SVOLGIMENTO CALCOLI COMPITO 8 Febbraio 2012

PARTE VELIVOLO AD ELICA

$ORIGIN := 1$

$W := 4400 \cdot kgf$ $\quad S := 27 \cdot m^2$ $\quad b := 15 \cdot m$ $\quad CD_0 := 0.028$ $\quad e := 0.80$ $\quad CL_{MAX} := 1.60$

$W_F := 700 \cdot kgf$

$\Pi_{ao} := 2 \cdot 550 \cdot hp$ $\quad \eta_p := 0.8$ $\quad SFC := 0.5 \cdot \frac{lbf}{hp \cdot hr}$ $\quad \rho_0 := 1.225 \cdot kg \cdot m^{-3}$

Calcolare la V del punto E e poi calcolare le altre V negli altri punti attraverso le relazioni con la radice quarta di 3. Non rifare il calcolo con la formula per ogni punto caratteristicocome e' mostrato qui.

$zcr := 5000 \cdot m$ $\quad zcl := 3000 \cdot m$ $\quad zglide := 5000 \cdot m$

$z := zcr$

a) punti caratteristici della polare

QUOTA z $\quad z = 5000\,m$

$AR := \frac{b^2}{S}$ $\quad AR = 8.333$ $\quad \sigma(z) := \frac{\rho(z)}{\rho_0}$ $\quad \sigma(z) = 0.601$ $\quad \sigma co := \sigma(z)$

$\sigma co = 0.601$

Attenzione nelle formula della velocità W deve essere espresso in [N], S in [m^2] e la densità in Kg/m^3. La velocità in uscita e' in [m/s]

PUNTO E

$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e}$ $\quad CL_E = 0.766$ $\quad CD_E := 2 \cdot CD_0$ $\quad CD_E = 0.056$ $\quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E}$ $\quad E_E = 13.675$

$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}}$ $\quad V_E(z) = 75.304 \frac{m}{s}$ $\quad V_E(z) = 271.094 \cdot \frac{km}{hr}$

rad quarta (3)=1.32
Vp=Ve / 1.32
Va=Ve*1.32

Per effetto quota usare la radice di sigma per passare da V a quota 0 a V a quota z.

ATTENZIONE, nella formula peso in [N] e densità in [kg/m^3] => V in [m/s]

$V_E(0 \cdot m) = 58.371 \cdot \frac{m}{s}$ $\quad V_E(0 \cdot m) = 210.136 \cdot \frac{km}{hr}$

In effetti la traccia non richiede i calcoli al livello del mare.
Ricordare, in ogni caso che per passare da livello del mare a quota o viceversa, pe la velocità vale:

$$VE(z) := \frac{VE(0m)}{\sqrt{\sigma(z)}}$$

e questo vale anche per gli altri punti caratteristici

$D_E := \frac{W}{E_E}$ $\quad D_E = 3155\,N$ $\quad D_E = 321.8 \cdot kgf$

$\Pi n_E(z) := D_E \cdot V_E(z)$ $\quad \Pi n_E(z) = 237.6 \cdot kW$ $\quad \Pi n_E(z) = 318.6 \cdot hp$

$\Pi n_E(0) = 184.2 \cdot kW$ $\quad \Pi n_E(0m) = 247 \cdot hp$

PUNTO P

$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E$ $\quad CL_P = 1.326$ $\quad CD_P := 4 \cdot CD_0$ $\quad CD_P = 0.112$ $\quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P}$ $\quad E_P = 11.843$

$E_P := \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot E_E$ $\quad E_P = 11.843$

$D_P := \dfrac{W}{E_P}$ $\quad D_P = 3644\,N \quad D_P = 371.5 \cdot kgf$

$D_P := \dfrac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}}$ $\quad D_P = 3644\,N \quad D_P = 371.5 \cdot kgf$

$V_P(z) := \sqrt{\dfrac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \dfrac{W}{S} \cdot \dfrac{1}{CL_P}}$ $\quad V_P(z) = 57.219\,\dfrac{m}{s} \quad V_P(z) = 205.987 \cdot \dfrac{km}{hr}$

$V_P(0 \cdot m) = 44.352\,\dfrac{m}{s} \quad V_P(0 \cdot m) = 159.669 \cdot \dfrac{km}{hr}$

La velocità in P è anche collegata a quella nel punto E (diviso radice quarta di 3 =1.32) e fornisce lo stesso risultato:

$Ve_P(z) := \dfrac{V_E(z)}{\sqrt{\sqrt{3}}}$ $\quad Ve_P(z) = 57.219\,\dfrac{m}{s} \quad Ve_P(z) = 205.987 \cdot \dfrac{km}{hr}$

$\Pi n_P(z) := D_P \cdot V_P(z)$ $\quad \Pi n_P(z) = 208.5 \cdot kW \quad \Pi n_P(z) = 279.6 \cdot hp$

$\Pi n_P(0) = 161.6 \cdot kW \quad \Pi n_P(0m) = 216.7 \cdot hp$

Ricordare anche che la potenza nel punto P e' legata a quella nel punto E dal coefficiente :

$$\Pi_P = D_P \cdot V_P = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot D_E\right) \cdot \left(\frac{V_E}{\sqrt[4]{3}}\right) = \frac{2}{\sqrt[4]{27}} \cdot \Pi_E = \frac{\Pi_E}{1.14}$$

