rimane comunque una delle operazioni più importanti perché se eseguita male può danneggiare le caratteristiche di volo e strutturali del modello.

Alla ricopertura segue la tenditura, il procedimento che ora seguiremo è quello ideale per evitare deformazioni alla struttura e permettendo una uniforme tensione della carta.

La prima tensione si ottiene spruzzando uniformemente la carta o il tessuto con acqua, in questo modo il rivestimento si dispone autonomamente nel migliore dei modi correggendo eventuali errori grinze e avvallamenti lasciati durante la prima applicazione. Si comincia inumidendo tutta la superficie (dal ventre per finire con il dorso),



si lasciano quindi asciugare le strutture fissandole sul piano di lavoro in modo che durante la tensione non si svergolino. Dovete fare molta attenzione che la struttura sia perfettamente in piano, procedendo senza fretta e lasciando che la asciugatura prenda il suo tempo (almeno 24 ore per evitare che l'umidità danneggi la seconda fase di tenditura).



La seconda tenditura si ottiene verniciando la carta con il tendicarta, questo tipo di vernice é in realtà un collante a base di cellulosa molto diluito. Ha la caratteristica di tendere ed impermeabilizzare la carta seta deponendovi un sottile strato celluloide. La verniciatura andrà eseguita secondo un preciso schema; cominciando sempre dal ventre, si passa il tendicarta sulle strutture, e una volta asciutto al tatto sul resto della superficie seguendo il verso delle centine.

Appena il ventre sembrerà asciutto, fissate nuovamente la struttura al piano di lavoro con degli spilli poggiati sui bordi e lasciatela così per almeno dodici ore. Questo é il tempo necessario affinché il tendicarta completi la sua opera di tensionamento, aspettate quindi di controllare l'effetto ottenuto prima di dare una seconda o terza mano di vernice che potrebbe tirare eccessivamente provocando deformazioni irrecuperabili. Per pulire i pennelli utilizzate solamente diluente nitro

Le fusoliere (soprattutto quelle a traliccio) non possono essere collocate su un piano per evitare svergolamenti, quindi la verniciatura deve avvenire "a spicchi" simmetrici affinché l'essiccamento simultaneo non crei distorsioni sui listelli.

2) Il rivestimento con vari tessuti

Una volta imparata la tecnica di applicazione e tenditura della carta, saremo in grado di applicare qualsiasi altro tessuto allo stesso modo facendo però attenzione a quanto segue.

- a) L'orientamento della trama é fondamentale ai fini della tenditura, lo stesso negoziante di tessuti ci potrà indicare l'orientamento "verticale" della trama che per noi sarà il corrispondente del senso della vena sul foglio di carta.
- b) L'operazione di primo incollaggio andrà eseguito con molta pazienza utilizzando subito il tendicarta (o un collante adatto molto diluito) ed un piccolo pennello, aspettando poi l'asciugatura di ogni punto.
- c) Bisognerà rispettare la trama del tessuto che deve rimanere ortogonale su tutta la struttura, l'incollaggio "per punti" comincerà quindi tendendo leggermente il tessuto lungo l'orientamento "verticale".
- d) Si dovrà tenere conto del fatto che il tessuto tende molto più della carta e quindi le mani di tendicarta dovranno essere ben diluite (almeno al 30%) per ben controllare il processo di tenditura.

3) Il rivestimento in materiale plastico termoretraibile

I materiali plastici termoretraibili sono disponibili in diversi tipi, pesi e colori, al punto che la fantasia decorativa con questi materiali non conosce limiti.

Sono commercializzati in rotoli di pellicola a metraggio, visto il costo sarà bene imparare ad utilizzarli senza farne scempio a causa di errori e sprechi vari.

Una volta srotolata, notate che la pellicola è costituita da due veli plastici sovrapposti; quello trasparente non colorato é solo di protezione per l'adesivo presente sulla superficie della nostra pellicola colorata. Il termoretraibile un volta liberato dalla pellicola di protezione appare infatti liscio e lucido su di un lato e leggermente più opaco e adesivo dall'altro.

La superficie adesiva é quella che va a contatto con la struttura del modello, il collante farà presa solamente se opportunamente scaldato. L'applicazione segue lo schema generale già visto per la carta. Prima si incolla il rivestimento alla superficie e successivamente se ne provoca la tensione.

Vediamo ora le corrette fasi di applicazione di questo rivestimento:

- 1) *Procurarsi un adatto ferro da stiro* (piccolo, maneggevole, non a vapore, possibilmente del tipo da viaggio o specifico per uso modellistico); un taglierino affilato, un pennarello ed una riga.
- 2) *Determinare la temperatura di lavoro sul regolatore del ferro da stiro:* acceso il ferro, determinate sul pomello di regolazione le temperature fondamentali indicate dalle istruzioni nel rotolo che avete acquistato. Ogni pellicola ha due temperature fondamentali: quella di applicazione (più bassa intorno ai 100°) e quella di tenditura (più alta intorno ai 150°) se non avete l'indicazione di temperatura disponete la piastra verso l'alto, e trovatela utilizzando dei quadratini di pellicola senza rivestimento. Disponetene sulla piastra un pezzetto per volta (con l'adesivo verso l'alto); la temperatura di prima applicazione é quella per cui la pellicola si aggrinzisce leggermente senza accartocciarsi, segnatela sul regolatore del ferro.



3) *Preparare il foglio termoretraibile:* distendendolo sul tavolo, posizionatevi l'ala e segnate con un pennarello il contorno della sezione che volete rivestire, lasciate 2 cm. in più di bordo. Tagliate lungo la linea tracciata ed iniziate il rivestimento dal ventre.

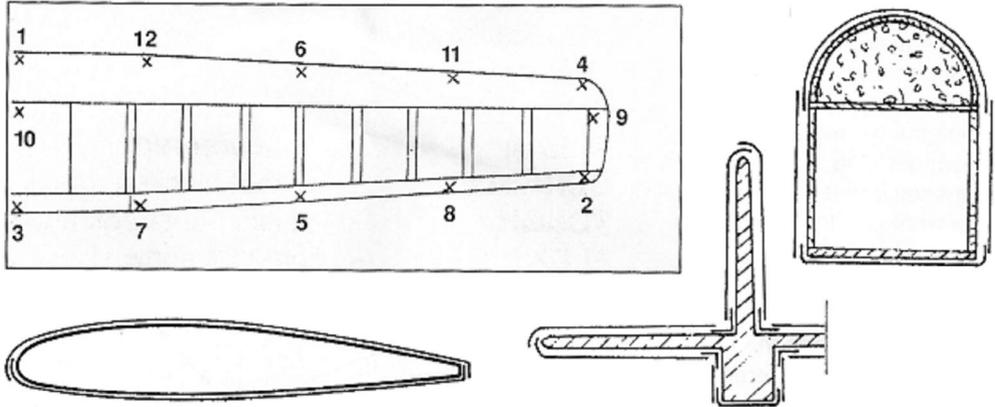
4) *Incollare **per punti** il foglio alla struttura come segue:*

a) **rimuovete la pellicola protettiva trasparente** e disponete il foglio sulla struttura con la parte adesiva verso di essa, fissate la pellicola, sfiorandola con la punta del ferro e premendo leggermente (la pellicola scurisce a contatto con il ferro ma raffreddandosi torna al colore normale).

b) Incollare per punti seguendo uno schema incrociato come mostrato dalle foto e dal disegno che segue. Poi, verificato che il foglio sia disposto senza grinze significative, incollare l'intero bordo di entrata e di uscita, proseguendo poi con i longheroni (se il profilo é concavo incollare prima il rivestimento sul longherone inferiore poi sui bordi).

c) Sui terminali e sulle parti curve tagliare a fettucce la pellicola per seguire più facilmente le forme. La pellicola può essere tirata leggermente scaldandola un po' di più e facendo diversi passaggi per evitare grinze e pieghe.

Se la struttura é rivestita in balsa, una volta fissati i punti bisogna partire dal centro e stirare andando verso i bordi. Le bolle d'aria si eliminano praticando dei forellini con uno spillo al centro della bolla e stirando andando dall'esterno verso il centro. Nella figura che segue si vede lo schema da seguire per le sovrapposizioni del rivestimento sulle varie parti del modello.



Incollaggio per punti sulla struttura alare e sovrapposizioni della pellicola

5) *Tensione finale del rivestimento:*

una volta fissata la pellicola a tutta la struttura, passate il ferro uniformemente su tutta la superficie, prima con la temperatura di incollaggio e poi con quella di tenditura. Mantenere un velocità costante che assicuri un riscaldamento omogeneo. Meglio se frapponete una vecchia maglietta di cotone tra ferro e superficie, aumentando anche di pochissimo la temperatura del ferro.

Un incollaggio sbagliato o un riscaldamento non uniforme provocano svergolature difficilmente eliminabili cui si può tentare di porre rimedio con una controsvergolatura ed un contemporaneo nuovo riscaldamento.

Per rivestire gli impennaggi si utilizza la stessa tecnica, mentre per seguire bene la forma delle fusoliere in legno, può essere necessario aumentare il numero di "spicchi di pellicola" tagliati dal foglio principale.

Per le fusoliere in materiale plastico potrebbe non essere consigliato questo tipo di rivestimento per l'eccessivo riscaldamento del materiale. Fanno eccezione alcuni tipi di polistirolo moderno, liscio e compatto, per i quali si può pensare di usare con successo il termoretraibile. Personalmente con i materiali quali polistirolo e poliuretano ho usato con successo carta seta applicata con vinilica diluita e poi verniciata a spray secondo le esigenze (rif. <http://www.paer.it/339.html>)

LA MESSA A PUNTO DEL MODELLO E LE PROVE DI VOLO

Messa a punto e centraggio statico di un modello di aliante

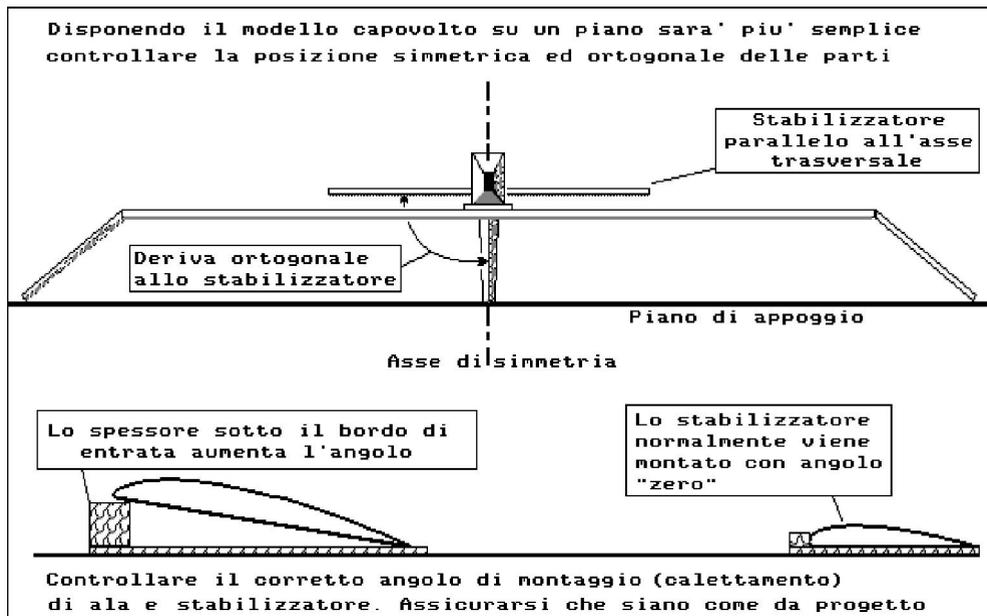
Prima di recarsi sul campo di volo è necessario eseguire alcuni controlli e correggere le eventuali anomalie.

- *Controllate l'attacco dell'ala e dello stabilizzatore alla fusoliera:*

montate entrambi con gli elastici (senza che questi forzino troppo) e osservando il modello dal muso, verificate che il piano di coda sia orizzontale e parallelo al piano di appoggio dell'ala.

Il calettamento (angolo di montaggio sulla fusoliera) dell'ala e dello stabilizzatore devono essere conformi a quelle di progetto se non lo fossero, rettificatele *aggiungendo e incollando spessori di balsa duro, sotto il bordo di entrata per aumentare il calettamento e sotto quello di uscita per diminuirlo.*

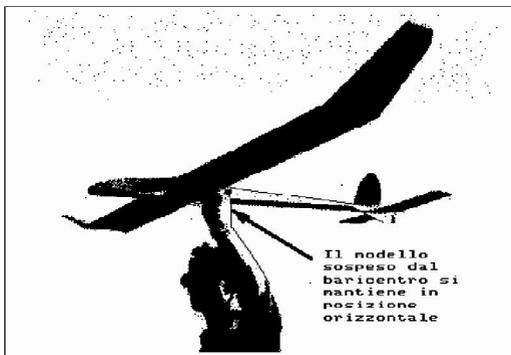
La deriva sia perfettamente verticale alla fusoliera e il suo profilo allineato con l'asse longitudinale.



- **Controllate la posizione del baricentro:**

sollevate il modello tenendolo in bilico su due dita poste nella posizione prevista dal progetto per il baricentro.

