

Progetto e disegno di una centina e della sua parte centrale

Testo della relazione :

Un aereo da turismo con ala rettangolare (allungamento $l = 7$, superficie alare $S = 16 \text{ m}^2$) utilizza per l'ala un profilo NACA 23018 di cui si riportano in tabella i valori caratteristici .

Disponendo opportunamente gli elementi resistenti e di forma eseguire il disegno di insieme di una sezione tipo di tale ala dando con criterio le dimensioni ai vari componenti .

Per la parte centrale della centina eseguire poi il disegno di definizione e illustrare le varie fasi di lavorazione per la sua realizzazione .

Introduzione

Questa relazione è antecedente all'ultima fase della progettazione di un'ala dove, tenendo conto dei carichi massimi e delle sollecitazioni dovute alle manovre, si cercherà di dimensionare gli elementi resistenti in base alle scelte e ai calcoli eseguiti in questa relazione.

Inizieremo analizzando i dati in nostro possesso e, servendoci di questi, trarre alcune conclusioni utili per il progetto dell'ala successivamente eseguiremo alcune scelte per la costruzione e per le fasi di lavorazione dell'ala.

La relazione comprende anche il disegno di una centina e il relativo sviluppo della parte centrale, correlato di un ingrandimento della soletta del longherone.

Elementi costruttivi

Per la progettazione di un velivolo è essenziale conoscere quali sono i principali elementi che compongono le superfici portanti, poiché solo in base ad un corretto dimensionamento di questi dipende la possibilità di renderlo operativo in completa sicurezza.

Trascurando per ora la scelta del materiale ci limitiamo a dividere gli elementi costruttivi in elementi metallici e elementi legnosi, ricordando che recentemente sono stati introdotti, per alcuni tipi di elementi costruttivi, particolari materiali definiti compositi che, garantendo ottima resistenza permettono di guadagnare molto dal punto di vista del peso del velivolo, mentre per la costruzione di alianti si è recentemente scoperto un materiale a base di resina poliammidica cristallizzata, (in pratica una struttura geodetica costituita da tensori) ma il principale difetto di questi materiali, a detta di molti costruttori, per lo più specificati "amatoriali", è costituito dalla difficoltà di lavorazione e dall'elevato prezzo che questi raggiungono.

In attesa di un recente studio sulle ali pneumatiche, sono in corso difatti molti studi riguardanti ali già definiti rivoluzionarie senza centine e senza longheroni, ma costituite semplicemente da una tela poliestere che viene mantenuta nella forma predeterminata, per mezzo di un complesso intreccio interno di robusti filamenti, esclusivamente in virtù della pressione dell'aria con la quale è stata gonfiata (tra i 20 e i 50 millibar).

Se il progetto andrà in porto si potrà disporre di un'ala a profilo variabile che ricorderà un enorme pallone con una riduzione elevata dei consumi e del peso strutturale.

Gli elementi costruttivi principali delle strutture alari sono :

- I longheroni

- Le centine
- Il rivestimento

I LONGHERONI

I longheroni, in modo particolare nelle strutture a sforzi concentrati, costituiscono la spina dorsale dell'ala.

Staticamente possono essere visti come travi a mensola incastrati nella fusoliera, questo per quanto concerne il monopiano a sbalzo, ma più raramente si possono trovare travi su due appoggi con sbalzo definiti, ali a parasole, dove un appoggio è sulla fusoliera mentre l'altro posizionato su di un montante esterno.

Gli elementi che concorrono per la costruzione di un longherone sono principalmente due, una serie di anime che resistono agli sforzi di taglio e da una coppia di solette o correnti che reagiscono principalmente agli sforzi di flessione, Come viene schematicamente rappresentato (Fig. 1)

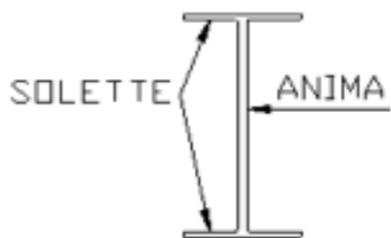


Figura 1

Un ruolo essenziale per la resistenza dell'ala è affidate alle solette che si dividono a loro volta in solette superiori e solette inferiori, queste sono destinate a reagire agli sforzi di flessione operati durante il volo, per cercare di diminuire il più possibile i momenti d'inerzia che si generano sarebbe opportuno posizionare le solette il più possibile vicino al rivestimento, operazione molto spesso impossibile poiché i costi di lavorazione andrebbero a sovrastare i

vantaggi ottenuti.

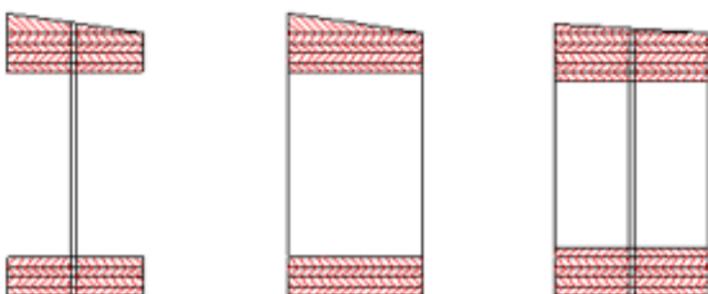
Per la costruzione dei longheroni le strutture principali possono essere legnose o metalliche.

Longheroni legnosi

Costituito da due lamelle di legno incollate fra loro. Questa costruzione definita lamellare consente una bonifica a fondo del materiale e a secondo del tipo di resina utilizzata per il fissaggio (a caldo e sottopressione) consente di ottenere un longherone secondo le forme più svariate, un secondo vantaggio della costruzione di un longherone in legno è che anche operazioni come la curvatura risultano estremamente semplici.

Per costruzioni di questo tipo è importante sapere che il legno resiste meglio a trazione (in media 500 Kg/Cm^2) che a compressione (300 Kg/Cm^2) pertanto la soletta superiore poiché generalmente sottoposta a carichi di rottura a compressione risulterà rinforzata rispetto alla inferiore ; le loro sezione stanno nel rapporto 1 : 1,4.

Sezioni di longheroni in legno



Ad ogni caso, anche se le sezioni asimmetriche permettono un notevole risparmio di peso, con i nuovi materiali termoindurenti questo problema non si pone più perché il materiale resiste in egual modo a trazione e a compressione.

La costruzione delle anime invece è spesso affidata a materiali come il compensato nel quale i fori di alleggerimento sono limitati a quelli per il passaggio delle tubazioni e dei comandi.

Le costruzioni con le ali in legno sono generalmente d'un sol pezzo monoblocco, poiché anche se meno comode per il montaggio e la manutenzione

risultano più leggere.

Longheroni metallici

Nelle costruzioni metalliche invece a secondo del tipo di anima adottata i longheroni si possono dividere in reticolari, ad anima piena e ad anima doppia.

In ogni caso lungo gli orli superiori ed inferiori delle anime sono fissate longitudinalmente con bulloni o chiodi, i primi garantiscono un ottimo mezzo di fissaggio, ma risultano per molti versi complicati in fase di montaggio e più costosi, rispetto ai chiodi che comprendono anche particolari tipi di rivetti molto più pratici ed economici..

Nelle solette o correnti, se si tratta di ali a sforzi concentrati, tutta la sezione resiste a flessione, nelle ali a sforzi diluiti invece, queste si riducono a un semplice mezzo di collegamento con il rivestimento dorsale o verticale.

Le solette o correnti devono resistere alle seguenti caratteristiche :

- Facilitare l'unione con gli elementi adiacenti, ossia con le anime, con le centine e con il rivestimento.
- Facilitare le variazioni di sezione lungo l'apertura
- Facilitare la realizzazione degli attacchi in corrispondenza delle interruzioni fisse o smontabili della struttura.

Perché la trave che risulta dall'unione tra l'anima e le solette risulti più resistente possibile a momenti di inerzia senza compromettere il peso è necessario che a sua sezione risulti maggiormente in prossimità del rivestimento.

