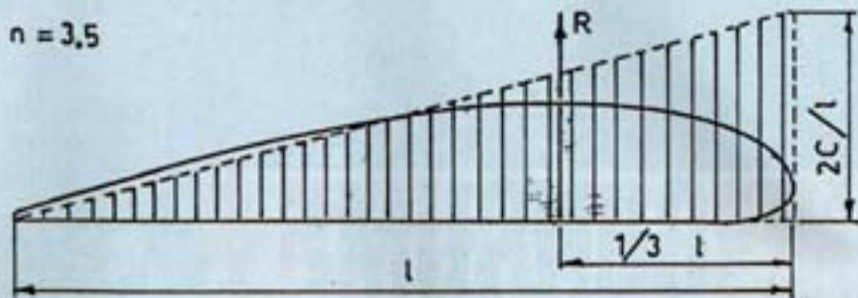


PIUMA EVOLUZIONE INTRODUZIONE AI CALCOLI STRUTTURALI

In questo terzo articolo presentiamo una descrizione introduttiva ai calcoli strutturali che sono stati eseguiti per arrivare al dimensionamento delle varie parti e per stabilire i carichi di lavoro e massimi. La trattazione è volutamente semplificata, avendo il solo scopo di far capire quanti e quali aspetti ci siano dietro quello che può apparire un disegno semplice e lineare o dietro una scelta costruttiva in luogo di un'altra.

$C = \text{CARICO SULLA SEMIALA} = 700 \text{ KG}$

$n = 3,5$



ASSETTO DI MASSIMA PORTANZA (2n)

DIS. 7

Dimensionamento delle strutture resistenti

In base all'esperienza e alle norme RAI si calcolano gli sforzi massimi che possono sollecitare le varie parti del velivolo; in una seconda fase si eseguirà una verifica sulle capacità di ogni elemento considerato a resistere a questi sforzi. È stato appurato che in alianti non acrobatici la massima accelerazione si verifica nella ripresa brusca, o a causa di raffiche particolarmente violente; in questi casi il valore massimo delle accelerazioni non comporta per le strutture carichi maggiori di 3,5 G. Per questo motivo il **Carico di contingenza n** (che corrisponde al rapporto tra il carico massimo che può gravare una struttura in un assetto particolarmente critico, ed il peso totale del velivolo in volo), viene fissato in 3,5. Volendo seguire per le strutture le norme FAR 23 dovremo considerare un coefficiente di sicurezza $J=1,5$; per maggior tranquillità adottiamo provvisoriamente, per i calcoli da effettuare, un valore di $J=2$. Avremo:

Carico di contingenza $n = +3,5 - 2,2$

Carico di robustezza $n = +7 - 4,4$

Potranno essere eseguite successivamente prove statiche di verifica per un carico pari a quello di contingenza x 1,25 (prove elastiche), e prove di torsione dell'ala. Ipotizziamo ora varie condizioni di volo e calcoliamo gli sforzi ai quali verrebbe sottoposta l'ala in quattro situazioni particolarmente critiche:

- Assetto di massima portanza
- Assetto di massima velocità
- Assetto di portanza nulla
- Atterraggio brusco

Assetto di massima portanza si verifica in caso di richiamata brusca o violenta raffica verticale ascendente, in questa condizione si ha la massima sollecitazione a flessione dell'ala. Il carico P di robustezza sarà:

$$P = 2xn \text{ (PT-PA)} = 2x3,5 \text{ (240-40)} = \text{Kg 1400}$$

Il valore trovato è ovviamente relativo all'intera ala. I simboli corrispondono a: PT = Peso Totale = Kg 240; PA = Peso di due Ali = Kg 40; n = Coeff. di contingenza = 3,5. Il carico P si suppone ripartito lungo l'apertura alare proporzionalmente alla corda (anche se questo non è del tutto esatto a causa dello svergolamento dell'ala nella zona rastremata, che induce ad una maggiore concentrazione del carico nella parte centrale dell'ala rispetto alle estremità); la distribuzione sulla corda si considera invece triangolare con la risultante R posizionata ad 1/3 del bordo di attacco. Il carico sulla semiala sarà ovviamente pari a P/2 cioè a 700 kg (**Disegno 7**).