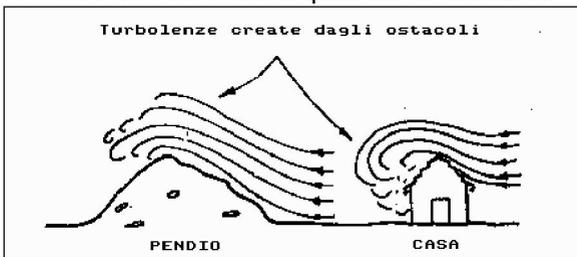
Aggiungete o togliete piombo nel pozzetto posto nel muso della fusoliera, **finché il modello non si disponga in posizione orizzontale** o leggermente picchiato (con il muso verso il basso)



Questa operazione prende il nome di **centraggio statico** e assicura la tendenza del modello a tornare da solo nella posizione di equilibrio, se ben progettato.

Prove di volo e centraggio dinamico

Prima di eseguire i lanci di prova si tenga presente che i modelli non vanno mai lanciati in condizioni di vento forte o sottovento ad ostacoli quali alberi abitazioni o colline perché il vento in quelle zone provoca turbolenze che facilmente sbattono a terra il modello; provare in queste condizioni vuol dire rompere il modello quasi certamente. Se possibile scegliete quindi una giornata senza vento .



Giunti sul campo rimontate il modello controllando che tutto sia installato correttamente. Avrete l'accortezza di fare le prime prove su un campo con erba alta che possa attutire i primi atterraggi. Se presente, smontate il carrello che sarebbe solo d'impaccio e causa di rotture.

Determinate la direzione di provenienza del vento e *disponete il modello con il muso controvento*, prima di lanciarlo prendete confidenza con le forze che sentirete agire sul modello disponendolo in modo da opporre la minore resistenza; tenendolo bene in orizzontale e sospeso per il baricentro fate alcuni passi di corsa e **lanciatelo sempre controvento, ACCOMPAGNANDOLO gentilmente ma con decisione con il braccio, su una traiettoria leggermente inclinata verso il basso.**

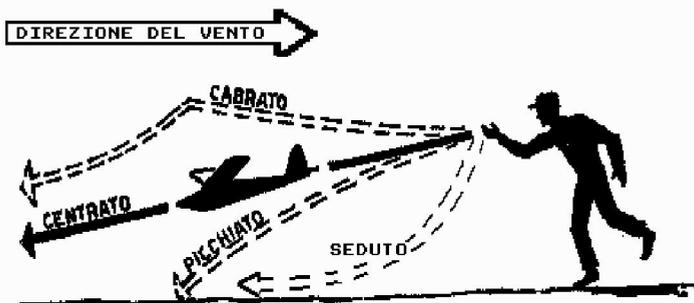
Il modello deve essere lanciato alla velocità di volo che lo caratterizza, un lancio troppo debole non permetterà una planata corretta. Vale la regola generale che un modello leggero ha bisogno di una spinta minore, mentre un modello pesante deve essere lanciato con maggior forza. Quello che è fondamentale è di non lanciare il modello verso l'alto o con il muso verso l'alto, perché questo porta il modello allo stallo, con successiva perdita di quota.

Imparare a lanciare il modello è quindi fondamentale sia per le operazioni di centraggio che per i voli successivi, imparare a farlo bene è possibile solo con modelli semplici ed in grado di planare da soli (volo libero).

Se il modello è centrato correttamente planerà su una traiettoria rettilinea in leggera discesa, percorrendo dai 10 ai 20 metri dal punto di lancio a seconda della sua efficienza.

Ogni deviazione da questa traiettoria andrà corretta distinguendo quindi fra deviazioni in senso longitudinale o trasversale.

Il modello longitudinalmente potrebbe risultare *picchiato*, *cabrato* o *centrato*; nel modello picchiato la traiettoria è fortemente inclinata verso il basso e curvilinea anziché rettilinea (il muso tende sempre più verso terra); nel modello cabrato la traiettoria è oscillante ed il modello appena lanciato sale sollevando il muso, la velocità diminuisce ed il modello cade bruscamente. L'oscillazione si può ripetere più volte prima dell'arrivo al suolo.



Le cause possono essere statiche (errata posizione del baricentro, dell'ala o dello stabilizzatore), oppure dinamiche (inesatta incidenza di montaggio dell'ala, errata velocità).

Nel raggiungere il corretto centraggio dinamico è bene lavorare prima sul baricentro, aumentando il peso in punta se il modello cabra, diminuendolo se tende a picchiare.

(video su un lancio di bilanciamento <http://www.paer.it/filmati/bilanciamento.mpg>)

Se non si ottiene una planata regolare e continua **con aggiunta o sottrazione di pesi nel pozzetto** (il baricentro dovrà comunque trovarsi tra il 30% ed il 40%

della corda alare), sarà necessario lavorare sulle incidenze dell'ala o dello stabilizzatore utilizzando degli spessori via via crescenti come segue.

Rimedi per il modello picchiato: spessori sotto il bordo di entrata dell'ala oppure sotto il bordo di uscita dello stabilizzatore;

Rimedi per il modello cabrato: spessori sotto il bordo di uscita dell'ala oppure sotto il bordo anteriore dello stabilizzatore.

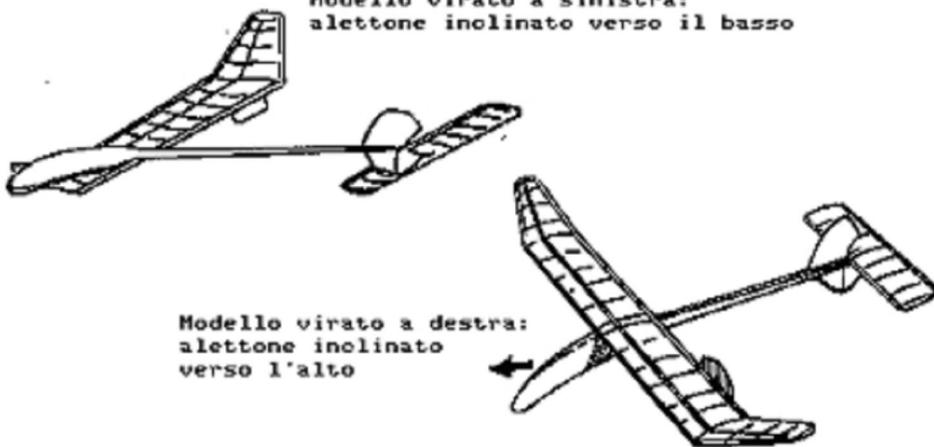
Un caso particolare è quello del *modello "seduto"*, in questo caso sembra che il modello picchi subito dopo il lancio, aumentando di velocità per poi toccare terra quasi sfarfallando. Questo fenomeno dipende solo dall'incidenza alare insufficiente, sarà quindi necessario operare come per il modello picchiato senza però intervenire sul peso. **RICORDATE DI ESEGUIRE UNA CORREZIONE ALLA VOLTA**

Se il modello tende a virare durante la planata questo può dipendere dalla deriva non allineata con la fusoliera, sarà allora necessario applicare sul bordo di uscita del timone un cartoncino inclinato dalla parte opposta alla virata (vedi capitolo assi e movimenti) simulando così la presenza del timone a contrastare la virata indesiderata.

Se la deriva è dritta la virata dipende dall'ala svergolata, sul campo si può ovviare con un alettone di cartone posto sul bordo di uscita dell'ala, piegato verso l'alto o verso il basso come mostrato nella figura seguente.

CORREZIONE DELLA VIRATA CON ALETTONE POSTO SULLA SENIALA SINISTRA

**Modello virato a sinistra:
alettone inclinato verso il basso**



**Modello virato a destra:
alettone inclinato
verso l'alto**

Il centraggio longitudinale e trasversale eseguiti nei modi ora descritti prendono il nome di **centraggio dinamico**, questo serve a compensare i normali errori di costruzione o progettazione.

Il lancio con cavo di traino

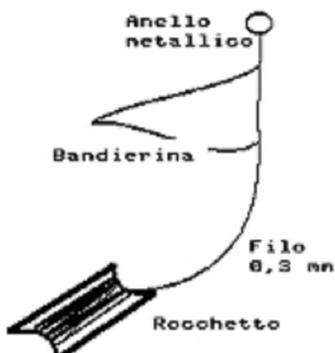
Per lanciare il vostro modello veleggiatore avrete bisogno di molto spazio, trovate un campo adatto considerando che il modello potrebbe allontanarsi molto dalla posizione in cui viene lasciato.

Durante le gare vengono utilizzati dei cavi lunghi 30 metri per i modelli di categoria Junior e di 50 metri per le altre, per i nostri primi lanci sarà sufficiente provare con 15-20 metri di cavo.

Utilizzeremo del filo di nailon da pesca da 0,3 mm di diametro, alle estremità leggeremo una tavoletta per avvolgerlo ed un anello metallico da 20 mm di diametro, da agganciare poi al modello. A 15 centimetri dall'anello attaccheremo una bandierina leggera di un colore vivace ben visibile sia al suolo che in aria.

Sarà inoltre necessario posizionare il gancio di traino o sceglierlo tra quelli già ricavati nel pattino di atterraggio; procedete come mostrato in figura:

Esempio per un semplice cavo di traino:



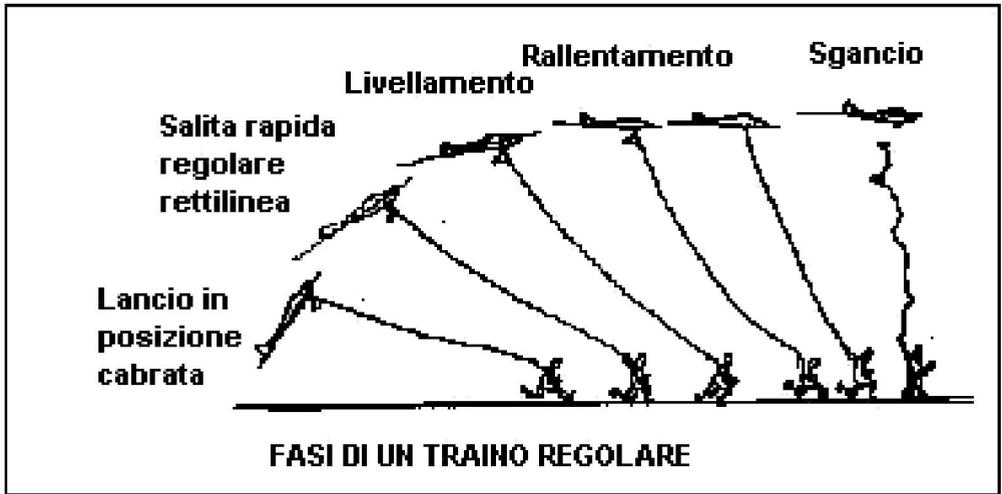
Preparato così il sistema di involo e giunti sul campo svolgete il filo che intendete utilizzare ed insieme ad un vostro amico disponetevi nella direzione del vento.

Chi effettuerà il traino si disporrà davanti con in mano la tavoletta su cui è avvolto il filo, l'aiutante disporrà l'anello **inizialmente al gancio di traino più avanzato** ed entrambi faranno in modo di tendere il filo per non fargli toccare terra.

Quando pronti, il trainatore darà il via ed entrambi cominceranno a correre **sempre contro vento**.

L'aiutante sosterrà il modello in posizione leggermente cabrata (muso verso l'alto) e con le ali ben livellate, quando sentirà che tende a sollevarsi lo **accompagnerà gentilmente verso l'alto lasciandolo e senza spingerlo in avanti**.

Il trainatore nel frattempo terrà d'occhio il modello regolando la corsa a seconda delle caratteristiche di salita.



Se il modello sale troppo rapidamente diminuite la velocità o le ali potrebbero rompersi. Se il vento é forte occorre rimanere fermi o addirittura andare incontro al modello. (video di un traino <http://www.paer.it/filmati/traino.mpg>)

Se il modello non sale ed il cavo tende ad allentarsi dovete aumentare la velocità, se questo non basta ripetete la prova spostando l'anello sul gancio più indietro.

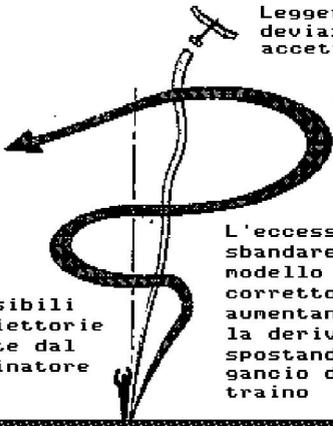
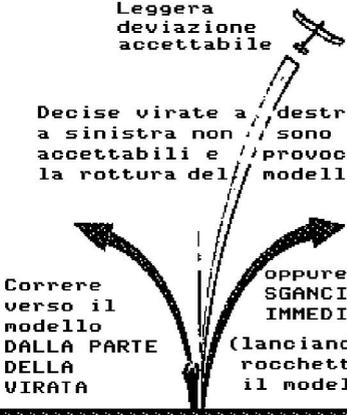
Se la corsa é stata sufficiente, il modello sale fino alla verticale del trainatore con il cavo teso, se non era sufficiente si dispone in linea di volo con il cavo angolato e non riesce a salire ulteriormente. A questo punto fermatevi e allentate la tensione del cavo, la bandierina faciliterà lo sgancio dell'anello ed il modello comincerà la planata.

Terminato il traino seguite bene il volo del modello, perché potrebbero apparire dei difetti di centraggio non visibili con i lanci a mano e da correggere nei modi già descritti.

