Capitolo 1 – VOLO LIBRATO E VELEGGIATO

ESERCIZIO 1 pag. 38

Calcolare e tracciare l'odografa del moto a quota zero in aria tipo per un aliante avente le seguenti caratteristiche:

peso…………………………………………………………………. Q = 4500 N
superficie alare……………………………………………………... S = 18 m^2
apertura alare……………………………………………………….. b = 16,4 m
coefficiente di resistenza di profilo …………………………………Cro = 0,016
coefficiente di portanza massimo……………………………… ..Cp_{max} = 1,5
coefficiente di Ostwald …………………………………………….e = 0,9

Soluzione:
Calcolo l'allungamento alare λ = b^2 / S = 16,4^2 /18 = 14,94

Prima di impostare la tabella calcolo gli assetti caratteristici

E_{max} …………………………$Cp = \sqrt{e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 0,822 Cr = 2 Cro = 0,032

$\left(E\sqrt{Cp}\right) max$ ………………… $Cp = \sqrt{3\,e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 1,424 Cr = 4 Cro = 0,064

Ora imposto la tabella inserendo i Cp da 0 a Cp_{max}

Cp	Cr	E	E radCP	Beta [°]	V [m/s]	U [m/s]	w [m/s]
0	0,016	0,00	0,00	90	159,72	0	159,72
0,2	0,0169	11,80	5,28	4,84	45,09	44,93	3,808
0,4	0,0198	20,21	12,78	2,83	31,92	31,89	1,577
0,6	0,0245	24,46	18,95	2,34	26,07	26,05	1,065
0,822	0,0320	25,69	23,29	2,23	22,28	22,26	0,867
1	0,0397	25,20	25,20	2,27	20,20	20,18	0,801
1,2	0,0501	23,95	26,24	2,39	18,43	18,42	0,769
1,424	0,0640	22,25	26,54	2,57	16,92	16,91	0,760
1,5	0,0993	15,11	18,50	3,79	16,48	16,44	1,088

L'angolo di rampa β si calcola con la seguente formula $\beta = arctg\,\frac{1}{E}$

La Velocità $V = \sqrt{\frac{2\,Q\cos\beta}{\rho\,S\,Cp}}$

La componente di velocità orizzontale U = V cos β

La componente di velocità verticale (velocità discensionale) w = V sen β

Quindi con i risultati delle due ultime colonne posso tracciare l'odografa del moto.

Dalla tabella si evidenziano i seguenti risultati

In corrispondenza di Cp_{max} = 1,5 ---------------------- la velocità di stallo V_{st} = 16,48 m/s = 32 Kts

In corrispondenza di E_{max} = 25,69 --------------------- l'angolo di rampa minimo β_{min} = 2,23°

In corrispondenza di $\left(E\sqrt{Cp}\right) max$ = 26,54 ------------- la minima velocità discensionale w_{min} = 0,760 m/s

ESERCIZIO 2 pag. 38

Calcolare il minimo angolo di rampa, la velocità di stallo a quota zero, la minima velocità discensionale e la corrispondente velocità sulla traiettoria per un aliante avente le seguenti caratteristiche:

Peso…………………………………………………………………….. Q = 5700 N

Carico alare…………………………………………………………….. Q/S = 280 N/m^2

Allungamento alare ……………………………………………………..λ = 15.9

Coefficiente di portanza massimo……………………………...Cp_{max} = 1,6

Coefficiente di resistenza di profilo……………………………… Cro = 0,0149

Soluzione:

Calcolo la superficie alare S = Q / (Q/S) = 5700 / 280 = 20,36 m^2

E_{max} …………………………$Cp = \sqrt{e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 0,818 Cr = 2 Cro = 0,0298

$(E\sqrt{Cp})\,max$ ………………… $Cp = \sqrt{3\,e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 1,417 Cr = 4 Cro = 0,0596

Ora imposto la tabella inserendo i Cp calcolati

Cp	Cr	E	E radCP	Beta [°]	V [m/s]	U [m/s]	w [m/s]
0,818	0,0298	27,46	24,84	2,09	23,63	23,61	0,860
1,417	0,0596	23,78	28,31	2,41	17,95	17,94	0,754
1,6	0,1019	15,71	19,87	3,64	16,89	16,85	1,073

Dalla tabella si evidenziano i seguenti risultati

In corrispondenza di Cp_{max} = 1,6 ------------ la velocità di stallo V_{st} = 16,89 m/s = 33 Kts