PUNTO A

$CL_A := \dfrac{CL_E}{\sqrt{3}}$ $\quad CL_A = 0.442 \quad CD_A := \dfrac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.037 \quad E_A := \dfrac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 11.843$

$E_A := \dfrac{\sqrt{3}}{2} \cdot E_E \quad E_A = 11.843$

$D_A := \dfrac{W}{E_A}$ $\quad D_A = 3644\,N \quad D_A = 371.5 \cdot kgf$

$V_A(z) := \sqrt{\dfrac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \dfrac{W}{S} \cdot \dfrac{1}{CL_A}}$ $\quad V_A(z) = 99.106\,\dfrac{m}{s} \quad V_A(z) = 356.78 \cdot \dfrac{km}{hr}$

$V_A(0 \cdot m) = 76.821\,\dfrac{m}{s} \quad V_A(0 \cdot m) = 276.554 \cdot \dfrac{km}{hr}$

La velocità in A è anche collegata a quella nel punto E (moltiplica per radice quarta di 3 =1.32) e fornisce lo stesso risultato:

$Ve_A(z) := \sqrt{\sqrt{3}} \cdot V_E(z)$ $\quad Ve_A(z) = 99.106\,\dfrac{m}{s} \quad Ve_A(z) = 356.78 \cdot \dfrac{km}{hr}$

$\Pi n_A(z) := D_A \cdot V_A(z)$ $\quad \Pi n_A(z) = 361.1 \cdot kW \quad \Pi n_A(z) = 484.2 \cdot hp$

$\Pi n_A(0) = 279.9 \cdot kW \quad \Pi n_A(0m) = 375.3 \cdot hp$

Ricordare anche che la potenza nel punto A e' legata a quella nel punto E e P dal coefficiente

Come gia' detto prima le potenze dei punti A e P possono essere ricavate a valle del calcolo della potenza del punto E.

:

$$\Pi_A = D_A \cdot V_A = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot D_E\right) \cdot \left(\sqrt[4]{3} \cdot V_E\right) = 1.52 \cdot \Pi_E$$

$$\Pi_A = D_A \cdot V_A = (D_P) \cdot \left(\sqrt[4]{3} \cdot V_E\right) = (D_P) \cdot \left(\sqrt[4]{3} \cdot \sqrt[4]{3} \cdot V_P\right) = \sqrt{3} \cdot \Pi_P$$

Valori dei coefficienti allo stallo (opzionali e non necessari nelle prove scritte).
L'assetto di stallo rientra eventualmente nella prestazione di virata o nel calcolo della velocità di stallo.

Il Punto S non va calcolato al compito se non è espressamente richiesto o se non e' utile. Ad esempio, se si tratta di prestazioni di virata e calcolo di raggio minimo si dovra' operare nel punto S.

$$CDmax := CD_0 + \frac{CL_{MAX}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \qquad CDmax = 0.15$$

$$CD_S := (CDmax) \qquad E_S := \frac{CL_{MAX}}{CD_S} \qquad E_S = 10.65$$

$$D_S := \frac{W}{E_S} \qquad D_S = 413.14 \cdot kgf$$

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}} \qquad V_S(z) = 52.097 \frac{m}{s} \qquad V_S(z) = 187.549 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_S(0 \cdot m) = 40.382 \frac{m}{s} \qquad V_S(0 \cdot m) = 145.377 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$\Pi n_S(z) := D_S \cdot V_S(z) \qquad \Pi n_S(z) = 211.1 \cdot kW \qquad \Pi n_S(z) = 283 \cdot hp$$

$$\Pi n_S(0 \cdot m) = 163.608 \cdot kW \qquad \Pi n_S(0m) = 219.4 \cdot hp$$

Riepilogo PUNTI CARATTERISTICI per quantità

Attenzione nelle formula della velocità W deve essere espresso in [N], S in [m^2] e la densità in Kg/m^3. La velocità in uscita e' in [m/s]

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \qquad V_E(z) = 75.304 \frac{m}{s} \qquad V_E(z) = 271.094 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_E(0 \cdot m) = 58.371 \cdot \frac{m}{s} \qquad V_E(0 \cdot m) = 210.136 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \qquad V_P(z) = 57.219 \frac{m}{s} \qquad V_P(z) = 205.987 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_P(0 \cdot m) = 44.352 \frac{m}{s} \qquad V_P(0 \cdot m) = 159.669 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \qquad V_A(z) = 99.106 \frac{m}{s} \qquad V_A(z) = 356.78 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_A(0 \cdot m) = 76.821 \frac{m}{s} \qquad V_A(0 \cdot m) = 276.554 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}}$$

$V_S(z) = 52.097 \frac{m}{s}$ $\quad V_S(z) = 187.549 \cdot \frac{km}{hr}$

$V_S(0 \cdot m) = 40.382 \frac{m}{s}$ $\quad V_S(0 \cdot m) = 145.377 \cdot \frac{km}{hr}$