Se il modello durante la salita tende a virare, é necessario rallentare e spostarsi dalla stessa parte della virata per consentire al modello di stabilizzarsi (nella foto d'esempio il ragazzo deve dirigersi a destra). Ogni tentativo di "tirarlo" dalla parte opposta accentuerà la virata. Se il modello continua a inclinarsi lateralmente, per evitarne la distruzione é necessario sganciarlo magari gettandogli incontro tutto il rocchetto .



Con calma poi si cercherà di individuare la svergolatura che provocava la virata. Alcune volte é necessario aumentare la superficie della deriva o spostarne una parte sotto la fusoliera.

POSSIBILI PROBLEMI DURANTE IL TRAINO DEL MODELLO IN QUOTA	
<h3>Traiettoria "ondulata"</h3>  <p>Leggera deviazione accettabile</p> <p>L'eccessivo sbandare del modello va corretto aumentando la deriva o spostando il gancio di traino</p> <p>Possibili traiettorie viste dal trainatore</p> <p>Spostare il gancio indietro</p>	<h3>Traiettoria "virata"</h3>  <p>Leggera deviazione accettabile</p> <p>Decise virate a destra o a sinistra non sono accettabili e provocano la rottura del modello</p> <p>oppure SGANCIARE IMMEDIATAMENTE (lanciando il rocchetto verso il modello)</p> <p>Correre verso il modello DALLA PARTE DELLA VIRATA</p> <p>Spostare il gancio in avanti</p>

Il dispositivo di virata e l'antitermica

Un accenno ora al controllo dei modelli da volo libero, da cui storicamente derivano tutti gli altri e ai quali l'aeromodellismo deve tanto.

Se il modello è ben realizzato ed il traino ben eseguito, in giornate tipicamente estive è molto probabile che l'aliante durante la sua planata incontri una corrente di aria calda ascensionale (detta termica). In questo caso il modello comincerà a salire e le possibilità di perderlo saranno notevoli.

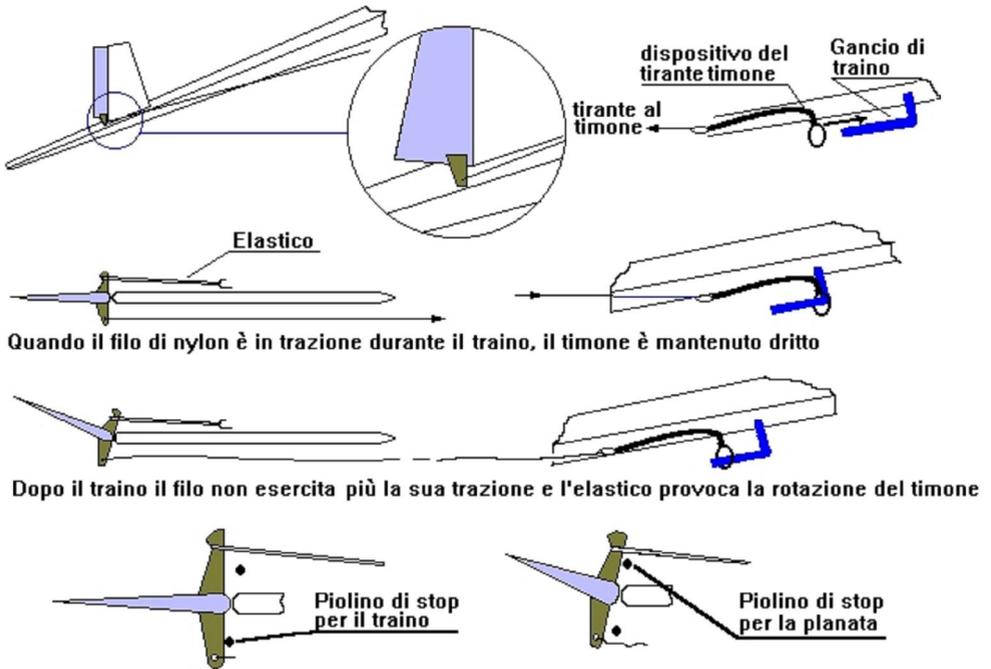
Per evitare che il modello si allontani troppo dal nostro campo di volo, si può dotarlo di due dispositivi automatici che gli permettano, prima di volare in tondo e poi di scendere indipendentemente dalle condizioni incontrate.

Il primo dispositivo é un timone realizzato come nella foto e nella figura che segue : due perni incollati sulla fusoliera determinano le escursioni massime del timone, l'elastico da una parte della squadretta assicura la posizione del timone per la virata. Il filo di nailon collegato al gancio di traino permette di posizionare il timone per una salita rettilinea .

L'utilizzo del timone comporta una costante e leggera imbardata del modello durante la



planata, ne risulta una virata larga e quasi “piatta” che non danneggia l’efficienza globale ma consente al modello di volare in tondo.

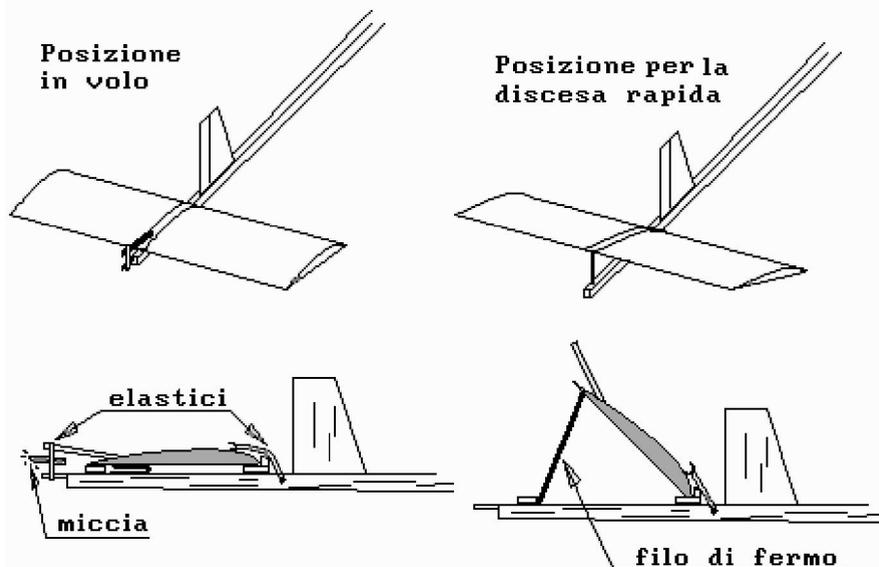


Il direzionale mobile, in caso di forti correnti ascensionali non è sufficiente a permetterci di recuperare il modello.

Il secondo dispositivo é detto “antitermica”. Consiste nel realizzare uno stabilizzatore mobile con due posizioni.

La prima posizione è quella di planata: lo stabilizzatore è montato sulla fusoliera con due elastici, il primo sul bordo di entrata tende a “spingere” lo stabilizzatore su una adatta sede di battuta, il secondo tiene il bordo di uscita sulla battuta posteriore. Può inclinarsi di 30° verso il basso e in quella posizione provoca uno stallo rapido ed una discesa in vite più o meno controllata. In queste condizioni l’ala funge quasi da paracadute ed il modello scende al suolo generalmente senza danni.

STABILIZZATORE CON DISPOSITIVO ANTITERMICA



Nella figura il modo più semplice di realizzare il tutto: l'attacco dell'elastico posteriore deve essere dotato di una miccia per aeromodellismo di lunghezza opportuna (3 cm. circa) che viene accesa al momento del lancio, oppure è fissato con un gancio collegato ad un timer.

Un filo di fermo fissato alla fusoliera ed al bordo di uscita dello stabilizzatore, interrompe la rotazione e ferma il piano orizzontale in una posizione di circa 30° negativi.



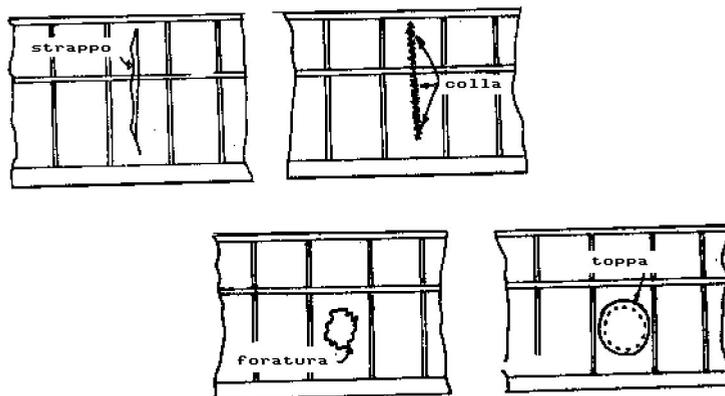
video della discesa in vite : <http://www.paer.it/filmati/vite.mpg>

Ritengo che il volo libero sia la strada più appagante per imparare come vola un aereo. Affinchè un modello voli autonomamente, rispondendo a venti e turbolenze in modo da continuare imperterrito il suo volo, permette di apprendere tutto quello che serve per progettare correttamente il proprio modello.

Se il vostro obiettivo è quello di far volare un modello radiocomandato, il volo libero di un modello semplice, vi permetterà di capire tutto quel che serve per bilanciarlo correttamente e pilotarlo all'interno delle sue capacità.

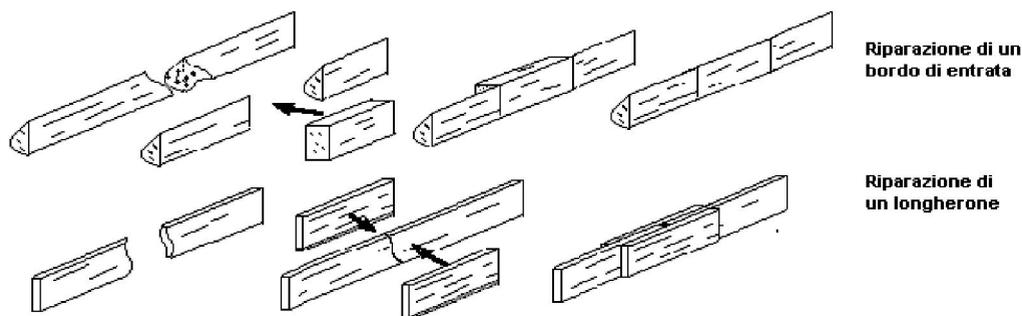
Le riparazioni

Durante i voli può capitare di strappare la ricopertura. Se lo strappo é lieve e con i bordi accostati, basta passare su di essi un filo della stessa colla usata per il montaggio, magari aiutandosi con degli spilli nel tenere i lembi vicini durante l'asciugatura. Quando la colla asciugando tenderà, richiuderà perfettamente lo strappo. Se manca una parte di ricopertura, con il taglierino rendete regolare il foro ed applicatevi con lo stesso collante, una toppa della stessa carta (che poi ripasserete con il tendicarta).



Se si rompe un listello o un bordo di entrata, rimuovete il rivestimento nella zona e rincollare le due estremità rotte, oppure inserite un pezzo di listello facendo delle unioni possibilmente in diagonale e in corrispondenza delle centine; ad asciugatura avvenuta carteggiate fino a riavere il contorno originale.

Se la rottura interessa un longherone é bene rinforzarlo con due guancette laterali incollate sulla rottura (si veda figura seguente) insomma non abbattetevi e riparate tutto quel che si può !



Riparazione di un bordo di entrata

Riparazione di un longherone

COME E PERCHÉ UN AEREO VOLA

Esperimenti e prove di volo con un modello di aliante

Con le prime prove di volo del nostro modello di aliante abbiamo imparato ad eseguire il centraggio statico e dinamico per ottenere una bella planata. Dopo averlo visto volare con lanci a mano da una piccola collina, oppure lanciandolo con il cavo di traino, è giunto il momento di capire come e perché vola.

Come già accennato, un aereo vola perché sulle sue ali si genera una forza che va a contrastare il peso di tutto il velivolo. Questa forza è legata al fatto che l'aereo si muove nell'aria e si definisce con il nome di **forza aerodinamica** proprio per evidenziare come dipenda "dall'aria" in cui il velivolo "dinamicamente" si muove.

Ma come nasce questa forza? Da che cosa dipende? Come varia? E' possibile modificarla? Molte sono le domande che potrebbero interessarci. Se abbiamo imparato a centrare e lanciare correttamente il nostro modello di aliante, possiamo utilizzarlo per capire qualcosa di più riguardo alla forza aerodinamica e le leggi che la regolano.

Facciamo allora una tabella come quella riportata nelle pagine seguenti, e rechiamoci nuovamente sul campo di volo. Portiamo con noi delle tavolette di balsa di diverso spessore, il piombo per il centraggio, un cronometro, e le normali attrezzature per le riparazioni.

Per queste prove di volo un po' particolari scegliamo una parte di campo piano o leggermente in discesa ed **aspettiamo che il vento sia calmo** (la mattina presto è il momento ideale).

Con il modello centrato correttamente come da progetto, facciamo 4 o più lanci a mano e prendiamo nota del tempo di volo e della distanza percorsa dal modello per ognuno di essi.

Aumentiamo il calettamento dell'ala: mettiamo sotto il bordo di entrata dell'ala una tavoletta di balsa da 3 millimetri, il modello così modificato risulterà cabrato, aumentando gradualmente il peso nel pozzetto della zavorra troveremo la nuova condizione di centraggio. Una volta centrato correttamente il modello, facciamo altri 4 lanci riprendendo tempi e distanze ed annotando particolari caratteristiche di volo.