Dietro la scelta del tipo di soletta da correlare all'anima ci sono valutazioni di vario tipo poiché molteplice è la scelta. Il caso in assoluto più semplice è quello della soletta Henschel 129 costituita da un profilato rettangolare di spessore e larghezza decrescente fissato all'anima con il lato maggiore verticale o a seconda delle sollecitazioni a cui l'ala va soggetta, con il lato maggiore orizzontale.

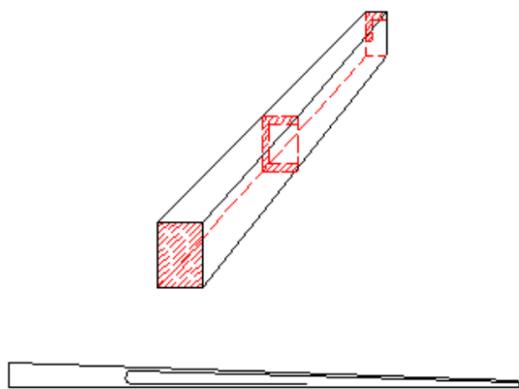
Il ciclo di lavorazione risulta molto semplice, ma molte volte a causa delle eccessive sollecitazioni le sezioni risultano al termine del dimensionamento considerevoli nasce quindi l'esigenza di fissare le solette al rivestimento o nel caso della soletta con il lato maggiore orizzontale collegarla con l'anima mediante bulloni.

Per ottenere migliori risultati di assemblaggio e per sfruttare meglio il materiale si adottano sezioni a C (Auro Lancaster), ad L (Me 109), e T come quelli del Morame.

Una caratteristica comune a tutti i longheroni è che questi vengono rastremati in sezione e in pianta poiché il momento flettente dalla sezione di incastro alle estremità diminuisce progressivamente fino ad annullarsi per ottenere questa particolare struttura i longheroni vengono lavorati mediante estrusione, particolare lavorazione di deformazione plastica eseguita sia a caldo che a freddo che permette di ottenere profilati estrusi anche di forma complessa, consiste nel forzare per mezzo di compressione, un massello metallico, posto in una matrice, ad uscire attraverso un'apertura della forma e delle dimensioni del prodotto che si vuole ottenere o a fluire attraverso uno spazio anulare compreso fra il punzone e la matrice.

Per via della diversa distribuzione del momento flettente i longheroni vengono smagriti con apposite frese in modo da far variare la sezione e adattarla allo sforzo che dovrà subire.

Come appare evidente dalla figura 3 verranno apportati ai longheroni opportuni accorgimenti in modo tale da poter disporre di un corrente ad anima piena in prossimità della fusoliera, ossia dove i carichi di flessione sono maggiori, di una soletta a C la cui sezione in corrispondenza degli attacchi è rettangolare per poi terminarla con un collegamento all'anima che si riduce al minimo e indispensabile in modo da guadagnare in peso.



Ciò non avviene nei profilati a T e in quelli ad H dove le ali verticali vengono lasciate quasi del tutto immutate mentre quelle orizzontali vengono decisamente assottigliate.

La stessa cosa avviene per i profilati ad L e in alcuni casi, quando si è in presenza di più di un longherone prima si smagrisce

uno fino a farlo scomparire e poi si attacca di seguito l'altro.

Può capitare che la parte superiore del profilato si trovi a contatto con il rivestimento, in tal caso risulta conveniente effettuare una lavorazione di curvatura mediante fresa o variare l'inclinazione da punto a punto, questo perché lavorare il profilato in maniera da farlo aderire completamente al rivestimento risulta troppo costoso ; per questo si cerca di optare su altre soluzioni che non prevedono il contatto diretto del longherone con il rivestimento oppure si cerca di ottenere il contatto senza opportune lavorazioni.

Un'altra soluzione possibile si verifica quando il corrente è formato da una serie di tubi quadri infilati concentricamente l'uno nell'altro. La riduzione di sezione è ottenuta dapprima diminuendo il numero di tubi e poi fresando l'ultimo a C e infine ad L. anche questa soluzione, adottata sullo Spitfire, non risulta molto efficiente, poiché considerati i giochi fra i fori e i bulloncini, è molto difficile rendere tutti i tubi solidali tra loro in modo da ripartirne uniformemente le sollecitazioni.

Come detto in precedenza i longheroni possono essere divisi in base al tipo di anima adottata in :

- Longheroni reticolari
- Longheroni ad anima piene
- Longheroni ad anima doppia

Longheroni reticolari

Questo particolare tipo di longherone, che in passato ha riscosso un gran successo (Short Stirling) , tuttora risulta poco utilizzato. I longheroni reticolari si possono trovare sotto svariate strutture, la più comune è quella realizzata con aste di tubo, di profilati ad L o a T o di altra forma, in acciaio o in dural saldati tra di loro o chiodati.

Di tutte le sezioni possibili, per le aste di parete, ossia quelle che vanno di fatto a comporre l'anima del longherone, la migliore è quella a tubo, perché, a parità di peso permette di realizzare un momento minimo d'inerzia molto elevato, l'unico difetto di questo tipo di struttura è costituito dalla difficoltà con cui si ottengono i collegamenti.

Un'altra soluzione tecnica molto usata in passato consiste nel collegare l'asta tubolare con l'ausilio di speciali profilati in duralluminio a I con le ali curve, ottenute mediante una lavorazione precedentemente descritta : L'estrusione. La parte del profilato sporgente dal tubo viene privata delle ali, e l'anima, mediante coprighiunti, viene imbullonata alla costola del profilato a T che costituisce il corrente.

La parte inferiore penetra per una determinata lunghezza e poi viene chiodata.

Nelle zone più sollecitate dell'ala, si sostituiscono i normali giunti tubolari, con giunti a bicchiere in acciaio stampato, che si infilano nei giunti di duralluminio e vengono ad essi fissati con i bulloncini.

Longheroni ad anima piena

In questo particolare tipo di longherone il progetto viene effettuato analizzando due principali casi in cui il longherone risulta maggiormente caricato, i due casi interessano soprattutto l'anima del longherone e vengono divisi in due campi :

- Campo di tensione tangenziale
- Campo di tensione diagonale definito anche : " Trave di Wagner"

Per rendersi conto che la struttura del longherone è passata da un campo di tensione tangenziale ad un campo di tensione diagonale occorre osservare sui pannelli la presenza di numerose ondulazioni parallele tra di loro, inclinate di circa 45°.

Questa può essere considerata come la dimostrazione tangibile dell'instabilità elastica a compressione del pannello che, vincolato com'è su tutto il contorno dai correnti e dai montanti, non può deformarsi in una sola onda, come farebbero le aste immaginarie del modello equivalente, ma è costretto a cedere in molte ondulazioni di minor lunghezza d'onda e ampiezza.

Il formarsi e lo scomparire delle ondulazioni, e quindi il passaggio in campo diagonale e viceversa, sono accompagnati spesso da rumore metallico molto intenso paragonabile a quello udito mentre si calpesta una lattina di alluminio.

Di queste possibilità di equilibrio oltre il carico critico si trae vantaggio nelle costruzioni aeronautiche dimensionando volutamente l'anima in modo che lavori in tensione diagonale.

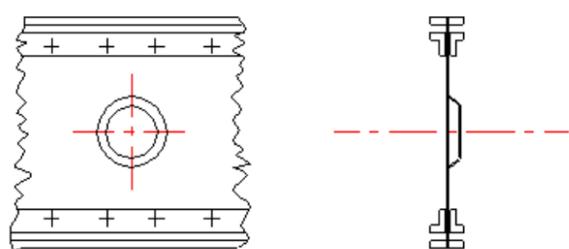
Si realizza così un semplice risparmio di peso, ma si ottengono travi più deformabili poiché il materiale comincerebbe a manifestare minor resistenze a taglio.

Appartengono a questa categoria un altro tipo di longheroni : quelli ad anima semplice costituito da un foglio di dural di 0,5 - 3 mm di spessore, irrigidito da montanti in profilati ad L o a Z, che possono servire all'attacco delle centine, o a farne parte, costituisce l'anima alle cui estremità superiori ed inferiori sono chiodati o imbullonati i correnti del tipo desiderato .