$D_E := \frac{W}{E_E}$ $\quad D_E = 3155\,N$ $\quad D_E = 321.8 \cdot kgf$

$D_P := \frac{W}{E_P}$ $\quad D_P = 3644\,N$ $\quad D_P = 371.5 \cdot kgf$

$D_A := \frac{W}{E_A}$ $\quad D_A = 3644\,N$ $\quad D_A = 371.5 \cdot kgf$

$\Pi n_E(z) := D_E \cdot V_E(z)$ $\quad \Pi n_E(z) = 237.6 \cdot kW$ $\quad \Pi n_E(z) = 318.6 \cdot hp$

$\Pi n_E(0) = 184.2 \cdot kW$ $\quad \Pi n_E(0m) = 247 \cdot hp$

$\Pi n_P(z) := D_P \cdot V_P(z)$ $\quad \Pi n_P(z) = 208.5 \cdot kW$ $\quad \Pi n_P(z) = 279.6 \cdot hp$

$\Pi n_P(0) = 161.6 \cdot kW$ $\quad \Pi n_P(0m) = 216.7 \cdot hp$

$\Pi n_A(z) := D_A \cdot V_A(z)$ $\quad \Pi n_A(z) = 361.1 \cdot kW$ $\quad \Pi n_A(z) = 484.2 \cdot hp$

$\Pi n_A(0) = 279.9 \cdot kW$ $\quad \Pi n_A(0m) = 375.3 \cdot hp$

$\Pi n_S(z) := D_S \cdot V_S(z)$ $\quad \Pi n_S(z) = 211.1 \cdot kW$

$\Pi n_S(0 \cdot m) = 163.608 \cdot kW$

b) CALCOLO VELOCITA' MASSIMA (Fi=100%) IN VOLO LIVELLATO ad una certa quota

$\phi := 1.0$ **QUI ASSEGNARE GRADO AMMISSIONE (vel max =1 crociera 0.75 o 0.80)**

Calcolo iterativo della velocità in volo livellato alla quota specificata e al grado di ammissione impostato

Prima iterazione Kv=1 CD =1.1CDo $\quad z = 5000\,m$ $\quad \sigma(z) = 0.601$

$\Pi d(z) := \Pi_{ao} \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p$ $\quad \Pi d(z) = 3.943 \times 10^5\,W$ $\quad \Pi d(z) = 528.74 \cdot hp$

$CD := 1.1 \cdot CD_0$ $\quad CD = 0.0308$

$K_V := 1$

Attenzione nella formula potenza in Watt, densità in Kg/m^3 e S in m^2.
Risultato in m/s

$$V := \sqrt[3]{\frac{2\cdot \Pi d(z)\cdot K_V}{\rho_0\cdot \sigma(z)\cdot S\cdot CD}} \qquad V = 108.812\,\frac{m}{s} \qquad V = 391.722\cdot\frac{km}{hr}$$

Seconda iterazione Kv valutato con la velocità stimata nella prima iterazione e nuova velocità calcolata sempre dalla formula che esprime l'equilibrio tra potenza necessaria e disponibile in volo livellato. CD successivamente calcolato in funzione del CL di equilibrio in volo livellato (questo funzione della velocità dalla equazione L=W)

$$K_V := 1 + 0.0080\cdot\left(\frac{V}{100\cdot\frac{km}{hr}}\right)^2 \qquad K_V = 1.123$$

Kv dal grafico fornito
o dall'equazione

$$V := \sqrt[3]{\frac{2\cdot \Pi d(z)\cdot K_V}{\rho_0\cdot \sigma(z)\cdot S\cdot CD}} \qquad V = 113.093\,\frac{m}{s} \qquad V = 407.136\cdot\frac{km}{hr}$$

Iterazioni successive

Iterazione 2 Kv fix e CD =NUOVO calcolato con il CL calcolato a sua volta in funzione della nuova V

$$CL := \frac{2\cdot W}{\rho_0\cdot \sigma(z)\cdot S\cdot V^2} \qquad CL = 0.3395$$

Nella formula W in [N]

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi\cdot AR\cdot e} \qquad CD = 0.0335$$

$$K_{Vnew} := 1 + 0.0080\cdot\left(\frac{V}{100\cdot\frac{km}{hr}}\right)^2 \qquad K_{Vnew} = 1.133$$

Da ora in poi USO il Kv della prima iterazione , quello nuovo è praticamente quasi uguale, infatti la velocità calcolata con i due valori di Kv (vedi sotto) ha differenze al di sotto di 1 Km/h

$$V := \sqrt[3]{\frac{2\cdot \Pi d(z)\cdot K_{Vnew}}{\rho_0\cdot \sigma(z)\cdot S\cdot CD}} \qquad V = 110.286\,\frac{m}{s} \qquad V = 397.029\cdot\frac{km}{hr}$$

Calcolo fatto solo per verifica, ma inessenziale

$$V := \sqrt[3]{\frac{2\cdot \Pi d(z)\cdot K_V}{\rho_0\cdot \sigma(z)\cdot S\cdot CD}} \qquad V = 109.965\,\frac{m}{s} \qquad V = 395.875\cdot\frac{km}{hr}$$

CONSIDERO QUESTA V e Kv bloccato per successive iterazioni

Iterazione 3 Kv fix e CD =NUOVO calcolato con il CL calcolato a sua volta in funzione della nuova V

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \qquad CL = 0.359$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \qquad CD = 0.03416$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \qquad V = 109.259 \frac{m}{s} \qquad V = 393.334 \cdot \frac{km}{hr}$$

Ci si potrebbe fermare. Al compito solitamente 3 iterazioni bastano !!!
Come detto piu' volte è sufficiente avere una differenza inferuiore al 1%. Su 390 Km/h circa cio' significa una differenza di circa 3 Km/h.
In tal caso alla terza iterazione si è giunti ad una differenza di =395.8-393.3=2.5 Km/h che puo' essere considerata piu' che buona !