Diminuiamo il calettamento dell'ala: facciamo in modo che l'ala si trovi con un angolo di calettamento minore rispetto a quello di progetto, togliamo tutti gli spessori sotto il bordo di entrata dell'ala e se necessario ne mettiamo alcuni sotto il bordo di uscita. Eseguiamo ancora una volta il centraggio con nuovi lanci di prova (stavolta dovremo togliere del piombo dal pozzetto della zavorra). Quando completato il centraggio, facciamo altri 4 lanci riprendendo tempi e distanze. Alla fine riportiamo il modello nelle condizioni iniziali di progetto.

Se le prove sono state eseguite correttamente e in aria calma, considerando i risultati medi, potremo notare che:

- a) *All'aumentare del calettamento alare* (secondo gruppo di prove):
- per ristabilire il centraggio aumenta il peso totale del modello (si aggiunge peso nel pozzetto del muso)
 - aumenta il tempo di volo
 - diminuisce o rimane quasi inalterata la distanza percorsa
 - il modello tende a sollevarsi più facilmente
- b) *Al diminuire del calettamento alare* (terzo gruppo di prove):
- per ristabilire il centraggio diminuisce il peso totale del modello (si toglie peso dal pozzetto del muso)
 - diminuisce il tempo di volo
 - diminuisce la distanza percorsa
- c) *Nelle condizioni di calettamento iniziali* (primo gruppo di prove) se il modello è realizzato secondo progetto:
- si hanno tempi di volo intermedi tra le condizioni a) e b)
 - la distanza percorsa è quella maggiore tra le tre prove
 - il volo è particolarmente stabile



Esempio di tabella riassuntiva dei tempi e delle distanze di volo				
volo N.	Tempo	Distanza	Medie	Caratteristiche della prova
1 -----	-----	-----	Tempo	Modello come da progetto: <i>Esempio:</i> Ala con calettamento di 1 Cm
2 -----	-----	-----	Distanza	
3 -----	-----	-----		
4 -----	-----	-----		
1 -----	-----	-----	Tempo	Variazione 1: aumento di calettamento Ala con calettamento di 1 Cm + 3 mm. (Aumento del peso totale)
2 -----	-----	-----	Distanza	
3 -----	-----	-----		
4 -----	-----	-----		
1 -----	-----	-----	Tempo	Variazione 2 diminuzione di calettamento Ala con calettamento di 0 Cm (Diminuzione del peso totale)
2 -----	-----	-----	Distanza	
3 -----	-----	-----		
4 -----	-----	-----		

note:

Nel rilevare la distanza percorsa, se il modello esegue delle virate, sarà necessario seguire anche l'effettivo percorso del modello; è sufficiente allora contare i passi dal punto di partenza, seguendo il percorso fatto.

Nel rilevare i tempi, se il modello tocca il suolo più volte prima di fermarsi, si considererà il tempo sul primo atterraggio. Se il modello, subito dopo il lancio a mano, invece di scendere, sale e guadagna un po' di quota a causa del vento, si ripeta il lancio e si prenda nota del fenomeno.

Maggiore è il numero delle prove su cui si fa la media, maggiore sarà la precisione dei risultati; a tal fine se si dispone di almeno 6 o 8 voli per ogni gruppo di prove, si escludano dal calcolo della media, il valore più piccolo e quello più grande

Osservazioni e altre prove di volo

Una prima importante osservazione è quella di notare come all'aumentare del calettamento alare, pur aumentando il peso totale per via del centraggio, il modello tende a volare per un tempo maggiore.

Possiamo allora pensare che *la forza aerodinamica aumenta con l'aumento di "inclinazione" dell'ala rispetto al vento.*

Diminuendo il calettamento alare, pur avendo ridotto il peso per via del centraggio, analogamente diminuiscono tempi e distanze percorse.

Durante le prove, avremo inoltre notato che con lanci troppo energici (troppa velocità) il modello anche se centrato correttamente tende comunque a salire eccessivamente come se fosse cabrato. *La forza aerodinamica aumenta anche con la velocità e non solo con il calettamento alare.*

E' un po' quello che si sperimenta, giocando con il palmo della mano fuori dal finestrino di un'auto in corsa: se incliniamo il palmo verso l'alto, sentiamo la mano che si solleva sempre più. E' anche evidente come questa forza dipenda dalla velocità dell'auto.

Altre due prove interessanti si possono fare aumentando la superficie dell'ala con due striscia di balsa da un millimetro di spessore e dimensioni 2 Cm x 50 Cm che chiameremo Flap. Le uniremo a proseguire il bordo di uscita dell'ala con del nastro adesivo. Prima proviamo il modello con queste striscioline montate in orizzontale. Poi riproviamo inclinando le striscioline verso il basso di circa mezzo centimetro. Nella prima prova abbiamo aumentato la superficie alare. Nel secondo caso ne abbiamo alterato anche il profilo. Noteremo ancora grandi differenze nelle caratteristiche di volo.



Studiando un pochino i risultati delle nostre prove potremo agevolmente arrivare alla conclusione che **la forza aerodinamica che sostiene il modello varia in funzione di questi fattori:**

- Superficie alare (**S**),
- Velocità di volo (**V**),
- Inclinazione o angolo con cui il profilo incontra l'aria (α)
- Forma del profilo

Infine, approfondendo l'argomento scoprirete che la forza aerodinamica dipende anche dalla:

- Densità del fluido in cui l'ala si muove (ρ)

Le principali grandezze aerodinamiche

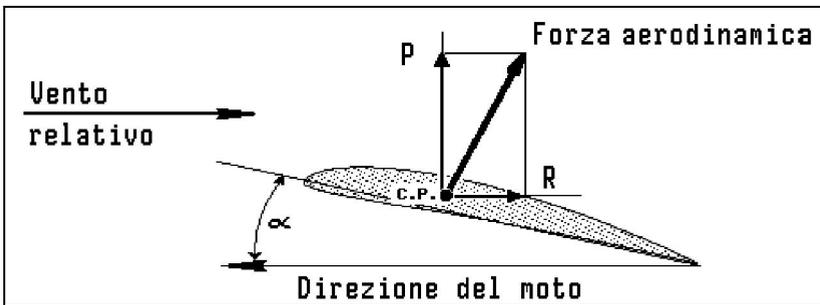
A questo punto é necessario procedere con una maggiore precisione, ecco quindi alcune definizioni fondamentali:

Direzione del vento relativo (V_{∞})

E' la direzione lungo la quale il profilo si sposta nell'aria, o viceversa, con la quale l'aria in movimento si dirige verso il profilo considerato fermo.

Angolo di incidenza (α)

L'angolo compreso tra la direzione del vento relativo e la corda del profilo.



Forza aerodinamica (F_a)

Forza che si genera sul profilo per interazione con il fluido in movimento.

Centro di pressione (C.P.)

Punto di applicazione della forza aerodinamica.

Portanza (P)

Componente della forza aerodinamica, perpendicolare al vento relativo

Resistenza (R)

Componente della forza aerodinamica, parallela al vento relativo.

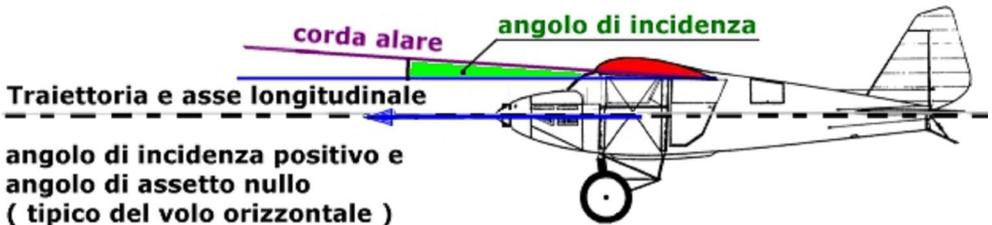
Notiamo a questo punto che l'aereo in volo è caratterizzato anche da un altro angolo che definiremo "di assetto" e rappresenta l'inclinazione dell'intero aereo rispetto al terreno.

Angolo di assetto (β)

Angolo compreso tra la linea dell'orizzonte e un asse di riferimento, che per l'aereo completo è l'asse longitudinale, mentre per il profilo alare è la corda.



Normalmente un aereo vola con "angolo di assetto zero", cioè parallelamente al terreno, ma raramente in queste condizioni l'angolo di incidenza è zero: l'ala ha una sua incidenza che permette lo sviluppo della forza aerodinamica.



Quanto detto fino ad ora sulla forza aerodinamica, viene normalmente espresso con la semplice formula:

$$F_a = (1/2) * \rho * S * V^2 * C_f$$

Nella quale compare il termine C_f che chiameremo **coefficiente di forza aerodinamica**: un numero adimensionale (senza unità di misura), che esprime le caratteristiche tipiche di ogni profilo alare in base alla sua forma e all'incidenza di funzionamento considerata. Il termine $\frac{1}{2}$ evidenzia l'energia cinetica nello sviluppo moderno della formula.

Le componenti della F_a , portanza e resistenza, vengono introdotte per semplificare la trattazione e rendere più semplice tutto lo studio dei fenomeni; ovviamente hanno formule analoghe:

$$P = (1/2) * \rho * S * V^2 * C_p$$

$$R = (1/2) * \rho * S * V^2 * C_r$$

In questo caso **C_p = Coefficiente di portanza** e **C_r = Coefficiente di resistenza**.

Variazione dei coefficienti aerodinamici con l'angolo di incidenza.

Consideriamo le formule inverse:

$$C_p = \frac{2 P}{\rho * S * V^2}$$

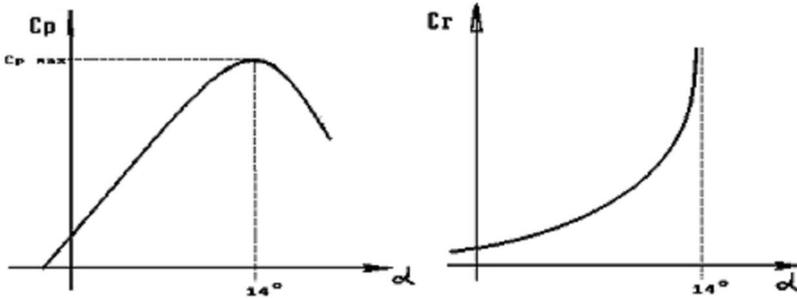
$$C_r = \frac{2 R}{\rho * S * V^2}$$

ci suggeriscono come sia possibile ricavare detti coefficienti semplicemente misurando la portanza e la resistenza generati su di un modello di ala posto in una galleria a vento.



Galleria aerodinamica per la misurazione delle forze aerodinamiche su corpi e profili

Le prove svolte in galleria del vento svelano come le forze aerodinamiche variano in modo caratteristico in funzione dell'angolo di incidenza.

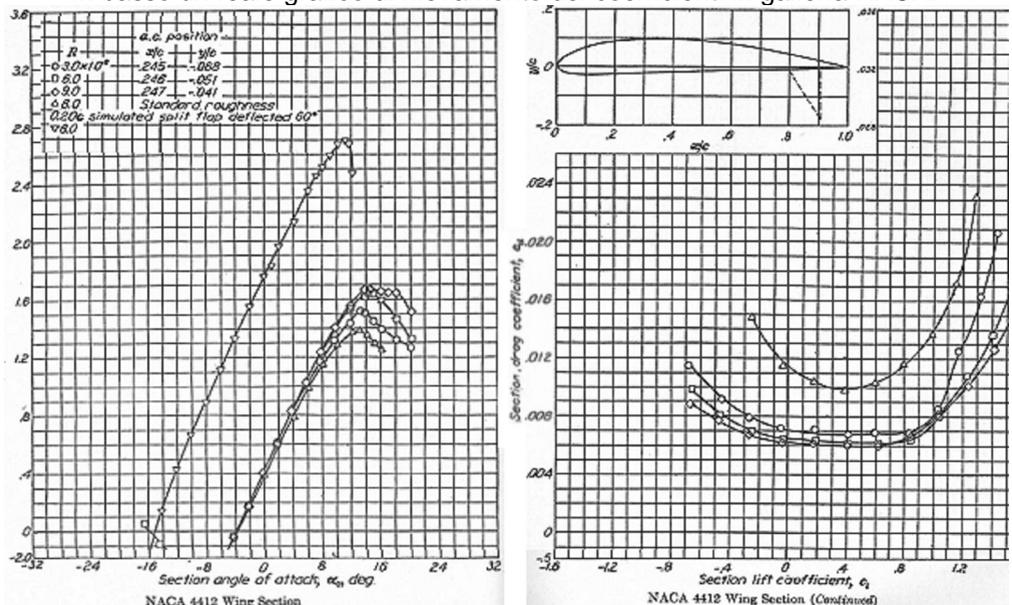


Questi grafici sono tipici e rappresentano la variazione del Cp e del Cr in funzione di α . Osserviamo in generale come all'aumentare dell'incidenza i coefficienti varino in modo molto diverso:

il coefficiente di portanza, aumenta quasi linearmente con l'aumento di incidenza, per poi calare bruscamente ad un valore generalmente compreso tra 12° e 15°. L'incidenza alla quale avviene il brusco calo di portanza si chiama "**incidenza di stallo**".

Il coefficiente di resistenza aumenta in modo diverso, con modeste variazioni per bassi angoli di incidenza e con un brusco aumento in prossimità dell'incidenza di stallo.

In basso un reale grafico di rilevamento dei coefficienti in galleria NACA.



Osservazione dei fenomeni aerodinamici sul profilo alare.