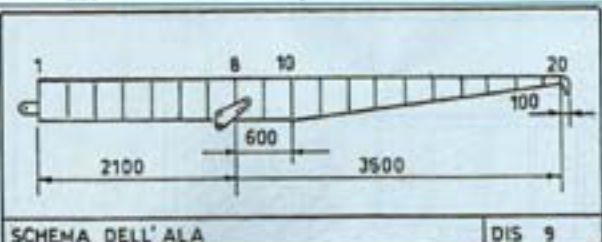
Il calcolo dei carichi sulla semiala in tale assetto procede in più fasi:

Prima fase Si prende in considerazione la parte rastremata, tutta a sbalzo, e si calcolano i valori del taglio e del momento nei punti in corrispondenza delle centine.

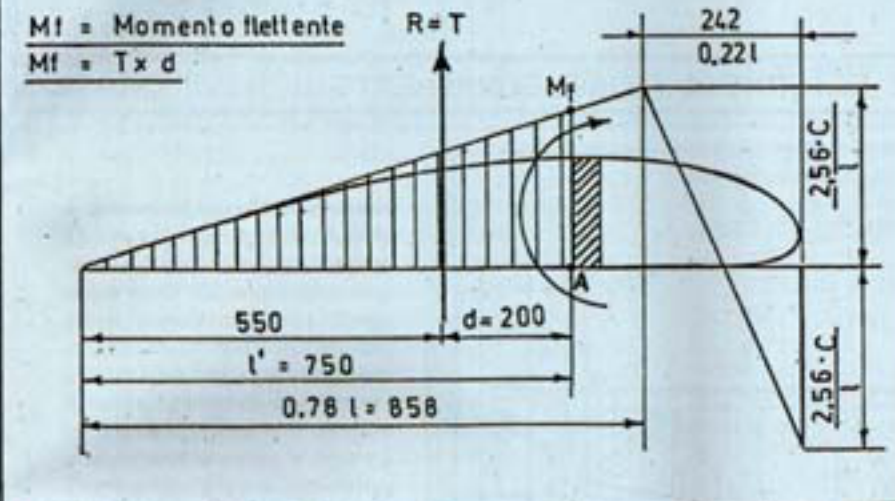
Seconda fase Si calcolano il taglio ed il momento nella parte rettangolare dell'ala a sbalzo, cioè fino alla centina 8, che consideriamo punto di attacco del montante.

Terza fase Si calcola la lunghezza della ipotetica ala rettangolare a sbalzo, equivalente a quella reale parzialmente rastremata, ai fini del calcolo del momento e del taglio nella parte di ala compresa fra la centina 1 e la 8.

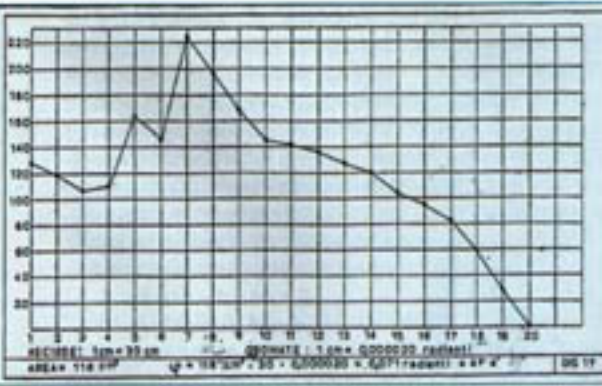
Quarta fase Si effettuano i calcoli relativi al momento ed al taglio nei punti compresi tra le centine 1 e la 8; si considera



$M_f = \text{Momento flettente}$
 $M_f = T \times d$



MOMENTO FLETTENTE SULLA CENTINA DIS 15



una trave con carico uniforme, con due appoggi ed uno sbalzo.

Quinta fase Si calcolano gli sforzi di compressione (per G positivi) sulla parte di ala compresa tra il montante e l'attacco dell'ala alla fusoliera; in questa fase si calcolano pure gli sforzi di trazione (G positivi) e di compressione (G negativi) sul montante alare (Disegno 9)

Assetto di massima velocità per convenzione questa è la velocità corrispondente ad un CP = 0,25 CP Max. nel nostro caso avremo 0,25 x 1,43 = 0,36 corrispondente ad una velocità di 114 km/h. In queste condizioni il