Quando l'anima lavora in campo di tensione diagonale i montanti sono di notevole rigidità e molto più fitti, in modo che l'anima spesso risulta divisa in pannelli o campi rettangolari con il lato verticale circa il doppio rispetto a quello orizzontale, dato l'interasse fra i montanti.

Quando non lavora in tensione diagonale l'anima è spesso alleggerita con sezioni circolari o triangolari con i contorni delle luci irrigiditi rivoltando la lamiera (Fig. 4)

Sezione di un foro di alleggerimento



Il procedimento mediante il quale si ottiene il foro di alleggerimento verrà più approfonditamente trattato nella sezione riguardante le centine.

Per quanto riguarda le principali differenze tra i due tipi di longheroni trattati si può considerare la trave ad anima semplice più rigida rispetto a quella reticolare, anche se questa facilita molto gli attraversamenti dei comandi e delle tubazioni.

Figura 4

Longherone ad anima doppia

Questo tipo di longherone è da considerarsi meno vantaggioso rispetto a quello ad anima semplice, perché il minor spessore richiesto dalle lamiere di parete aumenta considerevolmente i periodi di instabilità.

E' possibile calcolare la tensione tangenziale critica della lamiera utilizzando la seguente formula :

$$\tau_c = k \frac{S^2}{h^2}$$

Per cui si verifica che il passaggio al campo di tensione diagonale è proporzionale al quadrato dello spessore S della lamiera per poi sdoppiare l'anima su due fogli equivalenti per così ridurre la τ_c ad $\frac{1}{4}$ del valore che avrebbe a parità di sezione su di un foglio solo.

Oltre a questo difetto che rende la scelta di questo tipo di longherone in fase di progettazione poco conveniente bisogna considerare legati alla lavorazione di questa trave ci sono anche alcuni pregi : ad esempio si possono evitare eccentricità di sforzi, grazie alla maggior simmetria, e si realizza una maggior rigidità a gli sforzi di torsione.

Possiamo concludere la parentesi sui longheroni con alcune considerazioni riguardanti il peso della struttura : per quanto riguarda quelle reticolari e quelle ad anima piena, in campo diagonale teoricamente si equivalgono, come si può osservare da alcune considerazioni analitiche svolte nell'ipotesi di utilizzare lo stesso materiale in entrambi i casi.

La scelta di uno o dell'altro longherone in fase di progettazione va fatta considerando un fattore molto importante ossia i collegamenti (chiodature, coprigiunti, fazzoletti, ecc.) inoltre siccome le campate sono in genere tanto lunghe quanto alte, al diminuire dell'altezza aumenta la complessità della trave reticolare.

Centine

Le centine assolvono a diverse funzioni : quella di mantenere il corretto profilo dell'ala, quella di trasmettere gli sforzi dal rivestimento ai longheroni ; e quella di sostenere il rivestimento quando assolva compiti statici.

Lo scopo essenziale al quale assolvono le centine è quello di forma, inoltre staticamente trasferiscono le forze aerodinamiche dal rivestimento ai longheroni.

Gli sforzi che devono sopportare possono essere considerati irrilevanti, tenendo conto del loro interasse e della loro altezza, rispetto a quelle dei longheroni, le difficoltà più grosse nella progettazione di una centina sta nel permettere di assolvere il più comodamente possibile al compito statico senza disturbare oltremodo il collocamento di apparati molto ingombranti come i serbatoi, i carrelli e i tubi che permettono di azionare i vari comandi.

Oltre alla forma e al materiale con cui è composta (legnosa o metallica) una centina può essere classificata anche in base alla sua capacità di resistere agli sforzi, come ad esempio la cosiddetta centina - puntone che troviamo più frequentemente nell'ala bilongherone essendo la funzione di puntone assolta dai due longheroni e dal rivestimento occorre costruire la centina particolarmente robusta per permettergli di resistere alle forze aerodinamiche che gli vengono trasmesse.

Anche per la realizzazione di centine è possibile scegliere tra i materiali metallici e legnosi.

Nelle costruzioni legnose le centine si eseguono generalmente doppie, ossia con due anime di compensato che racchiudono le solete e i montanti che a loro volta possono essere lamellari o massicci a seconda del tipo di costituzione.

Per particolari tipi di centine, come quelle reticolari, la costruzione può essere eseguita sempre in compensato traforato e irrigidito successivamente orlato da listelli, oppure con i correnti superiori e inferiori e le aste di pareti massicce, oppure semplicemente in listelli legati da fazzoletti di compensato.

Questa soluzione, garantisce un'ottima leggerezza è rappresenta tutt'oggi la più utilizzata per la costruzione di ali.

Per la costruzione di centine normali di solito si predilige una costruzione costituita da due fogli di compensato, orlati lungo i contorni e irrigiditi da montanti verticali ed eventualmente da traverse orizzontali sulla falsa riga delle centine puntone prima descritte.

Per quanto riguarda le centine metalliche si preferisce evitare la costruzione doppia poiché costituirebbe un'inutile aggiunta di peso, pertanto si cerca di ricorrere ad una sola lamiera rinforzata con profilati localizzati chiodati o imbullonati su ambedue le facce dell'anima della centina.

Anche con le costruzioni metalliche si trova un tipo di soluzione molto leggera ma nello stesso tempo molto resistente ai carichi concentrati : La centina reticolare, queste possono essere eseguite o con i correnti in lamiera e le aste in profilati aperti oppure con i tubi tondi o quadri, una soluzione poco utilizzata è quella costituita da profilati od estrusi di varia forma utili in modo diverso, o eccezionalmente fuse in leghe di magnesio.

Le centine ad anima piena, se opportunamente lavorate con punzonatura possono ridursi a centine ad anima alleggerita.

La Punzonatura è una lavorazione plastica a freddo dei semilavorati che consente, mediante sollecitazione di una lamiera tra due taglienti sagomati (punzone e matrice) fino a generare una frattura che riproduce la forma dei taglienti stessi in definitiva punzonare significa praticare dei fori in una lamiera.

Un particolare accorgimento che viene fatto nella produzione di queste centine, al fine di irrobustire la sezione alleggerita è quella di ridurre lo sforzo che, durante la lavorazione, il premilamiera esercita nei confronti della lamiera stessa. In questo modo si ottiene una sorta di rientro di materiale.

In alcuni casi questo risultato è ottenuto per stampaggio da un 'unico fogli di lamiera, che viene irrigidito localmente, come precedentemente esposto, mediante opportune imbozzature verticali, in modo da ridurre al minimo il numero di pezzi e le chiodature.

Nella costruzione pratica di una centina è possibile constatare che il progetto risulta molto spesso più complesso rispetto ai modelli di centine visti precedentemente, questo per via delle svariate esigenze pratiche alle quali si va incontro nella costruzione di centine sia metalliche che legnose.

Rivestimento

Il rivestimento ha sempre un compito di forma, e, spesso anche uno statico ; nel primo caso, ha il compito di raccogliere la spinta aerodinamica locale che si forma sull'ala e trasmetterlo ai longheroni, sia attraverso le centine, sia direttamente, anche se questo avviene assai raramente.

Inoltre il rivestimento ha il compito di resistere alle torsioni e nelle ali a sforzi diluiti contribuire alla resistenza a flessione.

Come approfondiremo più avanti il rivestimento può essere di tessuto, di legno, di metallo, misto, in materiale composito oppure misto. Indipendentemente da il materiale di costruzione, il rivestimento deve essere in definitiva capace di resistere agli sforzi cui lo sottopongono le pressioni e le depressioni sull'ala.

Sul bordo d'attacco, dato l'elevato valore che raggiungono gli sforzi aerodinamici il rivestimento è sempre rinforzato fino ad assumere una forma rigida, in legno o in lamiera ; l'uso del tessuto rimane limitato alla parte posteriore.

I rivestimenti delle ali nelle costruzioni aeronautiche si dividono in due categorie :

resistenti e di forma.