La spiegazione del comportamento delle forze aerodinamiche é associabile ai fenomeni osservabili in una galleria a fumo, o una più piccola galleria idrodinamica: con questi dispositivi é possibile vedere il comportamento dell'aria intorno ad un profilo. Nella immagine sottostante vediamo come, con valori di incidenza negativi o prossimi a zero, l'aria (visualizzata con dei **"filetti fluidi"** più chiari) lambisce il dorso ed il ventre del profilo, in maniera ordinata. I vari filetti fluidi rimangono paralleli gli uni agli altri ed in questo caso *il moto si dice "laminare"*.



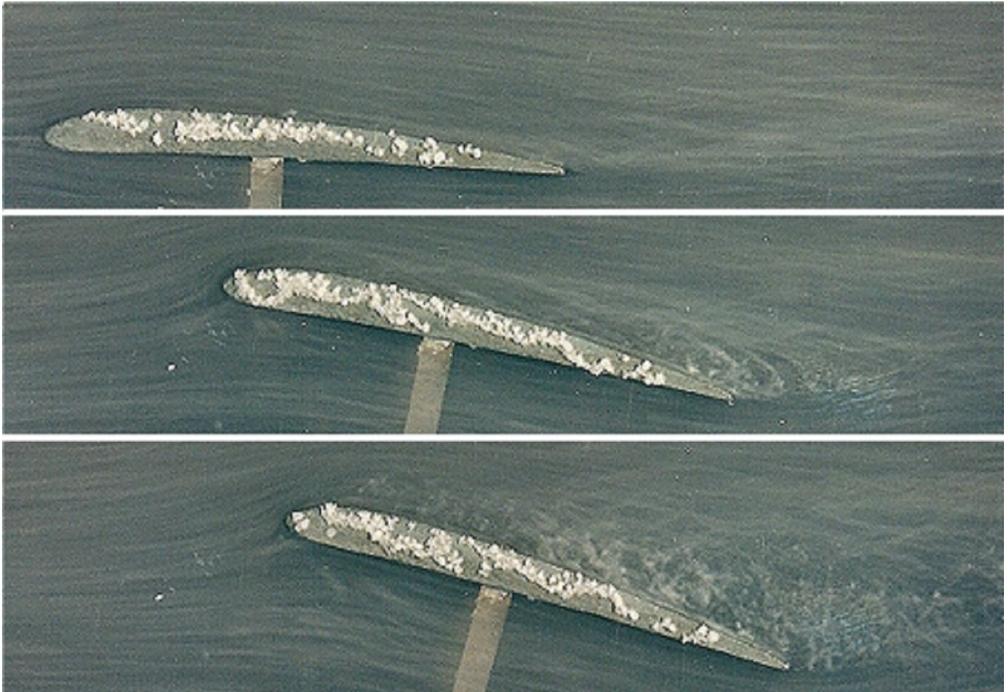
Quando l'incidenza aumenta (immagine seguente) a partire dal bordo di uscita si nota il progressivo distacco dei filetti fluidi sul dorso del profilo. I filetti fluidi appaiono disturbati creando ondulazioni e piccoli vortici in continuo cambiamento. Si crea una zona nella quale *il moto si dice "turbolento"*.



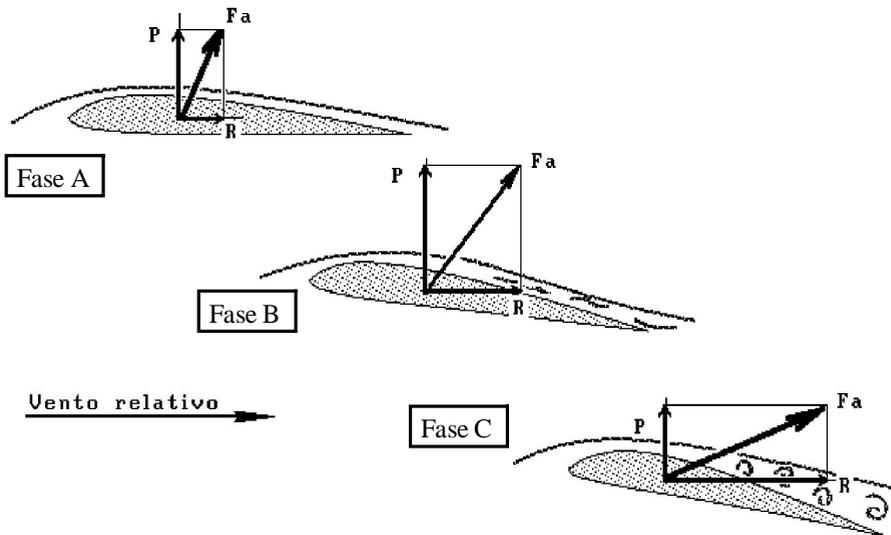
L'ultima immagine é relativa all'incidenza di stallo. All'ulteriore aumento di incidenza corrisponde un aumento incontrollato della turbolenza che arriva quasi al 30-40% della corda. Sul dorso i filetti fluidi assumono un andamento vorticoso e la zona turbolenta dopo il bordo di uscita sembra richiamare filetti fluidi anche dal ventre. Il moto si dice "vorticoso" ed é caratterizzato da una considerevole scia turbolenta.



Cambiamo il tipo di profilo e notiamo lo stesso comportamento dei filetti fluidi:



Per un qualsiasi profilo alare, possiamo così sintetizzare quanto visto:



Fase A

Per bassi valori dell'angolo di incidenza e a velocità costante, i filetti fluidi rimangono aderenti al profilo e la forza aerodinamica aumenta con l'incidenza mantenendosi prevalentemente verso l'alto.

La portanza è maggiore della resistenza e la forza aerodinamica aumenta cambiando di poco la sua direzione.

Fase B

Per valori di incidenza più alti ed il conseguente ingrandirsi dei vortici di scia, la forza aerodinamica tende a orientarsi con la direzione del vento relativo, aumentando la sua componente resistente e diminuendo quella portante.

La turbolenza che si genera sul bordo di uscita, incrementa quindi la resistenza aerodinamica, provocando una inclinazione della forza aerodinamica verso la parte posteriore.

Fase C

Quando sul dorso il flusso aerodinamico è compromesso dalla situazione di stallo, la forza aerodinamica diviene quasi totalmente resistente e la componente portante subisce una drastica riduzione.

I vortici sul dorso distruggono le condizioni che permettevano al profilo di generare portanza, siamo in una situazione denominata *stallo aerodinamico*.

Variazione dei coefficienti aerodinamici con il tipo di profilo.

Il comportamento della C_p è comune a tutti i profili, ma c'è una differenza tra i vari profili che abbiamo studiato? Sì. Risulta evidente se confrontiamo l'andamento del coefficiente di portanza con l'incidenza, per tre profili caratteristici:

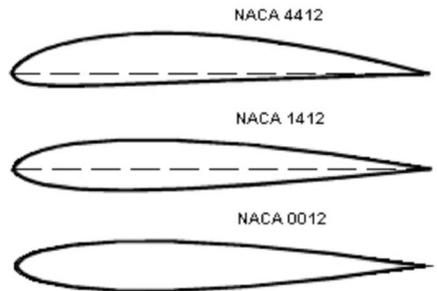
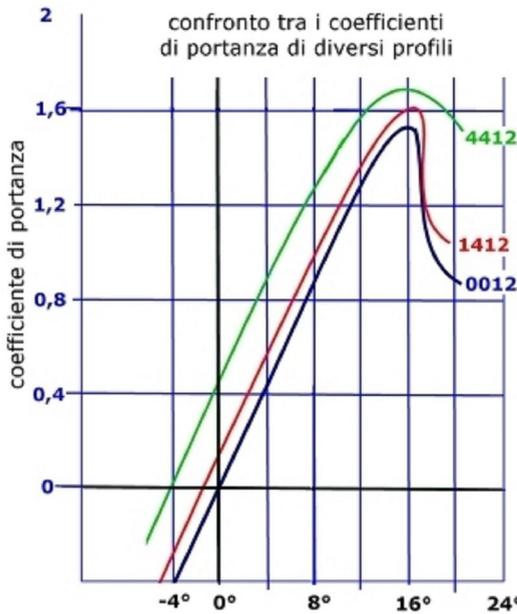
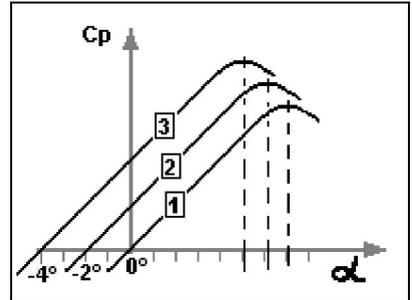
- 1) Profilo biconvesso simmetrico
- 2) Profilo biconvesso asimmetrico
- 3) Profilo concavo convesso

I grafici hanno quasi lo stesso andamento ma incrociano l'asse orizzontale in punti differenti. Questi punti rappresentano l'incidenza di portanza nulla di ogni profilo, perché ivi il $C_p = 0$ e così pure la portanza.

In particolare notiamo che il profilo simmetrico non sviluppa portanza all'incidenza di zero gradi mentre gli altri profili sviluppano portanza anche a valori di incidenza negativi.

La capacità di sviluppare portanza aumenta con la curvatura del profilo e (a parità di incidenza, condizioni e spessore relativo e per bassi valori di inarcamento) un profilo concavo-convesso tende a sviluppare una maggiore portanza rispetto ad un profilo biconvesso, ma offre comunque una maggiore resistenza aerodinamica.

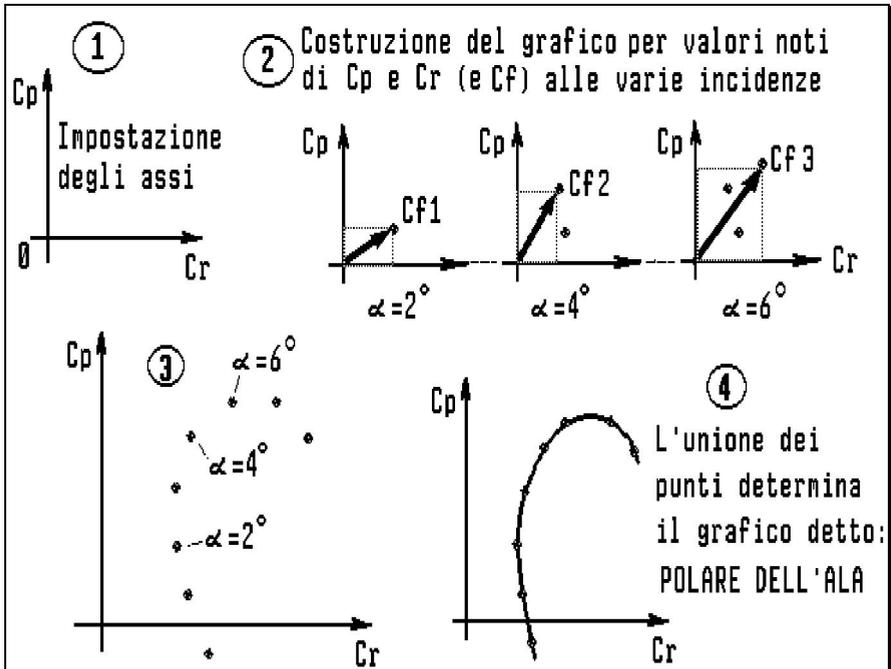
la scelta del profilo dovrà quindi essere un compromesso tra C_p e C_r a seconda delle prestazioni richieste al velivolo.



Dati reali di prove in galleria eseguite dalla NACA

Polare dell'ala ed efficienza aerodinamica

Rappresentiamo ora la variazione del coefficiente di Fa su di un grafico nel quale metteremo in ascissa il C_r ed in ordinata il C_p : per ogni angolo di incidenza tracciamo un punto sull'estremo del segmento che rappresenta C_f (utilizziamo i relativi valori di C_p e C_r rilevati in galleria del vento).



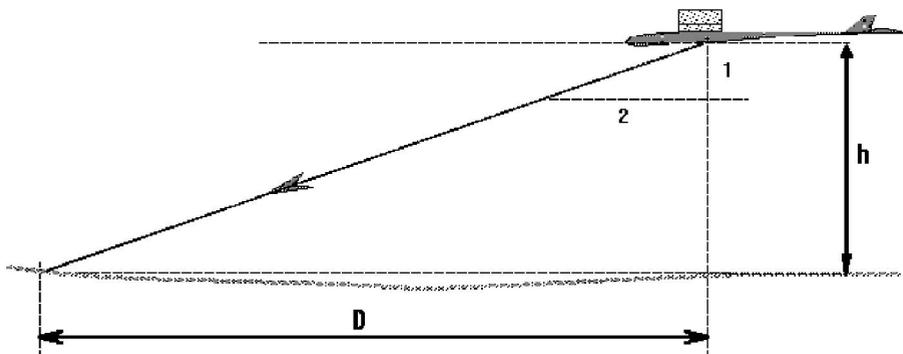
L'unione di questi punti determina un grafico che prende il nome di **Polare dell'ala**.

Questo grafico é molto importante perché fornisce e rappresenta il compromesso tra la portanza e la resistenza sviluppati dal profilo per ogni valore di incidenza. Questa grandezza gioca un ruolo determinante nella planata del modello e di qualsiasi aereo.

Per comprendere meglio il significato di questo grafico, riprendiamo in esame le prove effettuate con il modello e fissiamo le idee sul disegno che segue.