Ci si potrebbe anche fermare qui(la differenza tra la seconda e la terza iterazione fornisce poco piu' di 1-2 Km/h di differenza, ma se si vuole scendere al di sotto del Km/h di precisione, si puo' fare una quarta iterazione. In effetti bisognerebbe ragionare in %, cioè quando la differenza e' ad esempio inferiore al 3%.

Iterazione 4 Kv fix e CD =NUOVO

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \qquad CL = 0.364$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \qquad CD = 0.03432$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \qquad V = 109.089 \frac{m}{s} \qquad V = 392.719 \cdot \frac{km}{hr}$$

FINITO !!!!

CALCOLO DEI CONTRIBUTI DI RESISTENZA PARASSITA E RESISTENZA INDOTTA (cioe' dovuta alla portanza) alla VELOCITA' CALCOLATA (non richiesto)

$q := 0.5 \cdot \rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot V \cdot V$

$q = 4.379 \times 10^3 \, Pa$

$Dpar := q \cdot S \cdot CD_0 \qquad Dpar = 3.311 \times 10^3 \, N \qquad Dpar = 337.618 \cdot kgf$

$CDind := CD - CD_0 \qquad CDind = 0.00632$

$Dind := q \cdot S \cdot CDind \qquad Dind = 747.107 \, N \qquad Dind = 76.184 \cdot kgf$

$Dtot := Dpar + Dind \qquad Dtot = 4.058 \times 10^3 \, N \quad Dtot = 413.802 \cdot kgf$

Calcolo da non fare se non espressamente richiesto.

c) Massimo rateo di salita - Nel caso di Velivolo ad elica viene valutato nel punto P, nell'ipotesi di potenza disponibile costante con la velocità

QUOTA S/L

$V_P(0 \cdot m) = 44.352 \frac{m}{s}$

$V := V_P(0 \cdot m)$ $\quad V = 44.352 \frac{m}{s}$ $\quad V = 159.669 \cdot \frac{km}{hr}$

$K_V := 1 + 0.0080 \cdot \left(\frac{V}{100 \cdot \frac{km}{hr}} \right)^2$ $\quad K_V = 1.02$ Kv dal grafico

$K_{VP0} := K_V$

Kv (Effetto RAM del Turboelica) è piccolo e teoricamente trascurabile !

La potenza disponibile è funzione della potenza di targa, del grado di ammissione (qui =1 perchè la condizione e' quella di massima manetta), del rendimento propulsivo dell'elica, dell'effetto della quota (schematizzato con il rapp delle densita')

In caso di salita in condizioni OEI si deve usare solo 1 motore ed usare quindi metà potenza

$\Pi d(z) := 0.5 \cdot \Pi_{ao} \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p$

Trascuriamo il Kv (vedi prima) perchè nel punto P le velocità sono basse (anche perchè il velivolo è non eccessivamente pesante

$\Pi d(0) = 328 \cdot kW$ $\quad \Pi d(0) = 440 \cdot hp$

La Potenza necessaria è anch'essa valutata nel punto P, sempre a quota S/L

$\Pi n_P(0) = 161.6 \cdot kW$ $\quad \Pi n_P(0) = 216.708 \cdot hp$

Nella formula potenze in Watt e peso in [N]

$RC_{max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_P(z)}{W}$ $\quad RC_{max}(0 \cdot m) = 3.859 \frac{m}{s}$ $\quad RC_{max\_0} := RC_{max}(0 \cdot m)$

$RC_{max}(0 \cdot m) = 759.625 \cdot \frac{ft}{min}$

angolo di salita corrispondente

$teta := \frac{RC_{max}(0 \cdot m)}{V}$ $\quad teta = 0.087$ $\quad tetag := teta \cdot 57.3$ $\quad tetag = 4.985$ $\quad deg$

Per il calcolo della quota di tangenza pratica posso adottare 2 metodi.