Per quanto riguarda i rivestimenti resistenti, questi devono rispondere ai seguenti requisiti :

- Sopportare i carichi aerodinamici locali senza deformarsi e senza alterare quindi il profilo
- Collaborare alla resistenza a torsione ed eventualmente alla resistenza a flessione dell'ala
- Resiste durevolmente alle ingiurie atmosferiche
- Ridurre al minimo la resistenza d'attrito, generata appunto dall'attrito provocato dall'aria al passaggio dell'ala.

Nei rivestimenti di forma invece è richiesto di non deformarsi sotto l'effetto dei forti carichi aerodinamici e di resistere durevolmente all'usura e alle ingiurie atmosferiche.

Questi possono essere realizzati in tela, legno, metallo, sono rivestimenti ancora oggi limitati alla parte posteriore del profilo, di solito tra l'ultimo longherone principale a poppa e il bordo d'uscita.

E' possibile trovare, specialmente nelle ali bilongherone in cui anche il rivestimento nel bordo di attacco ha solo compiti di forma, ma questa soluzione è ormai caduta in disuso dato che per prevenire i "flutter" dell'ala conviene invece spostare per quanto possibile verso prua l'area del profilo racchiusa dal rivestimento resistente a torsione.

Le tele di rivestimento adottate sono di lino o di cotone makò con pesi unitari compresi fra 90 e 200 gr/mq a seconda della velocità e dei carichi alari del velivolo.

Le resistenze a trazione variano proporzionalmente da 900 a 2500 Kg/m lineare, e si richiede che il rapporto tra la tensione di rottura in Kg/m e il peso in gr/mq (rapporto che costituisce il cosiddetto coefficiente di quantità) non sia inferiore a 10.

Il rivestimento in tela è di esecuzione semplicissima nelle costruzioni in legno poiché è possibile incollare direttamente la tela al legno servendosi di apposite vernici tenditela a base di una soluzione di acetato di cellulosa in acetone.

Negli alianti la tela del rivestimento nella parte posteriore dell'ala è incollata direttamente, per una lunghezza di 3 o 4 cm, sul rivestimento del bordo di attacco, in corrispondenza dei suoi margini lungo il longherone anteriore, sul listello del bordo di fuga e sulle varie centine.

Dopo aver incollato il rivestimento viene posta in tensione con due o più mani di tenditela e quindi verniciata a spruzzo nel modo normale.

Nel rivestimento dell'intradosso dell'ala bisogna predisporre un certo numero di fori, orlati con occhielli metallici, per mettere in comunicazione l'interno della parte intelata, con l'esterno, sia per impedire che subitanei equilibri di pressione abbiano dannosi effetti sulla conservazione della forma e sia per permettere lo spurgo di eventuali condensazioni di umidità.

Nelle costruzioni metalliche, dove praticamente le intelature sono ormai limitate alle superfici di governo, con tendenza a scomparire anche da queste, le tele vengono fissate sul contorno per mezzo di regolini metallici doppi nei quali la tela è opportunamente pizzicata e che vengono fissati sull'ala per avvitatura.

Sulle centine la tela è allora fissata con cuciture che, dopo la messa in tensione ottenuta o con una o più mani di tenditela, vengono ricoperte con appositi nastri incollati. Le superfici intelate vengono poi finite per lo più con vernici all'alluminio.

I rivestimenti in legno sono eseguiti di norma con compensati di faggio, di betulla di Okumè o anche, nelle zone meno importanti, di pioppo.

Dove anno solo compiti di forma i loro spessori possono ridursi anche a solo 1 mm, e le fibre dei vari strati si dispongono parallelamente e normalmente all'apertura, mentre dove devono reagire a torsione si dispongono di preferenza "in diagonale" in modo che, grazie al maggior valore del modulo di scorrimento G in quella direzione, (42000 contro 14000 Kg/cm²) a parità di sollecitazione, l'angolo di deformazione a torsione risulti molto minore.

Anche nel caso di rivestimenti in legno razionalmente sfati e drenaggi nella superficie inferiore per permettere lo scolo delle condensazioni atmosferiche e per evitare ogni squilibrio di pressioni, anche momentaneo, che tenderebbe a distaccare gli incollaggi del rivestimento.

Nel caso di rivestimenti metallici è particolarmente importante il problema degli attacchi ai correnti dei longheroni che, nelle ali in cui il rivestimento non è sollecitato dinamicamente a flessione, presentano sempre sezioni notevoli.

In tal caso l'attacco delle sottili lamiere del rivestimento alle soole massicce del longherone riesce difficile dal punto di vista della realizzazione, infatti si possono riscontrare notevoli difficoltà di foratura della suola, o di chiodatura e può dar luogo a locali lacerazioni della lamiera.

Per questo e per non dover profilare il corrente del longherone come è richiesto dal profilo alare, il rivestimento viene il più delle volte attaccato indirettamente al longherone.

Materiali metallici per costruzioni

Nelle costruzioni aeronautiche i materiali legnosi, fatta eccezione per i piccoli velivoli da turismo, sono in graduale declino e fra i materiali metallici più utilizzati spiccano le leghe di alluminio.

Mentre l'alluminio ha caratteristiche meccaniche mediocri, l'aggiunta anche piccola di piccole quantità di altri metalli migliora nettamente le sue proprietà quali resistenza meccanica, plasticità, stabilità, lavorabilità, resistenza alla corrosione ecc.

Le caratteristiche meccaniche e i bassi costi lo rendono un buon materiale per le costruzioni, un'altra caratteristica è il basso peso specifico 2,7 - 2,8 Kgp/dm³ e il modulo elastico che va da 7000 a 7500 Kp/mm².

Le leghe di alluminio si distinguono in leghe da fonderia o leghe per getti e da lavorazione plastica.

Appartengono alle leghe per fonderia le leghe che per la loro scorrevolezza possono essere colate in sabbia, conchiglia e pressione.

Le leghe per getti si dividono a loro volta in :

1. **Leghe alluminio - rame** : Elevate caratteristiche meccaniche, scarsa resistenza agli agenti atmosferici.
2. **Leghe alluminio - magnesio** : Modeste caratteristiche meccaniche, buona resistenza a corrosione, anche marina.
3. **Leghe alluminio - silicio** : Anche senza trattamenti protettivi la resistenza alla corrosione è sufficiente rispetto all'azione corrosiva esercitata dall'atmosfera.
4. **Leghe alluminio - zinco** : Presentano buone caratteristiche meccaniche, senza dover ricorrere a nessun trattamento termico.

Le caratteristiche principali delle leghe da lavorazione plastica è che possono essere laminate, trafilate, fucinate, stampate e in genere sottoposte a qualsiasi lavorazione di deformazione plastica a caldo o a freddo.

Si dividono in categorie a seconda degli elementi preponderanti nella lega.

1. **Leghe alluminio - rame** : Sono bonificabili e permettono di raggiungere caratteristiche meccaniche elevate. La presenza di rame abbassa la resistenza alla corrosione pertanto è necessario ricorrere ad una adeguata verniciatura. Presenta una scarsa saldabilità se non si usano particolari procedimenti di saldatura. Sono largamente usati per la produzione di laminati, tubi per strutture i cui elementi vengono collegati meccanicamente, sono ideabili anche per la costruzione di longheroni.
2. **Leghe alluminio - manganese** : Caratteristiche meccaniche modeste, ma ottima resistenza a corrosione.
3. **Leghe alluminio - magnesio** : Buono resistenza agli agenti atmosferici e alle sollecitazioni meccaniche.
4. **Leghe alluminio - magnesio - silicio** : Capaci di raggiungere caratteristiche meccaniche elevate, resistenti alle condizioni atmosferiche.
5. **Leghe alluminio - zinco - magnesio con o senza rame** : Permettono di raggiungere caratteristiche meccaniche molto

elevate, sono sensibili alle sollecitazioni atmosferiche.

I principali elementi che entrano a far parte delle leghe di alluminio sono : rame, magnesio, silicio, zinco che formano con l'alluminio composti come Al_3Mg , $CuAl_2$, ect.