A questo punto intruciamo una nuova grandezza:

definiamo la distanza percorsa in volo planato per ogni metro di quota perso, con il nome di **Efficienza (E)**.



Esempio: $h = 4$ metri $D = 8$ metri $E = \frac{D}{h} = \frac{8}{4} = 2$ **Efficienza = 2**

L'efficienza (**E**) viene espressa da un numero puro e si calcola con il rapporto tra la distanza percorsa (**D**) e la quota perduta in volo planato (**h**).

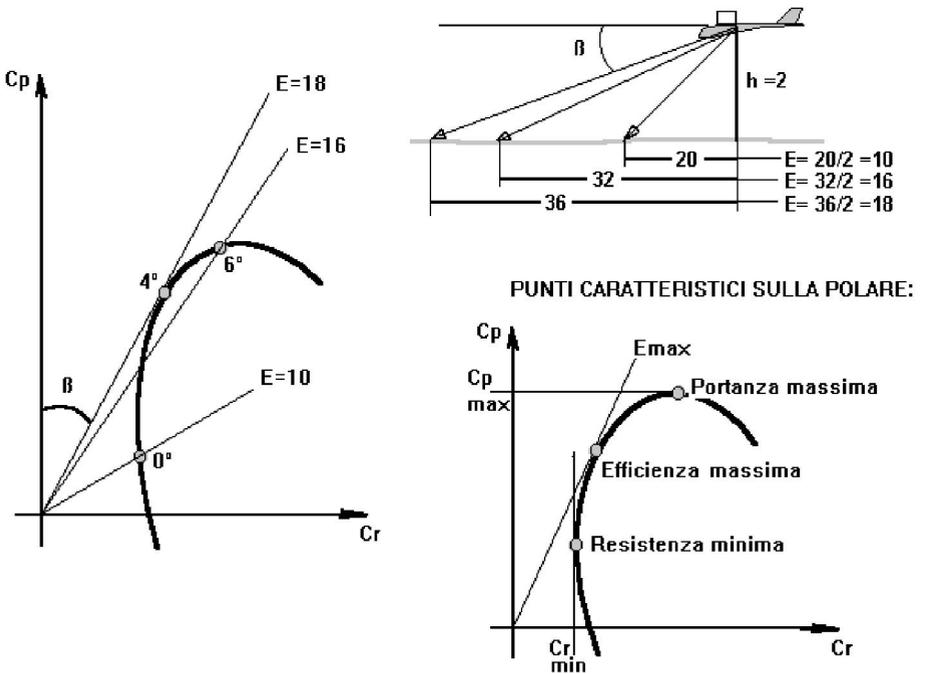
Esprime la capacità di planata di un aereo in termini di distanza.

Supponiamo per semplicità che il calettamento alare coincida con l'incidenza aerodinamica e che le nostre prove abbiano dato questo tipo di risultati medi **lanciando il modello da due metri di altezza:**

Altezza di lancio $h = 2$ metri			
Incidenza	Distanza media D	Efficienza E	Tempo di volo
0°	20 metri	10	4 secondi
4° (di progetto)	36 metri	18	7 secondi
6°	32 metri	16	8 secondi

Le tre condizioni di volo, sono rappresentabili sulla polare dell'ala con altrettanti punti.

La condizione di efficienza massima (planata di 36 metri) corrisponde all'incidenza di 4° e coincide con il punto in cui una retta tracciata dall'origine è tangente alla curva.



Con incidenza 4° (planata di 36 metri) la direzione di questa linea tangente alla curva è uguale a quella della forza aerodinamica e coincide con la direzione per cui l'angolo β è minimo e minimo è quindi anche l'angolo di discesa del modello. In questa condizione la forza aerodinamica è orientata maggiormente verso la direzione della portanza determinando così la planata più lunga.

Con l'uso della trigonometria si dimostra che su un grafico di questo tipo, il punto di tangenza alla polare (angolo β minimo) coincide con il massimo valore possibile del rapporto tra C_p e C_r e con il valore numerico dell'efficienza massima.

Con incidenza 0° (planata di 20 metri) la resistenza è prossima a quella minima ma la portanza è troppo bassa; il modello scende rapidamente su una traiettoria molto inclinata.

Con incidenza 6° (planata di 32 metri) la portanza è più alta dei casi precedenti ed il modello vola per un tempo maggiore; la resistenza però è tale da compromettere ugualmente la distanza di planata.

L'efficienza oltre ad avere il significato pratico ora descritto, assume anche un significato tipicamente aerodinamico che si esprime come segue :

l'efficienza é la distanza, in metri, percorsa in volo planato per ogni metro di quota perduto ed é pari al rapporto tra il coefficiente di portanza ed il coefficiente di resistenza.

In formule:

$$E = D / H = C_p / C_r$$

In termini più generali l'efficienza aerodinamica è il rapporto tra quanto un profilo alare (o un aereo) è in grado di *dare* (ad esempio in termini di capacità di sostentamento o distanza percorsa) *in rapporto a quanto richiede a livello energetico* (ad esempio in termini di quota perduta).

ESERCITAZIONI PRATICHE SULLA VARIAZIONE DELLE GRANDEZZE AERODINAMICHE:

Per attuire gli urti di queste prove portiamoci su un campo di volo con erba alta almeno 50 cm.

Variazione della portanza con la velocità di volo e la superficie alare

- 1) Centrate il modello per una planata corretta ed effettuare qualche lancio di prova per assicurarsi che il modello non viri in planata (eventualmente per le correzioni dotare le ali di piccoli alettoni fissati con il nastro adesivo o dotare il direzionale di un timone).
- 2) Lanciate il modello con forza sempre crescente, *ma sempre sulla stessa traiettoria*, imprimendogli una velocità iniziale sempre maggiore.
- 3) Osservate come all'aumentare della velocità il modello tenda sempre più ad alzare il muso nella prima fase del lancio, per poi stabilizzarsi più o meno rapidamente sulla normale velocità e traiettoria di planata. Come varia la distanza percorsa ?
- 4) Consideriamo con attenzione le prove proposte a pagina 81 dove abbiamo aumentato la superficie e la curvatura del profilo alare.

osservazioni:

- a) l'aumento della velocità di lancio tende a far cabrare il modello perché vi è un marcato aumento di portanza sull'ala rispetto allo stabilizzatore, anche a causa della maggiore superficie.
- b) il modello *tende* comunque a recuperare la normale velocità di planata (si vedano in seguito quali sono le condizioni di equilibrio del volo in planata).
- c) nel volo con le strisce aggiuntive di balsa abbiamo dotato l'ala di "flap fissi", il modello se nuovamente centrato, tenderà a volare più lentamente a causa dell'aumento di superficie alare e relativa portanza sviluppata.

Osservazione dello stallo.

- 1) Centrate correttamente il modello
- 2) Diminuite il calettamento del piano di coda (inserendo uno spessore di balsa da 2 o 3 millimetri sotto il bordo di uscita dello stabilizzatore) e lanciate normalmente il modello.
- 3) Osservate come la diminuzione di portanza sul piano di coda, porta il modello a cabrare in modo deciso e poi a cadere bruscamente con il muso verso il basso.

osservazioni:

- a) la diminuzione di incidenza sullo stabilizzatore ha portato una diminuzione di portanza in coda
- b) il modello non più bilanciato aumenta il suo angolo di assetto diminuendo la velocità e portando l'ala fino all'incidenza di stallo
- c) quando sopravviene lo stallo la portanza cala bruscamente e di conseguenza l'assetto del modello varia altrettanto bruscamente fino alla caduta.

Variazione della portanza con il tipo di profilo

- 1) Utilizzando lo stesso progetto del nostro modello, costruite un'ala di dimensioni uguali a quella di cui già disponete, ma con un profilo diverso. Utilizzate le tabelle dei profili allegate scegliendo un profilo con curvatura molto diversa da quella dell'ala che avete già costruito, (ridisegnate la centina per le dimensioni necessarie e realizzatele come descritto nel capitolo "costruzione dell'ala centinata")

- 2) Usando prima un'ala e poi un'altra, fate le prove descritte all'inizio di questo capitolo limitandovi magari alle planate con un solo calettamento alare; verificate quanto detto sulle caratteristiche dei diversi profili a seconda della loro curvatura.

osservazioni:

all'aumentare della curvatura del profilo il modello diventa più lento e tende a volare per un tempo maggiore a causa dell'aumento del coefficiente di portanza

Influenza del peso sulla planata.

- 1) Centrate correttamente il modello e fate dei lanci misurando tempi e distanze percorse
- 2) Aggiungete delle piastrine di piombo una per volta (10 gr. ciascuna), attaccandole con del nastro adesivo sul baricentro in fusoliera.
- 3) Fate dei lanci aumentando di volta in volta il numero delle piastrine sul baricentro e registrate tempi e distanze percorse notando come all'aumentare del peso sia necessario lanciare il modello con energia sempre crescente.

osservazioni:

- a) all'aumentare del peso la distanza percorsa rimane pressoché invariata mentre si riducono drasticamente i tempi di volo. Questo significa che il modello ha sempre la stessa efficienza, quindi lo stesso angolo di planata, ma una velocità maggiore.
- b) l'aumento di velocità all'aumentare graduale del peso si nota anche nel momento del lancio perché il modello deve essere lanciato con una forza sempre maggiore.
Il modello necessita infatti di maggiore portanza ed essendo costanti la superficie, il profilo alare e la sua incidenza (calettamento e traiettoria invariati) la velocità è l'unica variabile che può incrementare la portanza.

L'efficienza non è quindi influenzata dal peso del velivolo, il peso influenza invece la velocità di volo.

Il peso di un aereo in rapporto alla sua superficie alare è una grandezza estremamente significativa per la velocità di volo e prende il nome di **carico alare**.

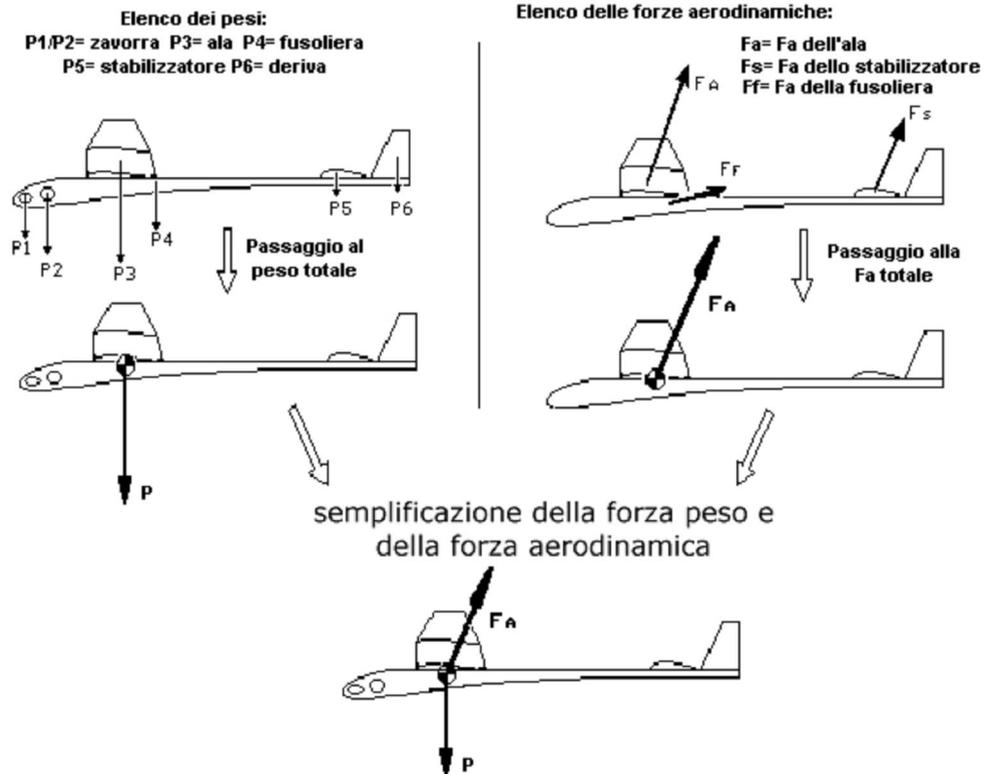
Le esperienze sul campo di volo e quanto visto fino ad ora nella teoria, sembrano dirci che il modello ha delle condizioni di equilibrio cui tende sempre a tornare. Se proviamo a cambiare qualche elemento fondamentale di questo equilibrio, il modello reagisce cambiando il suo modo di volare.

Vedremo ora quali sono le condizioni di equilibrio per un aereo che stia volando con moto uniforme sulle traiettorie più caratteristiche.

In questo caso faremo alcune approssimazioni:

consideriamo tutte le forze applicate all'aereo in volo, come applicate ad un solo punto: il baricentro.

Così mentre il peso è la somma dei pesi di tutte le componenti del velivolo, la forza aerodinamica che consideriamo è la somma delle forze aerodinamiche generate separatamente da tutte le superfici e sarà anch'essa applicata al baricentro.