In corrispondenza di E_{max} = 27,46 ----------- l'angolo di rampa minimo β_{min} = 2,09° V = 23,63 m/s = 46 Kts

In corrispondenza di $(E\sqrt{Cp})\,max$ = 28,31

la minima velocità discensionale w_{min} = 0,754 m/s V = 17,95 m/s = 35 Kts

==

ESERCIZIO 3 pag. 38

Un aliante avente le caratteristiche sotto indicate scende dalla quota Z = 12000 ft fino ad un aeroporto situato a quota Z' = 1600 ft sul livello del mare.

Calcolare il minimo angolo di rampa e la massima distanza alla quale può giungere in assenza di vento. Caratteristiche dell'aliante:

Superficie alare………………………………………………………………………S = 31 m^2

Apertura alare ……………………………………………………………………….b = 22 m

Coefficiente di Ostwald ……………………………………………………………..e = 0,95

Coefficiente di resistenza di profilo ………………………………………………..Cro = 0,0149

Soluzione:

Quota media Z_m = (Z + Z')/2 = (12000 + 1600)/2 = 6800 ft = 2073 m densità ρ_{2073} = 0,999 Kg/m^3

Calcolo l'allungamento alare λ = b^2/S = 22^2 / 31 = 15,61

Assetto di minimo angolo di rampa e massima distanza in volo librato

E_{max} …………………………$Cp = \sqrt{e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 0,833 Cr = 2 Cro = 0,0298

E_{max} = Cp / Cr = 27,95

Il minimo angolo di rampa β_{min} si calcola con la seguente formula $\beta min = arctg\,\frac{1}{E_{max}}$ = 2,05°

Scendendo con minimo angolo d rampa in volo librato (assenza di vento) la massima distanza si calcola in base al dislivello di quota

$$X_{max} = \Delta Z\ E_{max} = (Z - Z')\ E_{max} = 3170\ 27{,}95 = 88602 \text{ m} = 89 \text{ Km}$$

==

ESERCIZIO 4 pag. 38

Durante un volo di collaudo di un aliante si sono fatte le seguenti letture sugli strumenti di bordo:
Variometro ……………………………w = 3,5 m/s
Anemometro …………………………V_{IAS} = 200 Km/h
Termometro ………………………………t = -2°C
Barometro ………………………………..P = 562 mmHg

Calcolare l'efficienza, la pendenza della traiettoria nell'istante considerato e determinare il valore di Cro sapendo che l'aliante ha:
Peso ………………………………………………………..Q = 6671 N
Superficie alare ……………………………………………S = 13,5 m²
Allungamento ………………………………………………λ = 22

Soluzione:

Dato che il volo si svolge in aria reale di cui si conosce la temperatura e la pressione, calcolo la densità con la formula del gas perfetto (aria = miscuglio gassoso R = 29,27 m/°K) dopo aver trasformato la pressione in N/m² e la temperatura in gradi Kelvin

$$\rho = \frac{P}{g\,R\,T} = \frac{74927}{9{,}81\ 29{,}27\ 271} = 0{,}963 \text{ Kg/m}^3$$

Calcolo la densità relativa $\delta = \rho / \rho_0 = 0{,}963 / 1{,}225 = 0{,}786$

Posso ora calcolare la velocità vera $V_{TAS} = V_{IAS} \frac{1}{\sqrt{\delta}} = 226 \text{ Km/h} = 62{,}67 \text{ m/s}$

L'aliante scende con velocità vera sulla traiettoria V_{TAS} = 62,67 m/s e velocità discensionale w = 3,5 m/s

Quindi la pendenza della traiettoria (angolo di rampa) $\beta = arcsen\ \frac{w}{V_{TAS}} = 3{,}2°$

L'efficienza dipende dall'angolo di rampa quindi $E = \frac{1}{tg\ \beta} = 17{,}89$

Dalla prima equazione del volo librato P = Q cos β ricavo il coefficiente di portanza