La solubilità di questi elementi cresce con la temperatura, quindi si possono variare le caratteristiche meccaniche del pezzo mediante opportuni trattamenti termici.

I trattamenti termici più comuni sono :

- **TEMPRA** : si fa permanere a lungo la lega ad una temperatura di poco inferiore alla linea di trasformazione così da ottenere una completa solubilizzazione dei vari costituenti. Quindi si fa seguire un brusco raffreddamento che porta ad una soluzione sovrasatura. Questo tipo di trattamento termico dato che non permette al reticolo cristallino di riordinarsi, visto il brusco riscaldamento, comporta un notevole aumento di durezza del materiale e un conseguente abbassamento della resistenza agli urti caratterizzato da incredibile fragilità
- **INVECCHIAMENTO** : Le leghe che hanno subito la tempra , vengono fatti invecchiare artificialmente facendole rimanere ad una temperatura di 100 - 200° C. In questo modo, la soluzione sovrasatura, subisce una graduale riprecipitazione dei costituenti con miglioramento delle caratteristiche meccaniche. Per alcuni leghe ciò si ottiene con un invecchiamento naturale, a temperatura ambiente, in un periodo di 5 - 6 giorni. La tempra seguita da invecchiamento prende il nome di bonifica. Questo trattamento viene eseguito anche per i materiali soggetti a frequenti e continue sollecitazioni come ad esempio le capsule aneroidi, elementi essenziali per il funzionamento di strumenti manometrici di bordo dei velivoli.
- **RICOTTURA** : Tale trattamento termico distrugge l'incrudimento, eliminano le tensioni interne ed annullando eventuali trattamenti termici di bonifica. Una volta raggiunta la temperatura di ricottura, definita per ogni lega, occorre che il pezzo sia raffreddato molto lentamente.

Oltre ai trattamenti termici le leghe di alluminio da lavorazione plastica possono subire un incrudimento mediante lavorazione plastica a freddo.

Il grado di incrudimento viene indicato con la lettera H seguita da due cifre indicante il grado di incrudimento percentuale.

Simbologgiatura dei trattamenti delle leghe di alluminio

UNI 3565	MIL- 6088	Descrizione
R	0	Ricotto
H	H1	Incrudito
TNH	T3	Tempra di soluzione, incrudito ed invecchiato naturalmente
TH06N	T36	Tempra di soluzione, incrudito 6% e invecchiato naturalmente
TN	T4	Tempra di soluzione, invecchiato naturalmente
TA	T6	Tempra di soluzione invecchiato artificialmente
Tb	T61	Temprato, raffreddato in acqua a 100°C e invecchiato artificialmente a 200°C

L'Alluminium Association, riconosciuta dall'ALCOA, tale simbologia prevede, per ogni lega, prima descritte un gruppo di 4 cifre.

La prima cifra individua la composizione. In particolare la cifra 1 indica che la lega ha un tenore di alluminio > 99%. Le cifre da 2 a 7 individuano l'elemento più importante dopo l'alluminio.

2-Rame

3-Manganese

4-Silicio

5-Magnesio

6-Magnesio e Silicio

7-Zinco

La cifra 8 indica che l'elemento più importante dopo l'alluminio è diverso dai precedenti ; la cifra 9 indica leghe di tipo particolare.

Il secondo indice numerico definisce le eventuali varianti della lega originaria cui è riservato l'indice 0 (1,2, ecc. per le successive varianti).

Il terzo e quarto indice sono legati al grado di purezza nel caso dell'alluminio quando la prima cifra è 1 ; nel caso delle leghe servono solo per distinguere fra di loro leghe della stessa classe.

Le leghe della serie 1,3,4 e 5 e alcune della serie 7 non sono trattabili ; le leghe trattabili sono limitate alla serie 2,6 e 7.

I tipi di trattamento sono indicati dai seguenti indici numerici :

F - Stato naturale senza alcun trattamento termico o meccanico

O - Stato ricotto

H - Stato incrudito (solo per leghe da incrudimento da lavorazione plastica)

W - Stato instabile di trattamento. Questo simbolo dev'essere seguito dall'indicazione del periodo di invecchiamento.

T - Stato stabile di trattamento termico, con o senza lavorazione plastica di incrudimento.

Gli indici 1,2 e 3 dopo il simbolo H indicano stanno ad indicare che la lega è stata trattata rispettivamente con incrudimento senza ulteriore utensile, incrudimento con parziale ricottura ed incrudimento con stabilizzazione, mentre è possibile aggiungere un secondo indice numerico indicante il grado di incrudimento.

La lettera T seguita da uno o più numeri, di cui il primo specifica il trattamento secondo la seguente simbologia :

1-Invecchiamento naturale

2-Distensione (solo per getti)

3-Tempra di soluzione, lavorata a freddo e invecchiato naturale

4-Tempra di soluzione e invecchiamento naturale

5-Invecchiamento artificiale

6-Tempra di soluzione ed invecchiamento artificiale

7-Tempra di soluzione e stabilizzazione

8-Tempra di soluzione, lavorazione a freddo ed invecchiamento artificiale

9-Tempra di soluzione, invecchiamento artificiale e lavorazione a freddo

10-Invecchiamento artificiale e lavorazione a freddo

Per gli stati T3, T4, T6, e T8 può essere prevista una distensione delle sollecitazioni interne ; essa viene designata aggiungendo una seconda e una terza cifra : 51, 52, 53 a seconda che la distensione avvenga mediante trazione, compressione o trattamento termico.

Per le costruzioni aeronautiche le leghe di alluminio più correntemente usate possono essere divise in due gruppi :

- Leghe alluminio - zinco - magnesio - rame (tipo ERGAL 7075 e 7079) allo stato T6 hanno una più alta resistenza a temperatura ambiente, ma tale resistenza ha una diminuzione per temperature comprese tra 100 e 130 °C, specie dopo

un lunga esposizione al calore.

- Leghe alluminio - rame - magnesio (tipo AVIONAL 2024 e 2014, generalmente chiamate duralluminio) costituiscono il secondo gruppo e vengono preferite alle precedenti quando se ne prevede un impiego a temperature molto elevate.

La lega 2014 viene, usualmente, invecchiata artificialmente (stato T6) ; la lega 2024 viene invece, di preferenza, sottoposta a invecchiamento naturale (T4).

Entrambe le leghe sono disponibili sotto forma di estrusi, lamiere e piastre, forgiati ecc.

Per le lamiere si preferisce il tipo placcato con un leggero strato di alluminio puro (ALCLAD) ; la lega 2014 viene usata molto per forgiati.

Nelle applicazioni ad alta temperatura, l'invecchiamento artificiale (T6) viene preferito, non solo per la più alta resistenza iniziale che presentano le leghe sottoposte a tale trattamento, ma anche per la maggior stabilità delle caratteristiche raggiunte con questo tipo di invecchiamento.

Il materiale non preventivamente invecchiato artificialmente presenta una costruzione microstrutturale intermedia, tale da diminuire la resistenza alla corrosione.

Oltre ai suddetti tipi di leghe (serie 2000 e 7000) specifiche per strutture aerospaziali è da ricordare la serie 6000 (ANTICORODAL) impiegata diffusamente per la costruzione di serbatoi esterni di aerei e componenti saldati. Queste leghe infatti presentano ottime caratteristiche di saldabilità e di resistenza alla corrosione.

La lavorabilità delle leghe di alluminio è ottima sotto tutti gli aspetti. La formatura viene normalmente eseguita allo stato ricotto prima del trattamento di tempra. Tuttavia è possibile, per quei componenti in lamiera per i quali non è richiesto l'invecchiamento artificiale T6, eseguire la formatura subito dopo il processo di tempra, all'inizio della fase di invecchiamento naturale.

Le leghe di alluminio sono saldabili per resistenza elettrica : è richiesto però il decapaggio delle superfici a contatto per asportare la pellicola d'ossido che si rinnova rapidamente in ambiente atmosferico.