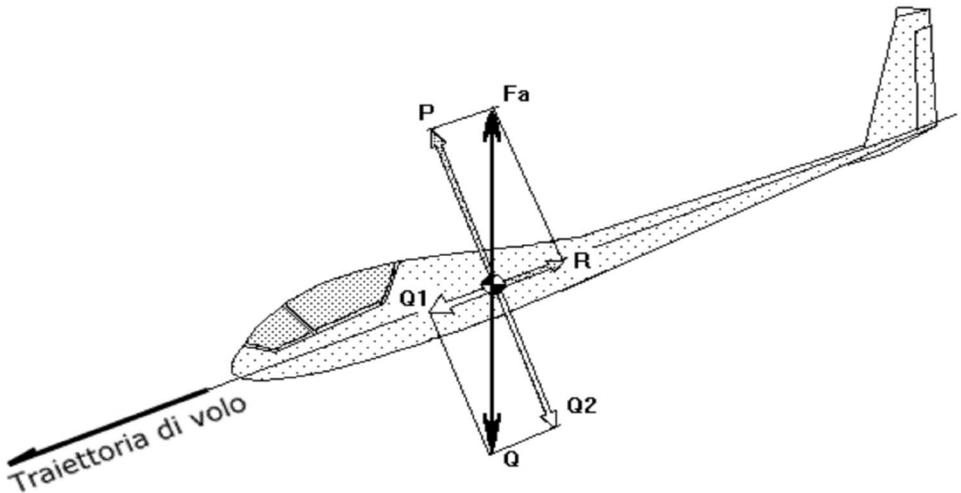
L'ultima immagine metterebbe in evidenza un certo squilibrio nelle forze in gioco. In realtà vediamo di seguito come si verifica l'equilibrio delle forze per le più semplici condizioni di volo.

CONDIZIONI DI EQUILIBRIO DELLE FORZE PER UN AEREO SU DIVERSE TRAIETTORIE DI VOLO

Volo librato (discesa senza motore)

Il nostro modello di aliante vola per lo più su traiettorie in discesa e a velocità costante. Escludendo il momento del lancio, notiamo che un modello centrato correttamente tende a seguire la sua traiettoria (in funzione dell'efficienza aerodinamica) senza avere bisogno di ulteriori interventi esterni.

Utilizzando il disegno seguente vediamo quali sono le forze in gioco; si consideri che l'aliante si muove lungo una traiettoria in discesa ed è naturalmente soggetto a due forze che per semplicità immaginiamo applicate al baricentro. Le forze in questione sono il peso **Q** dell'aereo (diretto verticalmente verso il basso) e la forza aerodinamica **Fa**.



Il peso **Q** dell'aliante si scompone lungo la traiettoria e la sua perpendicolare passante per il baricentro.

La componente perpendicolare alla traiettoria (**Q2**) viene equilibrata dalla portanza (**P**) consentendo al velivolo di rimanere sulla traiettoria stessa.

La componente sulla traiettoria (**Q1**) determina la trazione necessaria al movimento ed equilibra la resistenza aerodinamica (**R**), questo equilibrio consente una velocità costante.

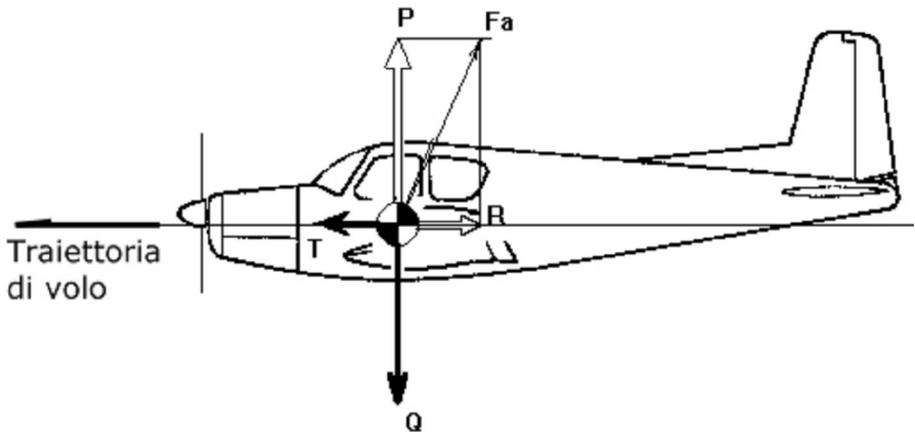
Si deduce che nel volo in discesa la portanza è inferiore al peso dell'aereo mentre la velocità è assicurata dalla componente del peso lungo la traiettoria.

L'aliante non è in grado di rimanere in quota, né di rimanervi, perché le forze in gioco non glielo consentono, scende come una sfera su un piano inclinato.

Sappiamo comunque che i nostri modelli (come i veri alianti) possono salire o rimanere a quota costante dopo il lancio. Questo fenomeno si spiega perché, a differenza di tutti i ragionamenti fatti fino ad ora, relativi ad un aereo che si muove nell'aria considerata ferma, l'aereo non vola in un'atmosfera ferma. Un aliante può salire sfruttando venti e correnti atmosferiche ascensionali.

Considerando per ora l'aria ancora ferma, vediamo le condizioni necessarie per il volo a quota costante e per il volo in salita.

Volo livellato (a quota e velocità costanti)



Consideriamo un aereo in volo su una traiettoria orizzontale a velocità costante. Questo velivolo è soggetto alla nota forza peso nonché alla forza aerodinamica.

La portanza assicura il sostentamento dell'aereo ed il mantenimento della traiettoria mentre equilibra il peso ($P=Q$); la resistenza aerodinamica deve essere bilanciata da una forza T che chiameremo **trazione**.

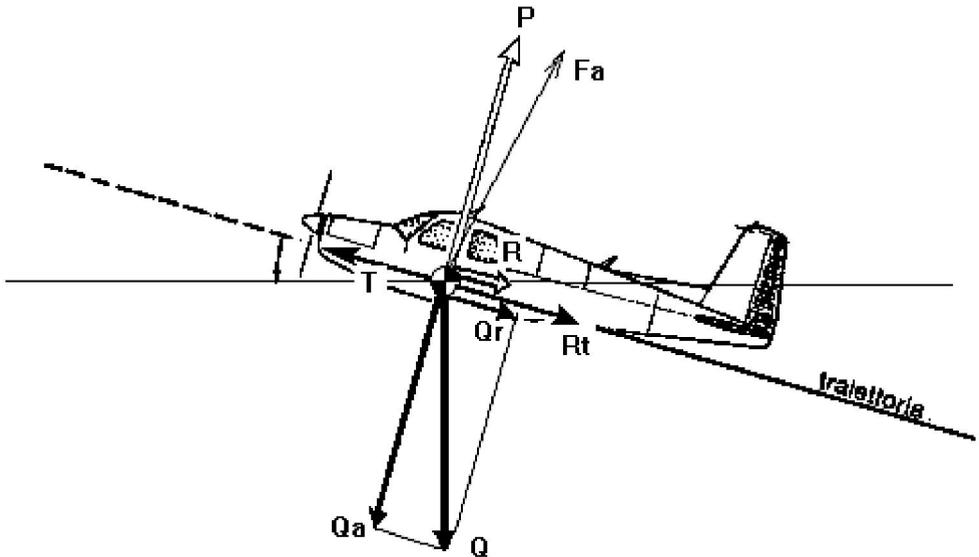
Ne segue che *un qualsiasi velivolo per volare a quota costante, deve disporre di un apparato motopropulsore che fornisca la trazione necessaria a bilanciare la resistenza aerodinamica.*

Ecco allora introdotta e spiegata la necessità della propulsione per realizzare un volo controllato che non sia solo in discesa.

Scopriremo inoltre che è proprio l'entità della trazione che determinerà la possibilità di salita dell'aereo.

Volo in salita (velocità e traiettoria costanti)

Nel volo in salita la necessità di un apparato motopropulsore diventa ancora più evidente. Il peso si scompone lungo la traiettoria ed una sua perpendicolare, la sua componente perpendicolare alla traiettoria deve essere bilanciata dalla portanza, mentre la componente parallela alla traiettoria va a sommarsi alla resistenza aerodinamica.



Ne segue che la trazione stavolta deve bilanciare la somma di resistenza R e componente del peso Q_r , mentre la portanza deve bilanciare una sola componente del peso.

Nella salita a velocità e traiettoria costante, la portanza è quindi inferiore a quella necessaria per il volo orizzontale mentre la traiettoria in salita è assicurata dall'aumento della trazione.

Quanto descritto appare in prima battuta anti intuitivo, ma è la verità. La salita a velocità costante si ottiene grazie ad un aumento della trazione e non aumentando la portanza.

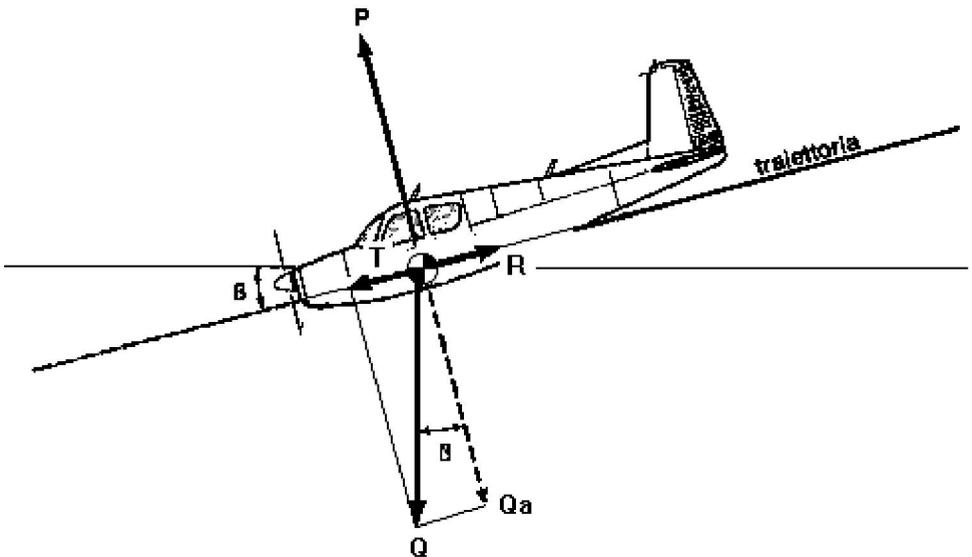
Volo in discesa (assistito dal motore)

Il volo in discesa differisce dal volo librato, solo per la presenza del motopropulsore che consente il controllo dell'angolo di planata.

La scomposizione delle forze é infatti identica al volo librato.

La resistenza aerodinamica di un velivolo a motore é normalmente più elevata di quella dell'aliante. Questo comporta una diminuzione di efficienza e un aumento dell'angolo di planata (l'aereo a motore spento per mantenere una accettabile velocità dovrebbe aumentare la sua inclinazione, per disporre di una sufficiente componente del peso lungo la traiettoria).

La presenza del propulsore consente di bilanciare la resistenza aerodinamica su qualsiasi traiettoria in discesa.



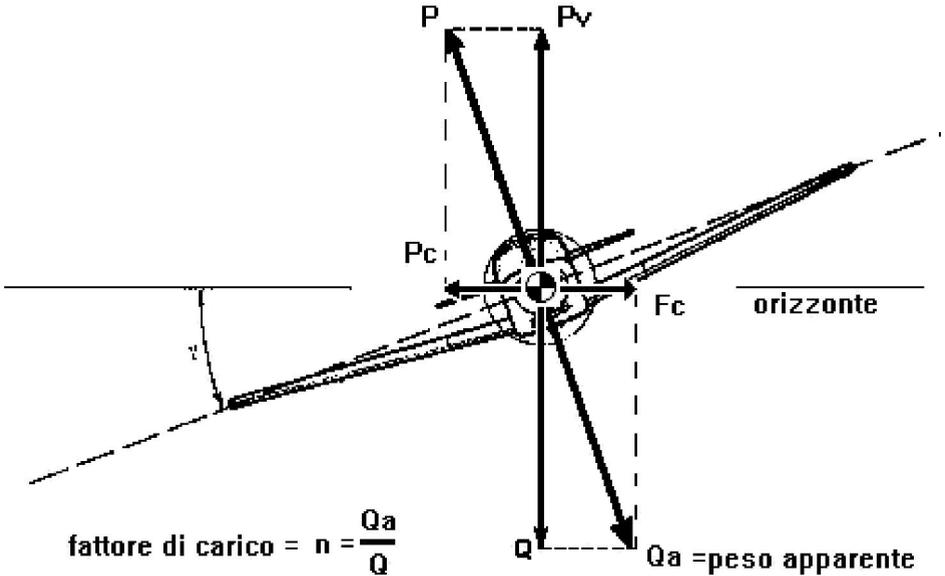
Nella discesa assistita da motopropulsore la trazione é inferiore a quella necessaria per il volo orizzontale, mentre il compromesso, scelto dal pilota, tra l'assetto di volo e la trazione del propulsore, determina l'angolo di discesa sulla traiettoria.

La virata corretta il peso apparente ed il fattore di carico

Quando un aereo viene fatto ruotare attorno all'asse longitudinale e l'asse trasversale rimane inclinato rispetto all'orizzonte, la portanza si trova ad essere inclinata di un pari angolo rispetto alla verticale.

In queste condizioni la portanza si scompone sulla verticale e sul piano orizzontale.

La componente verticale si trova a contrastare il peso mentre la componente orizzontale diviene la forza centripeta P_c , che determina il moto circolare di virata dell'aereo.



Nel momento in cui l'aereo entra in virata, nasce anche la forza centrifuga F_c . La portanza ora non deve più equilibrare solamente il peso ma anche la forza centrifuga tipica del moto circolare.