Metodo 1) estrapolazione lineare

Calcolo RCmax sempre OEI) ad una seconda quota e poi trovo la quota alla quale RCmax=0.5 m/s (tang pratica) o anche quella teorica (RCmax=0)

Calcolo Rateo di salita (sempre OEI) a quota z (scelta z=3000 m)

$z := zcl$

$z = 3000\,m$ $\quad \sigma(z) = 0.742$

$V_P(z) = 51.486 \frac{m}{s}$

$V := V_P(z)$ $\quad V = 51.486\,\frac{m}{s}$ $\quad V = 185.35\cdot\frac{km}{hr}$

$K_V := 1 + 0.0080\cdot\left(\frac{V}{100\cdot\frac{km}{hr}}\right)^2$ $\quad K_V = 1.027$

Kv dal grafico o dalla formula qui riportata

$K_{VPz} := K_V$

Anche in questo caso Kv è piccolo, lo si puo' trascurare.
Kv trascurato

$\Pi d(z) := 0.5\cdot\Pi_{ao}\cdot\phi\cdot\sigma(z)\cdot\eta_p$ $\quad$ Questa formula per condizioni OEI

$\Pi d(z) = 243\cdot kW$ $\quad \Pi d(z) = 327\cdot hp$

La Potenza necessaria è anch'essa valutata nel punto P, sempre alla quota data

$z = 3000\,m$ $\quad \Pi n_P(z) = 188\cdot kW$ $\quad \Pi n_P(z) = 252\cdot hp$

$RC_{max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_P(z)}{W}$ $\quad RC_{max}(z) = 1.295\,\frac{m}{s}$

è evidente che tale quota è inferiore a quella di tangenza sia pratica che teorica.

Quota tangenza pratica per estrapolazione. Calcolo termine noto e coefficiente angolare della retta (funzione lineare):

$fa := RC_{max\_0}$ $\quad fa = 3.859\,\frac{m}{s}$ $\quad fb := \frac{\left(RC_{max}(z) - RC_{max\_0}\right)}{z}$ $\quad fb = -0.000855\,\frac{1}{s}$

L'equazione seguente , che assume andamento lineare di RCmax con la quota :

$RC\_max(z) := fa + fb\cdot z$

permette sia il calcolo della quota di tangenza teorica (absolute ceiling)

$z\_tt\_est := \frac{(-fa)}{fb}$ $\quad z\_tt\_est = 4516\,m$

in modo analogo, ponendo RC_max=0.5 m/s, si può ricavare la quota di tangenza PRATICA (service ceiling)

$z\_tpr\_est := \frac{\left(-fa + 0.5\cdot\frac{m}{s}\right)}{fb}$ $\quad z\_tpr\_est = 3931\,m$

Metodo 2)
QUOTA di TANGENZA TEORICA e pratica - METODO CORRETTO ED ELEGANTE

QUOTA di TANGENZA TEORICA (Approccio piu' corretto)
Scrivo la formula che esprime
RC_MAX e pongo =0

$$RC_{MAX} = \frac{\Pi_d}{W} - \frac{\Pi_{MIN}}{W}$$

$K_V := 1.0$

$$\Pi_{MIN} = \Pi_P = V_P\cdot D_P = \frac{V_E}{1.32}\cdot\frac{W}{E_P} = \frac{V_E}{1.32}\cdot\frac{W}{E_{MAX}}\frac{2}{\sqrt{3}} = 0.875\frac{V_E}{}\cdot\frac{W}{E_{MAX}}$$

Scrivendo l'equazione ed impostando RC_max=0 si viene a trovare una equazione nel'incognita sigma. Si dovra' quindi ricavare una sigma_tt (sigma in corrispondenza della quota di tangenza teorica). La potenza necessaria dipende dalla quota in quanto Vp dipende dalla quota (come 1/(sigma)^0.5, cioe' inverso della radice) mentre Dp non dipende dalla quota

$K_V = 1$

$$RC_{MAX} = \frac{\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma(z) \cdot K_v}{W} - \frac{D_P \cdot \frac{V_{Po}}{\sqrt{\sigma}}}{W} \qquad V_{Po} = \sqrt{\frac{2}{\rho_o} \frac{W}{S} \frac{1}{CL_P}}$$

ed in corrispondenza della quota di tangenza teorica il valore di RCmax =0

$$RC_{MAX} = \frac{1}{W}\left[\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma_{TT} \cdot K_v - D_P \cdot \frac{V_{Po}}{\sqrt{\sigma_{TT}}}\right] = 0$$

quindi :

$$\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma_{TT} \cdot K_v = D_P \cdot \frac{V_{Po}}{\sqrt{\sigma_{TT}}}$$

$$\sigma_{TT}^{3/2} = \frac{D_P \cdot V_{Po}}{\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot K_v}$$

cioè :

$$\sigma_{TT} = \left[\frac{D_P \cdot V_{Po}}{\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot K_v}\right]^{2/3}$$

dove essendo OEI, al denominatore va la meta' della potenza all'albero :

$$\sigma_{TT} = \left[\frac{D_P \cdot V_{Po}}{0.5 \cdot \Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot K_v}\right]^{2/3}$$

CONDIZIONI OEI

$D_P = 3644\,N \qquad V_P(0 \cdot m) = 44.352 \frac{m}{s} \qquad V_P(0 \cdot m) = 159.669 \cdot \frac{km}{hr}$

$\Pi_{ao} = 820.3 \cdot kW \qquad \eta_p = 0.8 \qquad K_V = 1$

Valuto numeratore e deominatore della formula per calcolare la sigma alla quota di tangenza teorica

$Num := D_P \cdot V_P(0 \cdot m) \qquad Num = 161.6 \cdot kW$

$Den := 0.5 \cdot \Pi_{ao} \cdot K_V \cdot \eta_p \qquad Den = 328.1 \cdot kW$

CONDIZIONI OEI (metà potenza all'albero)

$sigmaTT := \left(\frac{Num}{Den}\right)^{\frac{2}{3}} \qquad sigmaTT = 0.624$

Con questo valore di sigma si puo' andare nella tabella aria tipo ed individuare la quota corrispondente in atmosfera ISA.