E' possibile anche al saldatura all'arco in gas inerte ; richiede però il trattamento termico dopo al saldatura per ripristinare le caratteristiche di resistenza che risultano alterate durante il processo di saldatura (ricottura e infragilimento, porosità della zona fusa, ecc.).

Composizione chimica delle leghe di alluminio

Elemento			Lega			
	7075	2024	2219	2014	2017	6061
Cu	1,6	4,5	6,0	4,45	4,0	0,28
Mg	2,5	1,5	-	0,50	0,50	1,0
Mn	-	0,65	0,3	0,80	0,70	-
Zn	5,7	-	-	-	-	-
Si	-	-	-	0,85	-	0,60
Cr	0,25	-	-	-	-	0,25
Ti	-	-	-	-	-	0,15 max.
V	-	-	0,10	-	-	-
Zr	-	-	0,15	-	-	-

Caratteristiche meccaniche delle leghe di alluminio

Materiale	A	S _{tr}	S _{cs}	Ec	S _{0,7}	n	t _R
	%	Kp/mm ²	Kp/mm ²	Kp/mm ²	Kp/mm ²		Kp/mm ²
2014-T6 [estrusi t ≤ 12 mm]	7	42,2	37,3	7530	37,3	18,5	24,6
2014-T6 [forgiati t ≤ 100 mm]	7	43,6	36,6	7530	36,8	20	27,4
2024-T3 [Piastre e lamiere t ≤ 6 mm]	12	45,7	28,1	7530	27,4	11,5	28,1
2024-T4 [Piastre e lamiere t ≤ 12 mm]	12	45,7	26,7	7530	25,8	15,6	28,1
2024-T3 [Lamiere plastate 0,5 < t < 1,6 mm]	12	42,2	26,0	7530	25,1	12	26,7
2024-T6 Lamiere placcate e piastre t > 1,6 mm	8	43,6	34,5	7530	43,6	11	26,0
Lamiere placcate e piastre t < 1,6 mm	8	42,2	33,1	7530	33,1	10,6	25,3
2024-T81 [Lamiere placcate t ≤ 1,6 mm]	5	43,6	38,7	7530	39,4	11,2	26,7
6061-T6 [Lamiere t ≤ 6 mm]	10	29,6	24,6	7100	24,6	31	17,2
7 Lamiere e piastre t ≤ 12 mm	7	53,5	47,1	7390	49,3	9,2	32,4
0 Estrusi t ≤ 6 mm	7	52,8	49,3	7390	50,7	16,6	30,2
7 Stampati t ≤ 50 mm	7	50,0	40,8	7390	41,2	15,2	31,7
5 Forgiati a mano Area ≤ 10 Cm ²	4	50,7	44,3	7390	44,9	25	31,7
- Lamiere placcate e piastre t ≤ 12 mm	8	49,3	45,0	7390	45,4	19,5	31,7
T6							
7079-T6 Forgiati a mano t ≤ 150 mm	4	47,1	41,5	7390	41,9	26	27,3

Dove :

A= Allungamento percentuale dopo rottura (lunghezza del provino = $11,3 \sqrt{S}$)

S_{tr} = Tensione di rottura a trazione

S_{cs} = Tensione di snervamento a compressione

Ec = Modulo elastico a compressione

S_{0,7} = Tensione

n = Fattore di forma della curva s - e

t_R = Tensione tangenziale di rottura.

Il modulo elastico a trazione per le leghe 2014, 2024 e 7075 è uguale ad E = 7390 Kp/mm².

Dopo tutte queste numerose considerazioni sulle leghe di alluminio facciamo alcune considerazioni sui materiali generalmente più usati nella costruzione di longheroni e del rivestimento metallico.

Per la costruzione dei correnti il materiale preferito è il Dural. Con l'adozione dello Zincral si ottengono strutture più leggere ma anche più deformabili.

L'acciaio come elemento singolo è usato da molti anni ma non è molto diffuso, anche se recentemente l'adozione in leghe ha preso notevolmente il sopravvento sugli altri elementi.

I rivestimenti metallici se hanno compiti di resistenza sono sempre in dural, in zical, o in titanio e leghe derivate, materiali che analizzeremo più avanti, e i loro spessori si aggirano dagli 8/10 ai 4 o 5 mm, se invece hanno solo compiti di forma, come per esempio in prossimità del bordo di uscita, per evitare l'impiego di lamiere troppo sottili come quelle fra 5/10 e 8/10, con le quali si ottiene un rivestimento troppo delicato e perciò facilmente deteriorabile in fase operativa, si preferisce talora ricorrere a leghe di magnesio, in particolare .

Suddivisione delle ali

Abbiamo approfonditamente trattato la composizione delle ali, anche in base a questa natura le ali vengono classificate.

Si definisce ala l'organo preposto al sostentamento del velivolo. Un'ala è generalmente formata da due semiali in tal caso ci si trova di fronte ad un monoplano, vengono definiti invece biplani i velivoli dotati di due ali una superiore e una inferiore.

A secondo delle caratteristiche che i vari costruttori vogliono conferire ai loro aeroplani, li possono munire di ala alta, quando questa è montata sopra la fusoliera e ala bassa quando questa è montata sotto.

E' possibile dare all'ala diverse forme, ci limiteremo a elencarne alcune : rettangolare, ellittica, trapezoidale, a freccia, bi - trapezoidale, a delta, inoltre il costruttore può decidere di dare all'ala un diedro positivo o negativo, ossia tracciando una linea retta che, parallela all'asse longitudinale del velivolo passa per il baricentro, si definisce positivo quando le semiali sono rivolte al di sopra di questa linea e negativo viceversa.

La forma più comunemente usata per i monomotori leggeri è quella rettangolare, dritta e con poco diedro, inoltre avendo una distribuzione della velocità indotta ottimale, garantendo lo stallo prima alla radice rispetto all'estremità e inoltre non richiede nessun svergolamento, rendendo la sua fabbricazione molto semplice anche se poco performante.

La funzione principale del diedro è quello di conferire, specialmente ai velivoli ad ala bassa una maggiore stabilità.

Sezionando trasversalmente un'ala se ne ottiene il profilo, argomento che approfondiremo più avanti. In base alla configurazione del profilo si garantiscono determinate caratteristiche aerodinamiche come la portanza e la resistenza, i principali profili sono : Concavo convesso, piano convesso, biconvesso simmetrico, biconvesso asimmetrico.

I profili concavi convessi sono impiegati soprattutto nella costruzione di alianti, o comunque per aerei molto lenti. Per gli aerei la cui velocità di volo operativa non raggiunge valori elevati si predilige l'utilizzo di profili con asimmetria pronunciata, che viene man mano ridotta via via che aumenta la velocità operativa, fino ad impiegare i profili simmetrici per i velivoli velocissimi.

Le principali parti di un'ala sono :

Il dorso, o estradosso : costituisce la superficie superiore dell'ala

Il ventre o intradosso : costituisce la superficie inferiore dell'ala.

Il bordo d'attacco : è la linea anteriore che separa il dorso dal ventre.

Il bordo d'uscita : è la linea posteriore che separa il dorso dal ventre

La corda alare : è il segmento che unisce il bordo d'attacco dal bordo di uscita. Nel caso di profili non rettangolari si considera la corda media.

L'apertura alare : è la distanza tra le estremità dell'ala.

La superficie alare : è il prodotto della corda media per l'apertura, espresso generalmente in metri quadri

L'allungamento alare : è il rapporto tra la superficie del piano alare e il quadrato della profondità media del profilo (corda media alare) oppure il rapporto tra il quadrato dell'apertura alare e la superficie, è un parametro importantissimo per la

determinazione delle caratteristiche aerodinamiche di un'ala.

Lo spessore massimo : è la distanza massima fra il dorso e il ventre dell'ala.

La linea media : è la linea che determina la curvatura del profilo

La freccia del profilo : è la distanza massima tra la corda e la linea media.

