MATURITA'
CORSO SPERIMENTALE – PROGETTO "IBIS"
INDIRIZZO: COSTRUZIONI AERONAUTICHE
TEMA DI: AEROTECNICA E IMPIANTI DI BORDO
Sessione Ordinaria 2005

TESTO
Un trireattore da trasporto V.I.P., al termine del suo volo di crociera alla quota di 11.000 m e con Mach pari a 0,77, effettua una discesa con velocità anemometria invariata fino alla quota di 500 m ove, ponendosi nel circuito di sottovento, dimezza la propria velocità al fine di eseguire una virata, con fattore di carico n = 1,3 e successiva discesa per un normale atterraggio.

Assumendo le seguenti caratteristiche del velivolo:

➢ carico alare	W/S	=	3,061 kN/m²
➢ allungamento alare effettivo	λ_e	=	6,52
➢ coefficiente di resistenza minimo	C_{D0}	=	0,018
➢ coefficiente di portanza massimo	C_{Lmax}	=	1,00
➢ incremento di C_{Lmax} con la massima deflessione degli ipersostentatori	ΔC_{Lmax}	=	1,87
➢ incremento di C_{D0} all'atterrraggio	ΔC_{D0}	=	0,036

Il Candidato determini:

1. il tempo ed il raggio di virata,
2. il tempo della discesa finale
3. il tempo e lo spazio di atterraggio

Durata massima della prova: 8 ore
E' consentito soltanto l'uso di tavole numeriche, manuali tecnici e calcolatrici non programmabili.

SOLUZIONE

Viene presentata una soluzione semplificata per il tema proposto.

Calcoliamo la velocità di crociera del velivolo moltiplicando il numero di Mach " M " per la velocità del suono alla quota assegnata, assumendo in atmosfera standard una diminuzione di temperatura di 6,5 K per ogni kilometro di quota.

$$V_{crociera} = M \cdot \sqrt{k \cdot R_x \cdot T}$$

con

$$M = 0,77$$

$$k = 1,41$$

$$R_x = 287,04 \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$T = 288,15 - 6,5 \cdot 11 = 216,65\ K$$

Risulta

$$V_{crociera} = 0,77 \cdot \sqrt{1,41 \cdot 287,04 \cdot 216,65} = 228\ m/s$$

La discesa sino alla quota di 500 m avviene con velocità anemometrica costante dopodiché il velivolo affronta una virata corretta con velocità " V_V "dimezzata rispetto al valore prima determinato

$$V_V = 114\ m/s$$

Noto il fattore di carico “ n “ determiniamo l’angolo di bank “ φ “ e quindi il raggio di virata “ r “:

$$\varphi = \arccos\left(\frac{1}{1,3} \right) = 39,7^{\circ}$$

$$r = \frac{V_V^2}{g \cdot tg(\varphi)} = \frac{114^2}{9,81 \cdot tg(39,7)} \cong 1597\ m$$

con “ g “ accelerazione di gravità.

Non essendo diversamente specificato, ipotizziamo una virata di 180° e calcoliamo quindi lo spazio percorso “ s_V “ ed il tempo corrispondente “ t_V “:

$$s_V = \pi \cdot r = 5017\ m$$

$$t_V = \frac{s_V}{V_V} = \frac{5017}{114} = 44\ s$$

Segue quindi la fase di discesa finale dalla quota di 500 m alla quota di 15 m, durante la quale il velivolo deve ridurre la velocità dal valore di 114 m/s ad un valore sull’ostacolo “ V_{ost} “ pari ad 1,3 volte la velocità di stallo in configurazione di atterraggio “ $(Vs)_{c.a.}$ “. In configurazione di atterraggio, con i dati specificati nel testo si ottiene:

$$(C_{L_{\max}})_{c.a.} = C_{L_{\max}} + \Delta C_{L_{\max}} = 1,00 + 1,87 = 2,87$$

$$(V_s)_{c.a.} = \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{(C_{L_{\max}})_{c.a.}}} = \sqrt{\frac{2}{1,225} \cdot 3061 \cdot \frac{1}{2,87}} = 41,7\ m/s$$

La velocità del velivolo in corrispondenza dell’ostacolo risulta quindi:

$$(V_{ost}) = 1,3 \cdot (V_s)_{c.a.} = 1,3 \cdot 41,7 = 54,2\ \ m/s$$

Per calcolare il tempo della discesa finale di avvicinamento “ t_{avv} “, ipotizziamo per semplicità che essa si realizzi ad una velocità costante (pari alla media dei valori estremi calcolati in precedenza), con angolo di discesa β = 4° e perdita di quota Δz = 500-15 = 485 m.

Risulta:

$$V_{media} = \frac{(V_{ost}) + V_V}{2} = \frac{54,2 + 114,0}{2} = 84,1\ \ m/s$$

$$t_{avv} = \frac{\Delta z}{V_{media} \cdot sen(\beta)} = \frac{485}{84,1 \cdot sen(4)} = 82,7\ s$$

Consideriamo adesso la fase di atterraggio che comprende una prima fase in volo (durante la quale il velivolo riduce ulteriormente la velocità sino al valore “ V_c “ pari 1,15 volte la velocità di stallo) e dalla successiva fase di rullaggio e frenata al suolo.

Per calcolare lo spazio “ s_1” percorso nella prima fase in volo ed il tempo “ t_1” impiegato, utilizziamo il teorema delle forze vive, trascurando il termine W sen(β) ed assumendo un’efficienza pari a E = 6 ed un rapporto T/W = 0,1:

$$(T-D)\cdot s_1 \cong -W\cdot h-\frac{1}{2}\frac{W}{g}\left(V_{ost}^2-V_c^2\right)$$

$$V_c = 1{,}15\cdot 41{,}7 = 48\ m/s$$

$$s_1=\frac{h+\dfrac{V_{ost}^2-V_c^2}{2g}}{\dfrac{D}{W}-\dfrac{T}{W}}=\frac{15+\dfrac{54{,}2^2-48^2}{2\cdot 9{,}81}}{\dfrac{1}{6}-0{,}1}=709\ m$$

$$t_1=\frac{s_1}{V_{media}}=\frac{709}{\dfrac{54{,}2+48}{2}}=13{,}9\ s$$

Calcoliamo ora i valori dello spazio " s_2" e del tempo " t_2" relativi alla seconda fase di rullaggio e frenata al suolo, ipotizzando una decelerazione costante a_m = 2 m/s² ed impostando il seguente sistema di equazioni:

$$\begin{cases} s_2 = V_c\cdot t_2-\dfrac{1}{2}a_m t_2{}^2 \\ V_c-a_m t_2=0 \end{cases}$$

Risolvendo si ricava:

$$t_2=\frac{V_c}{a_m}=\frac{48}{2}=24\ s$$

$$s_2=V_c\cdot t_2-\frac{1}{2}a_m t_2{}^2=48\cdot 24-\frac{1}{2}\cdot 2\cdot 24^2=576\ m$$

Calcoliamo infine i valori totali dello spazio e del tempo di atterraggio:

$$t_{tot}=t_1+t_2=14+24=38\ s$$

$$s_{tot}=s_1+s_2=709+576=1285\ m$$

Pietro Bonacci
Docente di Tecnologie Aeronautiche e Laboratorio Tecnologico
ITIS "Feltrinelli" Milano

Ruggero Sguera
Docente di Disegno Progettazione ed Esercitazioni di Costruzioni Aeronautiche
ITIS "Feltrinelli" Milano