Centro di Pressione risulterà collocato molto dietro al longherone, cosa che provocherà sollecitazioni torsionali elevate sul lato posteriore delle centine e sul cassone antitorsione. Il coefficiente di contingenza si pone pari al 75% di quella adottato nell'assetto precedente di massima portanza; in altri termini si suppone che l'ala venga sottoposta ad un carico di robustezza di $7 \times 0,75 = 5,25$ G ad una velocità di 114 km/h. In effetti, considerando l'inerzia molto limitata del nostro ultraleggero, una condizione così critica è ben difficilmente realizzabile. Il carico di robustezza sull'intera ala risulterà pertanto pari a:

$$P = 0,75 \times 2n \text{ (PT-PA)} = 0,75 \times 2 \times 3,5 \text{ (240-40)} = 1050 \text{ kg}$$

Questo carico viene ripartito sulle centine secondo lo schema illustrato nel Disegno 15, la risultante è posta al 50% della centina. Il carico C sulla semiala sarà in questo caso pari a 525 kg ed è indicato con R=T, cioè risultante o taglio

Assetto di portanza nulla (picchiata in candela con freni aerodinamici): in questo assetto si ha la massima torsione dell'ala, e la verifica riguarda appunto questo tipo di sollecitazione. Pur eseguendo le verifiche a norme FAR 23, si precisa che questa condizione è assolutamente da evitare nell'uso pratico, anche perché i freni non verranno dimensionati per questo utilizzo, e pertanto la velocità raggiungerebbe in pochi secondi un valore critico per il velivolo. Il Momento torcente minimo imposto è determinato dalla formula (per la semiala):

$$M_t = 0,20 \times n \times Q \times l = 160 \text{ Kg-m}$$

I simboli hanno i seguenti significati: n = 3,5 = Coefficiente di robustezza (vale 2n/2 per ciascuna semiala); Q = 240 kg = Peso in ordine di volo; l = 0,95 mt = Corda alare media. Il RAI prescrive inoltre che a carico limite elastico (pari a 1,25 n = 4,4 G) l'angolo di torsione delle estremità alari non superi i 4°; generalmente, dato il forte allungamento alare, questa condizione è la più gravosa per gli alianti ed i motoalianti, e dovrà essere attentamente verificata. Dopo aver calcolato i valori del momento torcente nelle varie sezioni di ala, saremo nella condizione di determinare:

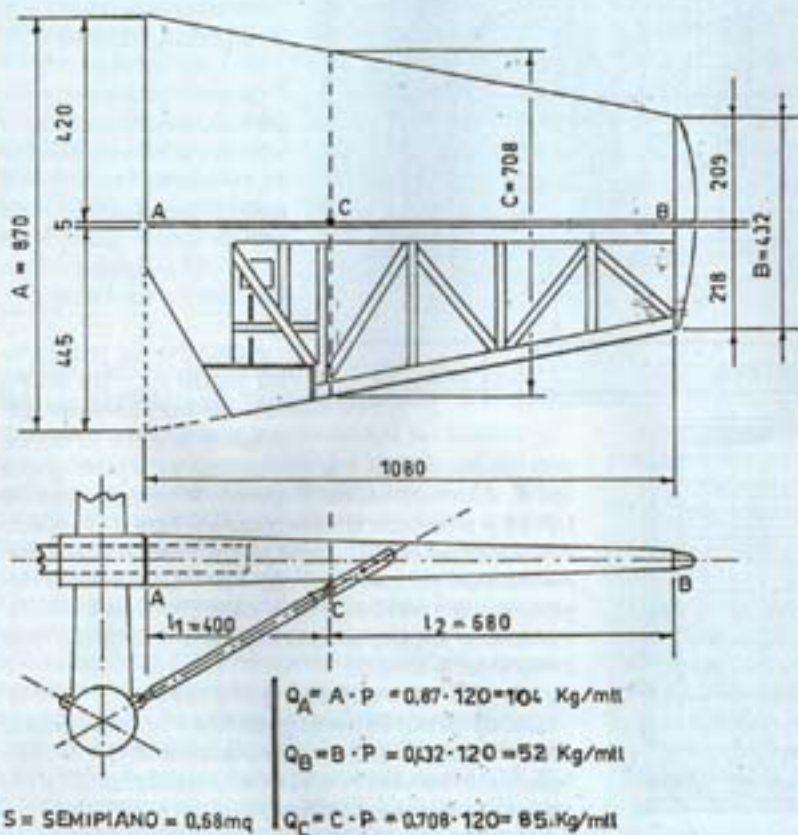
- a) Lo spessore del compensato di rivestimento per il cassone antitorsione
- b) I gradi di torsione che questo momento provocherà sull'ala; la rigidità torsionale deve essere compresa entro i valori stabiliti dal RAI