$Cp = \frac{2\,Q\cos\beta}{\rho\,S\,V^2} = 0{,}261$ quindi Cr = Cp / E = 0,0146 ora in base alla formula di Prandtl posso

calcolare $Cro = Cr - \frac{Cp^2}{e\,\pi\,\lambda} = 0{,}0135$

==

ESERCIZIO 5 pag. 39

Calcolare la superficie dei freni aerodinamici necessaria affinché la velocità di volo in picchiata verticale per un aliante avente le caratteristiche sotto indicate non superi 225 Km/h. (assumere coefficiente di resistenza freni Crf = 1,7).
Caratteristiche dell'aliante:
Peso……………………………………………………………………………….. Q = 2210 N
Superficie alare……………………………………………………………………. S = 12,8 m²
Coefficiente di resistenza di profilo……………………………………………. Cro = 0,015
Soluzione:

Condizione di equilibrio in affondata con freni aerodinamici aperti alla velocità V = 225 Km/h = 62,5 m/s quota zero in aria tipo Q = R_{tot} da cui posso ricavare il Cr_{tot}

$$Cr_{tot} = \frac{2\,Q}{\rho\,S\,V^2} = \frac{2\;2210}{1{,}225\;12{,}8\;62{,}5^2} = 0{,}072$$

posso quindi calcolare la superficie dei freni aerodinamici

$$Sf = \frac{Cr_{tot} - Cro}{Cr_f}\,S = \frac{0{,}072 - 0{,}015}{1{,}7}\;12{,}8 = 0{,}43\ m^2$$

I freni aerodinamici, che nel caso degli alianti vengono posizionati sul dorso alare come diruttori, in questo caso saranno due piastre rettangolari di superficie 0,215 m^2

===

ESERCIZIO 6 pag. 39

Un aliante dalle seguenti caratteristiche si trova in volo alla quota Z = 3000 ft all'assetto corrispondente alla minima velocità discensionale in una corrente ascensionale (termica) di intensità w' = 1,5 m/s e rimane in tale condizione per 15 minuti.
Determinare la quota raggiunta.
Caratteristiche dell'aliante:
Peso…………………………………………………………………………………. Q = 5101 N
Superficie alare…………………………………………………………………… S = 25 m^2
Coefficiente di resistenza di profilo…………………………………………... Cro = 0,015
Apertura alare……………………………………………………………...……. b = 22 m

Soluzione:
Quota Z = 3000 ft = 914 m densità ρ_{914} = 1,121 Kg/m^3 allungamento alare λ = b^2/S = 22^2 / 25 = 19,36

Assetto di minima velocità discensionale $\left(E\sqrt{Cp}\right)max$
$Cp = \sqrt{3\,e\,\pi\,\lambda\,Cro}$ = 1,569 Cr = 4 Cro = 0,06 E = 1,569 / 0,06 = 26,15

Calcolo la velocità discensionale minima $w_{min} = \sqrt{\frac{2\,Q}{\rho\,S}}\,\frac{1}{(E\,\sqrt{Cp})_{max}} = \sqrt{\frac{2\;5101}{1{,}121\;25}}\,\frac{1}{(26{,}15\,\sqrt{1{,}569}}$ =0,296 m/s

Rispetto al terreno l'aliante salirà con velocità ascensionale w = w' – w_{min} = 1,5 – 0,296 = 1,204 m/s

Dopo 15 minuti avrà subito un incremento di quota ΔZ = w t = 1,204 15 60 = 1084 m

La quota raggiunta sarà quindi Z_1 = Z + ΔZ = 914 + 1084 = 1998 m = 6555 ft

==

ESERCIZIO 7 pag. 39

Un aliante avente le caratteristiche sotto indicate scende dalla quota di 10000 ft fino al livello del mare in assenza di vento impiegando 1 ora.
Determinare quanto tempo impiegherebbe se scendesse con lo stesso assetto con a bordo 1471 N di zavorra.
Determinare l'angolo di rampa minimo e il valore di w_{min} con e senza zavorra alla quota di 10000 ft.
Caratteristiche dell'aliante:
Peso…………………………………………………………………..Q = 4807 N
Superficie alare……………………………………………………….S = 19,6 m^2
Allungamento alare…………………………………………………..λ = 18
Coefficiente di resistenza di profilo…………………………….Cro = 0,015

Soluzione:
Quota media Z_m = 5000 ft = 1524 m densità ρ_{1524} = 1,055 Kg/m^3

Dato che il tempo di discesa è 1 ora (3600 secondi) la velocità discensionale risulta
w = ΔZ / t = 3048 / 3600 = 0,847 m/s posso quindi calcolare l'assetto con cui scende

$$(E\sqrt{Cp}) = \sqrt{\frac{2\,Q}{\rho\,S}}\ \frac{1}{w} = \sqrt{\frac{2\ 4807}{1{,}055\ 19{,}6}}\ \frac{1}{0{,}847} = 25{,}46$$