Il **peso apparente** cui è soggetto l'aereo durante questa manovra è uguale alla somma del peso reale Q e della forza centrifuga F_c , ed è la forza reale cui sono sottoposti il pilota e la struttura dell'aereo durante una virata o una richiamata.

Si consideri che con una inclinazione laterale di 60° , il peso apparente è pari a al doppio del peso normale.

Durante una virata è quindi necessario incrementare la portanza totale per equilibrare il peso apparente, aumentando l'incidenza o la velocità dell'aereo.

Il rapporto tra peso apparente e il peso reale prende il nome di **fattore di carico**.

COMANDI DI VOLO E MANOVRE FONDAMENTALI

I movimenti fondamentali di beccheggio, rollio ed imbardata, già accennati nel capitolo “assi e movimenti fondamentali”, vengono ora ripresi e meglio spiegati in funzione del movimento delle superfici di comando.

Le traiettorie fondamentali viste fino ad ora si ottengono agendo simultaneamente sui comandi di volo (che modificano l’assetto) e sui comandi del motore (che varia la trazione o la spinta). Le evoluzioni di un aereo e le traiettorie percorse sono quindi il risultato di uno o più di questi movimenti fondamentali.

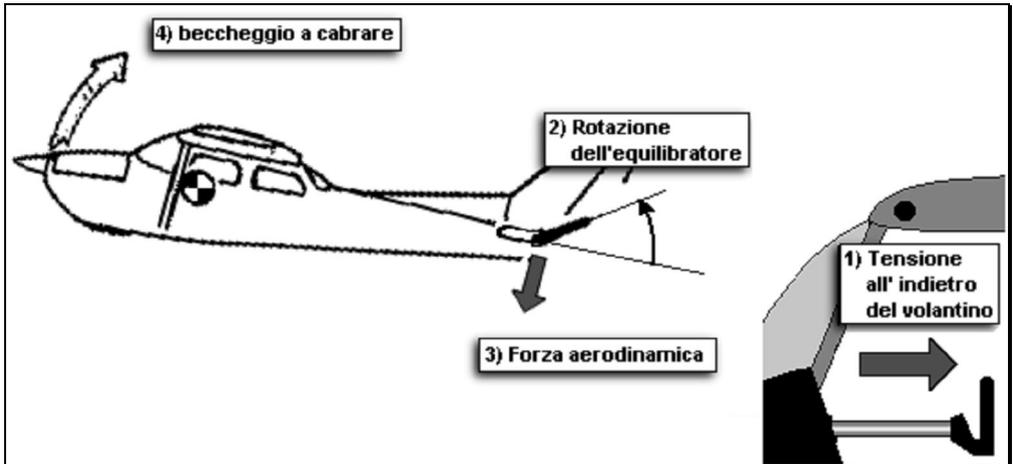
In cabina di pilotaggio si incontrano i seguenti comandi di volo:

- barra o volantino, collegata/o all’equilibratore e agli alettoni,
- pedaliera collegata al timone.

MOVIMENTO DI BECCHEGGIO

Il beccheggio dell’aereo è ottenuto grazie al movimento dell’equilibratore.

Una pressione in avanti sul volantino corrisponde ad un abbassamento dell’equilibratore e viceversa, tirare indietro il volantino coincide con il sollevare l’equilibratore.



Il sollevamento dell’equilibratore cambia il profilo del piano di coda che diviene così “deportante” e sviluppa una forza che fa ruotare l’aeromobile attorno all’asse laterale, provocando il sollevamento della prua.

La traiettoria complessiva che si viene a creare viene denominata **cabrata**; se la cabrata viene protratta senza un adeguato aumento di trazione, l’aeromobile può assumere assetti e velocità che portano rapidamente allo stallo.

L’abbassamento dell’equilibratore provoca un aumento di portanza in coda con un conseguente abbassamento della prua ed una traiettoria di volo che prende il nome di **picchiata**.

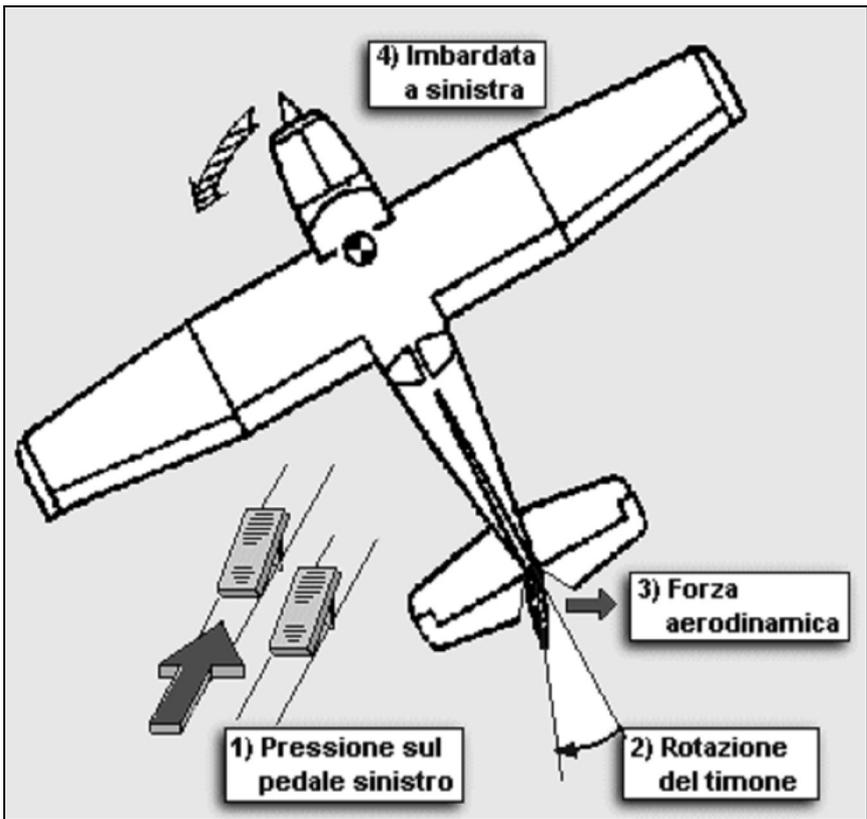
Il velivolo mantiene l'assetto raggiunto con la picchiata o la cabrata, fino a quando viene mantenuta la pressione sui comandi e la relativa posizione dell'equilibratore.

MOVIMENTO DI IMBARDATA

La rotazione intorno all'asse verticale si ottiene con il movimento del timone.

Una pressione con il piede sinistro sulla pedaliera, coincide con la rotazione verso sinistra del timone (viceversa per una pressione con il piede destro).

Osservando l'aereo dall'alto, notiamo come la rotazione verso sinistra del timone, cambi il profilo del piano di coda verticale in modo da generare una forza aerodinamica verso destra, la conseguente rotazione intorno all'asse verticale è di imbardata a sinistra. La traiettoria che ne consegue è una lenta "virata piatta". Una imbardata protratta nel tempo genera anche un rollio a causa della differente velocità periferica delle estremità alari.



Il fenomeno si interrompe centralizzando la pedaliera.

MOVIMENTO DI ROLLIO

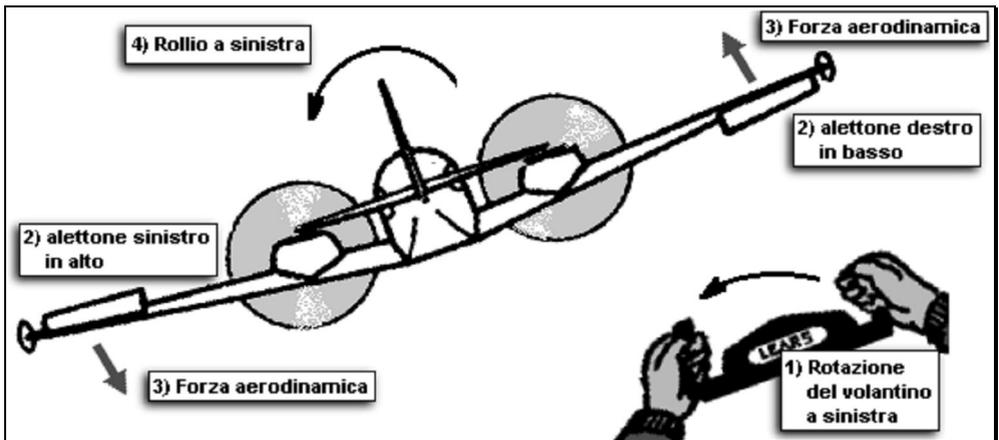
Il rollio si ottiene con il movimento degli alettoni.

La rotazione del volantino verso sinistra porta l'alettone sinistro ad alzarsi e il destro ad abbassarsi.

Analogamente a quanto visto fino ad ora, il movimento delle superfici sul bordo di uscita dell'ala, provoca una variazione di curvatura del profilo ed una conseguente variazione di portanza.

Con la rotazione del volantino verso sinistra, ad esempio, l'alettone di sinistra si alza e riduce la portanza della semiala, mentre l'alettone di destra si abbassa e incrementa la portanza a destra. Ne consegue una rotazione attorno all'asse longitudinale che si arresterà solo quando gli alettoni verranno riportati in posizione centrale.

In questo modo il pilota inclina l'aereo quanto desiderato per iniziare la manovra di virata precedentemente vista.



A virata conclusa, il pilota dovrà indurre un nuovo rollio in senso opposto al precedente, per riportare le ali parallele al piano orizzontale.

Ricordiamo che durante la virata il pilota dovrà incrementare la potenza motore come visto precedentemente

STABILITA' E MANOVRABILITÀ'

L'aereo reagisce al movimento delle superfici di comando, più o meno rapidamente in funzione della sua *manovrabilità*.

Un a/m si dice molto manovrabile quando le manovre fondamentali di rollio, imbardata e beccheggio possono essere svolte rapidamente e con piccoli movimenti sulla barra di comando.

La manovrabilità è quindi affidata ad una accurata progettazione dell'equilibratore, degli alettoni e del timone, oltre che dell'a/m nel suo insieme.

La capacità dell'aereo di reagire autonomamente, a eventuali turbolenze o raffiche di vento che lo spostano dalla sua condizione di equilibrio, (senza intervento sui comandi da parte del pilota) si chiama *stabilità*.

Questa capacità di tornare alla condizione iniziale di volo è affidata alle superfici fisse dei piani di coda (deriva e stabilizzatore) e alla stessa ala in funzione della sua forma (diedro e freccia) nonché della sua posizione sull'asse verticale rispetto al baricentro (ala alta media o bassa).

Un aereo è molto stabile quando, senza intervento da parte del pilota, tende rapidamente a tornare nella posizione di equilibrio iniziale se da questa spostato da cause esterne.

In sintesi:

la manovrabilità permette all'aereo di compiere le varie "evoluzioni" nel modo più rapido, la stabilità gli permette di volare senza intervento del pilota.

Per loro natura, queste due caratteristiche sono opposte e richiedono una impostazione di progetto completamente diversa; il progetto finale rispecchia quasi sempre un loro compromesso.

BIBLIOGRAFIA

- Kanneworff** Elementi di aeromodellismo
- Gribaudo** Modelli volanti
- Abbott**
Doenhoff Theory of wing sections
- Lardinelli** Aerotecnica
- Angelucci**
Matricardi Aerei da combattimento
- Autori vari** Enciclopedia "Storia dell'aviazione"
Autori vari Rivista "Modellistica"
- Autori vari** The Flier's Handbook

RINGRAZIAMENTI

Il primo ringraziamento lo devo alla buonanima di Saba Nicolino, assistente di laboratorio negli anni d'oro dell'Istituto Tecnico Aeronautico. Burbero e simpatico, aveva l'aeromodellismo nel sangue e ci credeva. Credeva che l'insegnamento dell'aeromodellismo, fatto in modo professionale, potesse fare la differenza e per me è stato così !

Sono cresciuto con la passione per ciò che vola e la mia vita ne è stata intessuta.

Il modo professionale di affrontare qualsiasi cosa per me viene dal volo; Nicolino è stato il primo e forse l'unico che mi ha sempre spronato a "volere di più" a non accontentarmi di quel che avevo fatto, sapendo che potevo fare meglio. Ancora oggi uso con successo alcune sue battute a riprova di quanto il suo "modus operandi" fosse vero e ancora attuale. Ciao Nicolino e grazie !

La seconda edizione cartacea di questo testo è stata riveduta e corretta grazie a: Giorgio Lucarelli, Maurizio Mauri, Mauro Baldi, e Luciano Siccardi, anche a loro vanno i miei più vivi ringraziamenti.

Grazie ai preziosi consigli di questi colleghi ho potuto rimettere mano alla prima edizione di questo testo, correggendolo nelle inesattezze e arricchendolo in quanto a definizioni, immagini ed elementi di cultura aeronautica.

Al tempo dell'edizione elettronica 2012 di questo testo, un grazie particolare lo devo al prof. Fabrizio Batocchi. Collega e Amico.

Mi ha sostenuto e accompagnato negli anni di insegnamento vissuti insieme; credendo nei progetti e nelle attività che ogni anno abbiamo avviato.

Mi ha consigliato ed affiancato in tutte le attività aeromodellistiche ed aeronautiche che mi venivano in mente per offrire agli studenti "qualcosa di più". Anche quando il contatto con certi ambienti non gli era congeniale e talvolta insopportabile è rimasto al mio fianco.

Una colonna e un'amicizia sulla quale mi sono potuto poggiare e senza la quale poco di quanto realizzato, sarebbe stato possibile.

Massimo Bevilacqua