Profili Naca

Come avviene per la stragrande maggioranza dei casi la progettazione di un nuovo velivolo leggero cosiddetto da turismo, non si basa sullo studio di un profilo nella galleria aerodinamica, poiché le spese per la ricerca non sempre andrebbero ad equivalere con la qualità del velivolo, perciò molto frequentemente si ricerca il profilo già esistente che accomuna le caratteristiche aerodinamiche richieste.

Le caratteristiche di questi profili sono conservate nella sede della NASA (National Aeronautics and Space Administration), in precedenza l'organo competente era la NACA (National Advisory Committèe for Aeronautics), questi laboratori sperimentali definiscono al forma geometrica di un profilo mediante apposite tabelle nelle quali in percentuale della corda (asse x) vengono riportate i valori delle ordinate superiori (ordinate del dorso) e delle ordinate inferiori (ordinate del ventre).

Ogni profilo è indicato con alcune cifre il cui valori per i profili subsonici è il seguente :

Profili a quattro cifre :

- La prima cifra indica la massima curvatura in percentuale della linea media della corda.
- La seconda cifra indica la distanza dal bordo di attacco della posizione della freccia in decimi della corda.
- Le ultime due cifre indicano lo spessore massimo percentuale del profilo.

Alcune volte vengono specificate con due numeri distinti e separati fra loro rispettivamente il raggio del bordo di attacco e la posizione del massimo spessore del profilo in decimi della corda rispetto al bordo di attacco.

Profili a cinque cifre :

- La prima cifra indica la freccia della linea media in percentuale della corda
- La seconda e la terza cifra rappresenta la distanza dal bordo di attacco della freccia in percentuale
- Le ultime due indicano lo spessore massimo del profilo in percentuale della corda.

Classificazione delle ali

Oltre alle classificazioni fatte in precedenza le ali si possono classificare a seconda del tipo di vincolo che queste hanno con la fusoliera in :

- Ali a sbalzo : Definibili staticamente come travi a mensola incastrati nella fusoliera.
- Ali a semisbalzo : Travi su due appoggi con sbalzo, si definiscono ali a parasole quando hanno un appoggio sulla fusoliera e uno posto su di un montante esterno.

Secondo il numero di longheroni.

- Ali monolongherone
- Ali bilongherone
- Ali trilongherone
- Ali multilongherone.

Ala monolongherone

L'ala monolongherone si presenta come una soluzione costruttiva estremamente versatile e capace di adattarsi alle molteplici esigenze costruttive richiestigli pertanto risulta difficile definirla in modo preciso, poiché nella maggior parte dei casi varia da velivolo a velivolo.

I caratteri principali di questo tipo di ala sono che è quasi sempre accompagnata da un longheroncino posto nella parte posteriore dell'ala, posizionato a circa $1/3$ della corda alare a partire dal bordo di attacco, chiamato falso longherone il cui compito principale è quello di collegare saldamente fra di loro le centine, di facilitare l'attacco degli alettoni, dei flaps, dei freni aerodinamici, e dei diruttori, ecc. inoltre il falso longherone permette di trasmettere più facilmente la trasmissione del momento torcente alla fusoliera, in corrispondenza degli attacchi delle semiali.

Nelle ali monolongherone, il longherone principale è posto sempre nella sezione del profilo avente maggiore spessore, questo per poter resistere meglio a flessione e a taglio.

La resistenza a torsione è affidata al rivestimento rigido, limitato alla sola parte compresa tra il bordo di attacco e il longherone principale, mentre nelle rimanenti parti ha esclusivamente compito di forma e la sua costruzione non richiede particolari requisiti di resistenza meccanica. Questa soluzione è tuttora utilizzata nelle costruzioni più leggere come ad esempio ULM o alianti.

Per la costruzione di un'ala monolongherone il più efficiente possibile è opportuno posizionare il suo asse elastico a torsione, coincidente o quasi con il baricentro dell'area racchiusa dal rivestimento resistente del becco, spostato molto a prua in vicinanza del fuoco in modo da distribuire al meglio tutti i carichi che si generano sulla superficie dell'ala.

Anche la posizione del fuoco sarà progettata in modo di risultare il più vicino possibile al baricentro del velivolo in modo tale da eliminare eventuali momenti generati dal peso del longherone.

Per facilitare il lavoro di questo particolare tipo di longherone è opportuno scegliere un rivestimento che adotti degli accorgimenti particolari, in modo da raccogliere le pressioni che si generano sull'ala e per mezzo delle centine trasmetterle ai longheroni, per far questo si dispone in diagonale il rivestimento stesso ottenendo così una rigidità soddisfacente, in questo modo si cerca di evitare anche ogni insorgere di vibrazioni flessiotorsionali e che avvenga l'inversione degli alettoni in tutto il campo di impiego.

In alcuni alianti però è necessario ricorrere ad altre soluzioni, poiché si desidera raggiungere elevate velocità, come ad esempio rigidità maggiori, questo è possibile estendendo il rivestimento in compensato, almeno fino al falso longherone posteriore, e per risparmiare peso riducendone lo spessore.

Per l'utilizzo di questo tipo di longherone si prediligono centine ad anima piena o a traliccio l'utilizzo dell'una o dell'altra dipende da molteplici fattori estranei alla idoneità della struttura.

Nelle ali con rivestimento in tela il falso longherone è posto in posizione ribassata rispetto all'altezza della sezione del profilo e per facilitarne la costruzione viene fatto passare attraverso apposite finestrate delle centine.

Visto che nella parte posteriore le sollecitazioni aerodinamiche sono maggiori e poiché il rivestimento resista maggiormente a torsione si cerca di raddoppiare le centine nella parte anteriore al longherone.

Per mettere l'ala in condizione di poter resistere agli ingenti sforzi di flessione nel proprio piano, si può disporre in corrispondenza del bordo di attacco un listello opportunamente dimensionato, oppure se il rivestimento è in tela si può rendere solidale il falso longherone con il longherone principale, con un'opportuna controventatura interna.

Nelle costruzioni metalliche l'ala bilongherone è preferita nei velivoli monomotore per via delle difficoltà nella posizione degli attacchi delle gondole motrici e per la minor adattabilità alla costruzione di carrelli retrattili rispetto a quella offerta dai velivoli con ala bilongherone.

Possiamo trovare diversi tipi di ala monolongherone, le più usate sono il monolongherone a cassone e a struttura tubolare, mentre ormai da tempo abbandonate sono le ali monolongherone Crocco e Stigler.

Ala monolongherone con struttura a cassone

Questo tipo di ala è quella che ha avuto e ha tuttora le più ampie applicazioni poiché permette di affiancare la resistenza a torsione al cassone del bordo di attacco, o tutta la sezione. Nel primo caso il cassone viene costruito in lamiera di maggior spessore, e si evita per quanto possibile di indebolirlo con fori, aperture, luci, mentre nella parte posteriore il rivestimento è più leggero e permette tutte le aperture richieste per l'installazione di comandi e delle tubature. Inoltre è opportuno parlare

L'ala con struttura a cassone può essere :

Ala a cassone anteriore : Il cassone è costituito dalla parte anteriore dell'ala e cioè dal bordo di attacco e dal longherone di forza.

Altri esempi di ali con struttura a cassone trilongherone sono costituite dal cassone triangolare e multicellulare.

Ala monolongherone con struttura tubolare

Il monolongherone tubolare costituisce una struttura realizzata con successo in passato, specie in alcuni grandi idrovolanti. Questo tipo di longherone ci permette di bilanciare meglio gli sforzi di torsione, flessione e taglio poiché sono assorbiti da un tubo di acciaio rinforzato opportunamente.

Il diametro della sezione tubolare è della dimensione massima del profilo,, molte volte il tubo viene utilizzato come serbatoio di carburante.

Ala bilongherone

La particolarità di questo tipo di ala è che gli sforzi di flessione e taglio sono ripartiti fra due longheroni principali, che unitamente al rivestimento della zona centrale, resistono anche alla torsione, come è stato prima ampiamente illustrato nella descrizione del rivestimento.

Il cassone alare in questo particolare tipo di ali è costituito dal complesso dei due longheroni e del rivestimento resistente fra di essi compreso, questo costituisce una struttura estremamente rigida flessionalmente e torsionalmente.