Calcolata la sigma entrare nella tabella dell'atmosfera ISA. Non fare il calcolo come mostrato qui di seguito. E' una inutile perdita di tempo.

Oltre che graficamente, Analiticamente, tramite le note relazioni, si può ricavare il rapporto delle temperature e la quota corrispondente in modo esatto

$RappTemp := (sigmaTT)^{\left(\frac{1}{4.256}\right)} \qquad RappTemp = 0.895 \qquad Temp := RappTemp \cdot 288.15$

$Temp = 257.893 \qquad z\_tt\_es := \frac{(288.15 - Temp) \cdot 1000m}{6.5}$

Quota di tangenza teorica da formula $\qquad z\_tt\_es = 4655\,m \qquad htang := z\_tt\_es$

Tale quota, è piu' precisa ed infatti leggermente diversa da qualla calcolata con il metodo (a) che era= 4516 m.

Facciamo notare che la quota di tangenza pratica non si puo' ricavare direttamente dall'equazione come fatto per quella teorica. Infatti se scrivo l'equazione e pongo RCmax=0.5 m/s ottengo un'equazione non risolvibile facilmente, ma solo numericamente:

$$RC_{MAX} = \frac{\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma(z) \cdot K_v}{W} - \frac{D_P \cdot \frac{V_{Po}}{\sqrt{\sigma}}}{W} = 0.5$$

$$\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma_{TP} \cdot K_v = D_P \cdot \frac{V_{Po}}{\sqrt{\sigma_{TP}}} + 0.5$$

$$\Pi_{ao} \cdot \eta_P \cdot \sigma_{TP}^{3/2} \cdot K_v - 0.5 \cdot \sigma_{TP}^{1/2} - D_P \cdot V_{Po} = 0$$

Equazione nella variabile sigmaTP (tangenza pratica) non risolvibile analiticamente in modo semplice

Quota di tangenza pratica per interpolazione (assumo andamento lineare)

$RC_{max\_0} = 3.859 \frac{m}{s}$ sempre condiz OEI

Il secondo punto è il rateo alla quota di tangenza teorica precedentemente calcolata

$RC_{max\_ztt} := 0$

$z\_tt\_es = 4655\,m$

$fa := RC_{max\_0}$ $\quad fa = 3.859 \frac{m}{s}$ $\quad fb := \frac{(RC_{max\_ztt} - RC_{max\_0})}{z\_tt\_es}$ $\quad fb = -0.000829 \frac{1}{s}$

L'equazione, che assume andamento lineare di RCmax con la quota :

$$RC\_max(z) := fa + fb \cdot z$$

permette, ponendo RC_max=0.5 m/s, di ricavare la quota di tangenza PRATICA (service ceiling) praticamente per interpolazione lineare

$$z\_tpr\_interp := \frac{\left(-fa + 0.5 \cdot \frac{m}{s}\right)}{fb} \qquad z\_tpr\_interp = 4052\,m$$

QUOTA TANGENZA PRATICA Ztp=4052 m

d) Massimo range velivolo ad elica

$z := zcr$

$z = 5000\,m$

$hp = 745.7\,W$

Peso iniziale = W
Peso finale = W-WF (peso massimo - peso del combustibile)

Per rendere la formula di Breguet dimensionalmente corretta bisogna trasformare SFC (lb/(hp hr)) in unità del sistema internazionale con C [N/(Watt sec)], cioè 1/m.

Sapendo che:
1 N = (1/9.81 Kgf) = (1/(9.81*0.454)) lbf = (1/4.45) lbf = 0.2247 lbf
1 Watt = (1/745.7) hp = 0.001341 hp
1 sec=(1 hr/3600) = (1/3600) hr = 0.000278 hr

Si ha che:

c [N/Watt sec] = 1/(3600*745.7/4.45)=1/603263 SFC [lb/(hp hr)]

Quindi il coefficiente che serve per rendere tutto dimensionalmente corretto (usando SFC dato in input è =603263 con il Range espresso in [m]. Per cui sarà 603.3 con il range espresso in [Km].
Quindi la formula di Breguet diventa

$$R_{max} := \frac{\eta_p}{c} \cdot E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \qquad R_{max} := 603.3 \cdot \frac{\eta_p}{SFC} E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right)$$ con Rmax in [Km]

o anche, ponendo $W_1 := W - W_F$

$$R_{max} := \frac{\eta_p}{c} \cdot E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W_1}\right)$$

Il peso iniziale Wo è uguale al peso W(massimo al decollo)

$$\eta_p = 0.8 \qquad SFC = 8.285 \times 10^{-7} \frac{1}{m} \qquad SFC = 0.5 \cdot \frac{lbf}{hp \cdot hr} \qquad E_E = 13.675$$

$$R_{max} := \frac{\eta_p}{SFC} \cdot E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W_1}\right) \qquad R_{max} = 2287958\,m \qquad R_{max} = 2288 \cdot km$$