Con zavorra a bordo, stesso assetto la velocità discensionale risulta

$$w_{zav} = \sqrt{\frac{2\,(Q+Q_{zav})}{\rho\,S}}\ \frac{1}{E\sqrt{Cp}} = \sqrt{\frac{2\,(4807+1471)}{1{,}055\ \ 19{,}6}}\ \frac{1}{25{,}46} = 1{,}08 \text{ m/s}$$

Quindi il tempo di discesa con zavorra è $t_{zav} = \Delta Z / w_{zav} = 3048 / 1{,}08 =$ 2822 sec = 47' 2''

L'angolo di rampa non è influenzato dal peso quindi con e senza zavorra è lo stesso

Assetto E_{max} ………..… $Cp = \sqrt{e\,\pi\,\lambda\,Cro} = 0{,}874$ Cr = 2 Cro = 0,03 E_{max} = Cp / Cr = 29,12

Angolo di rampa minimo con e senza zavorra $\beta_{min} = arctg\ \frac{1}{E_{max}} =$ 1,97°

Assetto $(E\sqrt{Cp})\ max$ ….. $Cp = \sqrt{3\,e\,\pi\,\lambda\,Cro} = 1{,}513$ Cr = 4 Cro = 0,06 E = Cp/Cr = 25,22

Velocità discensionale minima senza zavorra $w_{min} = \sqrt{\frac{2\,Q}{\rho\,S}}\ \frac{1}{(E\sqrt{Cp})_{max}} =$ 0,695 m/s

Velocità discensionale minima con zavorra $w_{min} = \sqrt{\frac{2\,(Q+Q_{zav})}{\rho\,S}}\ \frac{1}{(E\sqrt{Cp})_{max}} =$ 0,794 m/s

===

ESERCIZIO 8 pag. 39

Un velivolo a getto scende con motore spento (T = 0) su una traiettoria inclinata sull'orizzonte di un angolo di rampa β = 75° alla quota Z = 1000 m.
Sapendo che il peso totale del velivolo Q = 55917 N la superficie alare S = 23 m^2 e la velocità sulla traiettoria V = 580 Km/h calcolare il coefficiente di portanza (il volo non è uniforme).
L'efficienza corrispondente all'assetto di volo è E = 2,2, calcolare il corrispondente coefficiente di resistenza e dedurre la resistenza addizionale che bisogna introdurre mediante freni aerodinamici per mantenere la velocità sulla traiettoria al valore V = 580 Km/h.
Calcolare inoltre la superficie dei freni aerodinamici nell'ipotesi che siano costituiti da due piastre piane ortogonali al vento relativo e aventi coefficiente di resistenza Crf = 1,7.

Soluzione:
Quota Z = 1000 m densità $\rho_{1000} = 1{,}111$ Kg/m^3 velocità V = 580 Km/h = 161,11 m/s

Il velivolo scende in volo librato non uniforme quindi le equazioni di equilibrio sono

P = Q cos β volo rettilineo

R < Q sen β volo non uniforme

Per renderlo uniforme si dovranno utilizzare i freni aerodinamici in modo che

$R + R_f = Q$ sen β

Dalla prima equazione calcolo il coefficiente di portanza $Cp = \frac{2\,Q\cos\beta}{\rho\,S\,V^2} = \frac{2\ 55917\ \cos 75°}{1{,}111\ \ 23\ \ 161{,}11^2} = 0{,}0436$

Coefficiente di resistenza Cr = Cp / E = 0,0436 / 2,2 = 0,0198

Posso quindi calcolare la resistenza dei freni aerodinamici $R_f = Q$ sen β – R

R_f = Q sen β – R = Q sen β – ½ ρ V^2 Cr S = 55917 sen 75° - ½ 1,111 $161{,}11^2$ 0,0198 23 = 47445 N

Dalla formula R_f = ½ ρ V^2 Cr_f S_f ricavo la superficie dei freni aerodinamici

$$S_f = \frac{2\,R_f}{\rho\,V^2\,Cr_f} = \frac{2\;\;47445}{1{,}111\;161{,}11^2\;1{,}7} = 1{,}93\ \mathrm{m}^2$$

===