

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 anemometrica 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/m ²
➤ allungamento alare effettivo	λ_e	=	6,52
➤ coefficiente di resistenza minimo	C_{D0}	=	0,018
➤ coefficiente di portanza massimo	$C_{L_{max}}$	=	1,00
➤ incremento di $C_{L_{max}}$ con la massima deflessione degli ipersostentatori	$\Delta C_{L_{max}}$	=	1,87
➤ incremento di C_{D0} all'atterraggio	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

$$M = 0,77$$

$$k = 1,41$$

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

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

Risulta

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

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

$$V_v = 114 \text{ m/s}$$

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

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

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

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 “:

$$s_v = \pi \cdot r = 5017 \text{ m}$$

$$t_v = \frac{s_v}{V_v} = \frac{5017}{114} = 44 \text{ s}$$

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 “ (V_s)_{c.a.} “. In configurazione di atterraggio, con i dati specificati nel testo si ottiene:

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

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

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

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

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:

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

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

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 “ s₁ ” percorso nella prima fase in volo ed il tempo “ t₁ ” 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:

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

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

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

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

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 $a_m = 2 \text{ m/s}^2$ ed impostando il seguente sistema di equazioni:

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

Risolvendo si ricava:

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

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

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

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

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

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