Nota: in questa sede non riteniamo opportuno inserire lo sviluppo dei singoli calcoli, ma da essi si arriva alla conclusione dell'assoluta necessità di utilizzare il compensato di ri-



DIREZIONE DELLE FIBRE ESTERNE A 45° NEL COMPENSATO

DIS 18



PIANO DI QUOTA - CALCOLI STRUTTURALI

DIS 28

compensato, bisogna inoltre evitare assolutamente gli ingobbamenti, e a tal fine è necessario irrigidire il cassone antitorzione con false centine ogni 15 centimetri: Queste centine possono essere realizzate con Styroform (polistirolo duro da 30 km/m³ con spessore da cm 1,5, anche alleggerito con fori). Il **Disegno 17** contiene il grafico utilizzato per il calcolo dell'area che, rappresentando l'integrale della curva, misura la torsione.

Ipotesi di atterraggio brusco

le sollecitazioni oggetto del controllo sono quelle relative all'ala e ai suoi attacchi alla fusoliera; si ipotizza che le forze agiscano con un angolo di 15° in avanti rispetto alla perpendicolare del piano alare e si stabilisce di moltiplicare il peso delle ali e degli accessori per un coefficiente di contingenza pari a $n=4$.

$$P = 40 \times 4 = 160 \text{ kg}$$

$$C \text{ semiala} = 80 \text{ kg}$$

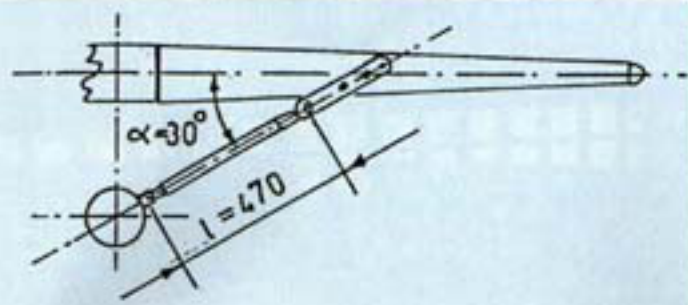
Sempre secondo il RAI si ipotizza pure un carico massimo verso avanti delle ali pari a $1/8 \times n \times Q = 1/8 \times 4 \times 240 = 120 \text{ kg}$. Con questi dati potremo verificare la resistenza degli attacchi alari, nonché la resistenza dei corrispondenti attacchi

sulla fusoliera. Saranno pure da verificare gli elementi che, all'interno dell'ala, resistono a questi sforzi, come i puntoni diagonali dietro al cassone ed i longheroni posteriori.

Dimensionamento del longherone e delle solette

è stata calcolata, in base all'esperienza e all'abaco 7.9 riportato a pag. 155 del testo "Costruzioni Aeronautiche" dell'Ing. Ribaldone, la dimensione delle due solette superiore ed inferiore, realizzate in legno di tiglio

vestimento con la vena a 45° (**Disegno 18**). Infatti l'eventuale utilizzo della vena parallela al longherone, comporterebbe una resistenza torsionale ampiamente insufficiente, data la limitata corda alare e la conseguente piccola sezione del cassone. Non dimentichiamo che il modulo di elasticità tangenziale per il compensato di betulla con la vena parallela al longherone vale soltanto 8.000 kg/cm² contro i 27.000 per la vena disposta a 45°. Per ottenere le massime prestazioni dal



COMPRESSIONE DEL MONTANTE DIS 32

di Slavonia stagionato e senza nodi, calibrato in listelli da mm 36 x 8; per questo legno abbiamo utilizzato nei calcoli carichi limite pari a Compressione = 240 kg/cm², Trazione = 400 kg/cm². I calcoli effettuati hanno indicato valori di ampia sicurezza, sia per i G positivi che per quelli negativi; in quest'ultimo caso però va detto che il limite maggiore ai G negativi è determinato dal montante di controventatura e non dal longherone alare. In ogni caso manovre che comportino G negativi sono assolutamente da evitare in quanto il Piuma Evoluzione non è stato progettato per questo utilizzo, e molti elementi (quali il serbatoio, la batteria di avviamento, il carburatore ecc.) sono del tutto inadatti a questi assetti.

Dimensionamento delle anime del longherone dovremo verificare la resistenza al taglio in corrispondenza della centina 8, dove il taglio è di 858 kg (a +7G); negli altri punti gli sforzi di taglio diminuiscono drasticamente. Lo scopo principale dei calcoli di verifica è quello di evitare di utilizzare un compensato di maggior spessore (e quindi più pesante) ove non necessario. I valori ottenuti ci indicano che nella realizzazione delle anime abbiamo leggermente ecceduto in ogni posizione; il risparmio di peso ottenibile riducendo gli spessori totali non è comunque di entità tale da procedere a variazioni.