I maggiori vantaggi apportati da questo tipo di struttura alare consiste nella facilità di alloggio dei vani motopropulsivi e degli alloggi per i carrelli retrattili, i quali si aggrappano ai due longheroni senza nessuna difficoltà di progetto e di costruzione.

Inoltre questo tipo di soluzione costruttiva permette di poter gestire molto facilmente la manutenzione degli organi interni all'ala.

Il principale svantaggi, invece, consiste nel non poter utilizzare tutta l'altezza consentita dal profilo.

Anche in questa versione di ali i longheroni possono essere sia a reticolari che ad anima piena, con particolari costruttivi vari da tipo a tipo.

Ala trilongherone

La necessità più importante nella costruzione di questo tipo di ali è che si riesca a fare assorbire i momenti flettenti da un longherone sistemato nella zona di massimo spessore del profilo e i momenti torcenti da due longheroni rispettivamente a prua e a poppa del longherone principale.

Un particolare tipo di ala trilongherone è costituita dall'ala a cassone triangolare:

questa può essere paragonata da una trave verticale che concorre a formare il cassone centrale.

Nelle ali a cassone si creano talvolta dei compartimenti stagni che vengono utilizzati per il carburante e per assicurare la galleggiabilità nel caso di discesa di emergenza in mare.

Oltre a questo tipo di ali è possibile effettuare un'altra classificazione, ai nostri fini meno importante, riguardante le caratteristiche dell'ala, tra i più importanti tipi di ali spiccano :

- **Le ali a freccia** : La costruzione di questo tipo di ali richiede progettazioni più complesse perché sono di gran lunga maggiori le sollecitazioni che aggravano i momenti torcenti, inoltre la particolare scelta dei materiali data la sottile forma che si richiede. I longheroni e le centine conservano le loro forme caratteristiche, a variare è il rivestimento che viene tenuto più rigido.

Caratteristica di queste ali sono i deflettori dello strato limite, generalmente se ne trovano uno o due per semiala, con lo scopo di impedire la propagazione del distacco della vena fluida dal centro ai bordi di estremità.

- **Ali ripiegabili** : caratteristica peculiare di questo tipo di ali è costituita da un martinetto idraulico principale che fa ruotare la semiala rispetto al tronco centrale portandola, dalla posizione normale di volo a quella ripiegata.

La struttura è generalmente monolongherone e bilongherone con una predisposizione a perno.

Svolgimento pratico della relazione

Premettiamo che anche se per esigenze costruttive il materiale per la costruzioni delle parti resistenti di un velivolo da turismo, visto la necessità di operare con materiali economici e facilmente lavorabili, che richiedano tempi di lavorazione non troppo lunghi visto la praticità delle operazioni di officina, si è preferito l'utilizzo dei materiali metallici per via della maggior competenza del personale addetto alla lavorazione, per via di equipaggiamenti e attrezzature già predisposte e della maggior prevedibilità dei comportamenti del materiale durante la lavorazione che permette una maggior organizzazione del lavoro e la possibilità di suddividerlo per un numero maggiore di operai.

Inoltre lo studio didattico dei materiali metallici permette, di acquisire dimestichezza con questo tipo di realtà, che andremo ad affrontare nelle maggiori industrie, essendo il metallo maggiormente resistente e più performante, e per questo motivo prediletto dalle maggiori case di costruzioni aeronautiche.

Dopo aver analizzato dettagliatamente i principali elementi costruttivi, analizziamo quali soluzioni sono più convenienti anche in base ai materiali di officina disponibili.

Successivamente disegneremo la centina e il suo relativo sviluppo in modo tale da ottenere un progetto completo privo di dimensionamento.

Decidiamo di costruire un'ala monolongherone, ponendo ovviamente il longherone principale in prossimità della massima altezza del profilo, inoltre non trascurando questa caratteristica fondamentale per i vantaggi sopra descritti, cercheremo di posizionarlo il più vicino possibile all'asse baricentrico del velivolo, questo per, essendo il longherone la struttura più pesante dell'ala, evitare l'insorgere di eventuali momenti.

Inoltre in prossimità del bordo di uscita posizioneremo un falso longherone, in modo da rendere più saldo l'innesto delle centine, per semplificare il collegamento di alettoni, tubi, ipersostentatori, e di permettere il trasferimento del momento torcente alla fusoliera.

Per quanto riguarda le solette ne sceglieremo una con sezione a C, che permette un facile collegamento all'anima che nel nostro caso è costituita da due lamiere collegate con il corrente per mezzo di rivetti, così come avviene anche per il collegamento al rivestimento. Eviteremo di collegare direttamente le solette al rivestimento per semplificare la costruzione delle solette stesse risparmiando così su costi e tempi di realizzazione.

La scelta del materiale per la realizzazione delle centine è caduta su una lega alluminio - zinco - magnesio con o senza rame per le elevate caratteristiche meccaniche, mentre per l'enorme capacità di resistenza agli agenti atmosferici per il rivestimento sceglieremo delle leghe alluminio - magnesio - silicio le quali garantiscono anche buone resistenze meccaniche.

Per quanto riguarda la centina, questa sarà costituita da tre parti ricavate da lamiera sottoposta a lavorazioni di punzonatura, questo per ricavarne fori di alleggerimento per diminuirne il peso, successivamente imbutiti o punzonati per essere irrobustiti.

Le centine saranno collegate al rivestimento mediante rivetti separati l'uno dall'altro per 25 cm fatta eccezione per la parte finale dove ne è stato aggiunto uno per garantirne il perfetto collegamento.

I fori di alleggerimento, posizione e ampiezza sono mostrati nel disegno, verranno lavorati in modo da ottenere una curvatura di 45°.

In base alle caratteristiche di portanza e di resistenza richiesti abbiamo scelto il profilo NACA 23018, da cui possiamo risalire alla forma del profilo mediante la corrispondente tabella dalla quale si ricaveranno le dimensioni reali del profilo moltiplicando tutti i valori della tabella per la corda come nell'esempio :

$$1,25 \cdot \frac{1510}{100} = 18,90 \text{ Cm}$$

Ripetendo la medesima operazione per tutti i valori della tabella si ricava il corretto profilo alare.

NACA 23018

X	Y dorso	Y ventre
0	0	0
1,25	4,09	-1,83
2,5	5,29	-2,71
5,0	6,92	-3,80
7,5	8,01	-4,60
10	8,83	-5,22
15	9,86	-6,18
20	10,36	-6,86
25	10,56	-7,27
30	10,55	-7,47
40	10,04	-7,37
50	9,05	-6,81
60	7,75	-5,94
70	6,18	-4,82
80	4,40	-3,48
90	2,39	-1,94
95	1,32	-1,09
100	0

Per tracciare il profilo partendo dai dati in nostro possesso è essenziale ricavare la corda del profilo :

$$l = \frac{b^2}{S}$$

Dalla quale si ottiene che :

$$b = \sqrt{\lambda \cdot S} = \sqrt{7 \cdot 16} = 10,58m$$

Avendo come valori noti la superficie alare e l'apertura alare, è possibile ricavare la corda in questo modo :

$$S = b \cdot l_m$$

Essendo l'ala a pianta rettangolare otterremo che :

$$l_m = l = \frac{S}{b} = 16 : 10,58 = 1,51 \text{ m}$$

Ottenendo la seguente tabella.

NACA 23018

X	y dorso	y ventre
0	0
1,89	6,18	-2,76
3,78	7,99	-4,09
7,55	10,45	-5,74
11,33	12,10	-6,95
15,10	13,33	-7,88
22,65	14,89	-9,33
30,20	15,64	-10,36
37,75	15,95	-10,98
45,30	15,93	-11,28
60,40	15,16	-11,13
75,50	13,67	-10,28
90,60	11,70	-8,97
105,70	9,33	-7,28
120,80	6,64	-5,25
135,90	3,61	-2,93
143,45	1,99	-1,65
151,00	

Dalla seguente tabella si ricaverà il seguente profilo :