Con assetto pari a quello del punto E (max range elica) la velocità EAS ad inizio missione sarà:

$$V_{E\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \qquad V_{E\_EAS} = 58.371 \frac{m}{s} \qquad V_{E\_EAS} = 210.136 \cdot \frac{km}{hr} \quad \text{(EAS)CAS}$$

Ipotesi quota costante -calcolo vel finale

$$V_{E\_fin\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W_1}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \qquad V_{E\_fin\_EAS} = 53.527 \frac{m}{s} \qquad V_{E\_fin\_EAS} = 192.697 \cdot \frac{km}{hr}$$

o anche, in modo elegante:

$$V_{E\_fin\_EAS} := V_{E\_EAS} \cdot \left(\sqrt{\frac{W_1}{W}}\right) \qquad V_{E\_fin\_EAS} = 53.527 \frac{m}{s} \qquad V_{E\_fin\_EAS} = 192.697 \cdot \frac{km}{hr}$$

Se il pilota imposta una velocità di 300 Km/hr ad inizio crociera (peso W)

$$Vrange\_CAS := 300 \cdot \frac{km}{hr} \qquad Vrange\_CAS = 83.333 \frac{m}{s}$$

calcolo l'assetto corrispondente a questa V iniziale (l'assetto sarà costante per tutto il range):

$$CL_{range} := \frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{Vrange\_CAS^2} \qquad CL_{range} = 0.376$$

$$CD_{range} := CD_0 + \frac{CL_{range}^{\;2}}{\pi \cdot AR \cdot e} \qquad CD = 0.03432 \qquad E_{range} := \frac{CL_{range}}{CD_{range}} \qquad E_{range} = 10.815$$

$$R_{max2} := \frac{\eta_p}{SFC} \cdot E_{range} \cdot \ln\left(\frac{W}{W_1}\right) \qquad R_{max2} = 1809512\,m \qquad R_{max2} = 1809.5 \cdot km$$

Velivolo a getto

$W := 10200 \cdot kgf$ $\quad S := 29. \cdot m^2$ $\quad b := 16.5 \cdot m$ $\quad CD_0 := 0.020$ $\quad e := .8$ $\quad CL_{max} := 1.5$

$CL_{maxTO} := 2.1$ $\quad W_F := 2000 \cdot kgf$ $\quad T_0 := 2 \cdot 2000 \cdot kgf$ $\quad SFCJ := 0.5 \cdot \frac{lbf}{lbf \cdot hr}$

$M_{DD} := .83$ $\quad z\_cr := 10000 \cdot m$ $\quad fpar := CD_0 \cdot S$ $\quad fpar = 0.58\,m^2$

$be := b \cdot (e)^{0.5}$ $\quad be = 14.758\,m$

$\sigma := \frac{\rho(z\_cr)}{\rho_0}$ $\quad \sigma = 0.337$

$R := 287 \cdot \frac{Pa}{K \cdot kg \cdot m^{-3}}$ $\quad R = 287\,\frac{m^2}{K \cdot s^2}$ $\quad T := 288 \cdot K - 0.0065 \cdot \frac{K}{m} \cdot z\_cr$

$a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T}$ $\quad a = 299.335\,\frac{m}{s}$

Qui sono calcolati tutti i punti caratteristici. Se non e' espressamente richiesto, al compito per il velivolo a Jet non calcolarli tutti, ma solo alcuni dati rilevanti. In particolare, sia per la V massima che per il calcolo di RCmax, è necessario calcolare i coefficienti e la resistenza e la V nel punto E.

punti caratteristici della polare (non necessari tutti)

$AR := \frac{b^2}{S}$ $\quad AR = 9.388$

$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e}$ $\quad CL_E = 0.687$ $\quad CD_E := 2 \cdot CD_0$ $\quad CD_E = 0.04$ $\quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E}$ $\quad E_E = 17.174$

$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E$ $\quad CL_P = 1.19$ $\quad CD_P := 4 \cdot CD_0$ $\quad CD_P = 0.08$ $\quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P}$ $\quad E_P = 14.873$

$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}}$ $\quad CL_A = 0.397$ $\quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0$ $\quad CD_A = 0.027$ $\quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A}$ $\quad E_A = 14.873$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare in quota (quota crociera)

$z\_cr = 10000\,m$

$z := z\_cr \quad \sigma := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \qquad \sigma = 0.337 \qquad fatt\_h := \frac{1}{(\sigma)^{0.5}} \qquad fatt\_h = 1.723$

$T := 288\cdot K - 0.0065\cdot\frac{K}{m}\cdot z \qquad a := \sqrt{1.4\cdot R\cdot T} \qquad a = 299.335\,\frac{m}{s}$

$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0\cdot\sigma}\cdot\frac{W}{S}\cdot\frac{1}{CL_E}} \qquad V_E = 156.009\,\frac{m}{s} \qquad V_E = 561.633\cdot\frac{km}{hr} \qquad ME := \frac{V_E}{a} \qquad ME = 0.521$