Montanti alari, calcoli e verifiche i montanti sono costituiti da un profilo a goccia, come da disegno 23. I valori ottenuti dai calcoli indicano che i G positivi ammissibili dal montante (corrispondenti ad una resistenza a trazione di 10.750 kg) sono 49, quindi molto superiori a 7. I G negativi ammissibili (corrispondenti ad una resistenza a compressione di 846 kg) sono invece 3,86, inferiori a quelli calcolati per l'ala (maggiori di 5). Il valore potrebbe essere notevolmente incrementato mediante l'inserimento di un collegamento rigido (rompitratte) tra la metà del montante e l'ala. Non si è ritenuto necessario procedere a questo collegamento ritenendo sufficienti i 3,8 G negativi; infatti la macchina non è stata progettata per eseguire acrobazie, né è adatta a volare in condizioni meteorologiche tali da poter essere sottoposta a questi carichi.

Piastre, bulloni e legno sono stati verificati i

valori di resistenza degli attacchi sui longheroni del montante alare, dei terminali montanti, delle piastre di fissaggio della radice del longherone e del montante alare all'ordinata principale, e l'ordinata principale stessa. Tutti i valori si sono rivelati superiori ai limiti massimi previsti, le verifiche hanno comportato essenzialmente il calcolo della sollecitazione al taglio su bulloni e spinotti, sia fissi che mobili, del diametro dei bulloni e dello spessore delle piastre, delle sollecitazioni al taglio sul legno, delle sollecitazioni nelle varie sezioni di legno e metallo sottoposte a trazione e/o compressione.

Nota: nel posizionare i listelli di legno destinati a supportare i bulloni, si deve fare attenzione alla direzione dello sforzo che dovrà essere parallelo alla vena; se fosse perpendicolare alla vena, la resistenza del legno sarebbe pari soltanto al 25% di quella massima indicata.

Comandi e trasmissioni sono stati verificati i valori dei carichi applicati e gli elementi di struttura chiamati a sopportarli; per i cavetti di acciaio non sono riportati i carichi applicati, che sono comunque ampiamente sotto il limite di rottura dei cavi medesimi.

Piano di quota (Disegno 28) e timone verticale: si utilizzano cavi di acciaio inox di diametro 2,5 mm ad alta flessibilità (3/32" - 7x19 fili) con una resistenza a trazione di circa 400 kg. Questi cavi, opportunamente ingrassati, scorrono in guaine metalliche (si possono utilizzare quelle dei freni da motociclo da 5 m di diametro); come terminali delle guaine si possono usare gli attacchi per i tubetti di aria compressa che hanno il pregio di bloccare la guaina impedendo l'eventuale fuoriuscita della medesima dal terminale.

Diruttori: anche qui si utilizzano cavi di acciaio inox, ma più sottili e precisamente da 1,5 mm di diametro (1/16" - 7x7 fili) con una resistenza a rottura per trazione di circa 200 kg; i cavi scorrono in guaine metalliche da 5 mm con i soliti terminali descritti al punto precedente.

Alettone: la superficie di un alettone è di 0,6 mq, con una leva di applicazione di 0,06 mt. I calcoli evidenziano i seguenti valori: carico a robustezza sull'alettone P = 57 kg, sforzo sull'asta di comando e sui punti di attacco dell'asta pari a 82 kg.

Montante dei piani di quota (verifica a compressione): il montante (Disegno 32), profilato in anticorodal, con una sezione di 92 mmq deve resistere ad un carico a robustezza che, secondo i calcoli, corrisponde a 164 kg. La verifica del valore di carico critico indica 782 kg, valore ben superiore e quindi pienamente soddisfacente.

Sul prossimo numero l'ultimo articolo tecnico sul Piuma Evoluzione, con la previsione delle caratteristiche di volo (Coefficiente di resistenza CR ed efficienza, CR dell'intero velivolo, velocità e tasso di caduta, caduta in candela e velocità limite, VNE, baricentro ed escursione ammissibile, momenti torcente e flettente del trave di coda).

Per informazioni: Tiziano Danielli, via dei Tamburini 14 - 36015 SCHIO (VI) www.schio.it/piuma