$V_P := \sqrt{\frac{2}{\rho_0\cdot\sigma}\cdot\frac{W}{S}\cdot\frac{1}{CL_P}} \qquad V_P = 118.541\,\frac{m}{s} \qquad V_P = 426.748\cdot\frac{km}{hr} \qquad MP := \frac{V_P}{a} \qquad MP = 0.396$

$V_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0\cdot\sigma}\cdot\frac{W}{S}\cdot\frac{1}{CL_A}} \qquad V_A = 205.319\,\frac{m}{s} \qquad V_A = 739.15\cdot\frac{km}{hr} \qquad MA := \frac{V_A}{a} \qquad MA = 0.686$

$D_E := \frac{W}{E_E} \qquad D_E = 5.825\times 10^3\,N \qquad D_E = 593.9\cdot kgf$

$D_P := \frac{W}{E_P} \qquad D_P = 6.726\times 10^3\,N \qquad D_P = 685.8\cdot kgf$

$D_A := \frac{W}{E_A} \qquad D_A = 6.726\times 10^3\,N \qquad D_A = 685.8\cdot kgf$

$\Pi E := D_E\cdot V_E \qquad \Pi E = 908.7\cdot kW \qquad \Pi E = 1218.6\cdot hp$

$\Pi A := D_A\cdot V_A \qquad \Pi A = 1380.9\cdot kW \qquad \Pi A = 1851.8\cdot hp$

$\Pi P := D_P\cdot V_P \qquad \Pi P = 797.3\cdot kW \qquad \Pi P = 1069.1\cdot hp$

e) Massima autonomia di durata

Per il velivolo a getto la max endurance si ha nel punto E

$CL_E = 0.687 \qquad CD_E = 0.04 \qquad E_E = 17.174$

Partendo dalla definizione di consumo specifico e ricavando il dt e poi integrando :

$$dt = -\frac{dW_f}{c_j\,T_d} = -\frac{dW}{c_j\,T_d} \qquad \int_0^{En} dt = En = -\int_{W_0}^{W_1}\frac{dW}{c_j\,T_d}$$

Ma la spinta del motore deve eguagliare la resistenza in volo livellato uniforme, ed inoltre D=W/E quindi:

$$En = -\int_{W_0}^{W_1}\frac{1}{c_j}\cdot\frac{L}{D}\cdot\frac{dW}{W} \qquad En = \frac{1}{c_j}\cdot\frac{C_L}{C_D}\cdot ln\frac{W_0}{W_1}$$

e tale formula va applicata nel punto E per massimizzare l'Endurance

La formula di Breguet (max Endurace getto):

NB: usando SFCJ dato (1/hr) il risultato è espresso diettamente in [hr]

$W_1 := W - W_F \qquad W_1 = 8200\,kgf$

$$End_{max} := \frac{1}{SFCJ}\cdot\frac{CL_E}{CD_E}\cdot\ln\left(\frac{W}{W_1}\right) \qquad End_{max} = 7.496\cdot hr$$

$z\_end := 10000\cdot m$ QUOTA di volo alla quale viene effettuata la missione di Endurance

$$\sigma\_end := \frac{\rho(z\_end)}{\rho_0} \qquad \sigma\_end = 0.337 \qquad \sigma := \sigma\_end \qquad \sigma = 0.337$$

$$T := 288\cdot K - 0.0065\cdot\frac{K}{m}\cdot z\_end \qquad a := \sqrt{1.4\cdot R\cdot T} \qquad a = 299.335\,\frac{m}{s}$$

CONDIZIONI INIZIO ATTESA (LOITERING)

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0\cdot\sigma\_end}\cdot\frac{W}{S}\cdot\frac{1}{CL_E}} \qquad V_E = 156.009\,\frac{m}{s} \quad V_E = 561.633\cdot\frac{km}{hr} \qquad ME := \frac{V_E}{a}$$

TAS e Mach

$V_E = 303.257\cdot knot \qquad ME = 0.521$

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0}\cdot\frac{W}{S}\cdot\frac{1}{CL_E}} \qquad V_E = 90.542\,\frac{m}{s} \quad V_E = 325.95\cdot\frac{km}{hr}$$

EAS-CAS

$V_E = 175.999\cdot knot$

CONDIZIONI FINE MISSIONE (peso = W1=W-Wfuel), combustibile consumato

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0\cdot\sigma\_end}\cdot\frac{(W_1)}{S}\cdot\frac{1}{CL_E}} \qquad V_E = 139.88\,\frac{m}{s} \quad V_E = 503.569\cdot\frac{km}{hr} \qquad ME := \frac{V_E}{a}$$

TAS e Mach

$V_E = 271.906\cdot knot \qquad ME = 0.467$

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0}\cdot\frac{(W_1)}{S}\cdot\frac{1}{CL_E}} \qquad V_E = 81.181\,\frac{m}{s} \quad V_E = 292.252\cdot\frac{km}{hr}$$

EAS-CAS

$V_E = 157.804\cdot knot$

f) Distanza di decollo

$W = 10200\cdot kgf \qquad CL_{maxTO} = 2.1 \qquad S = 29\,m^2 \qquad T_0 = 4000\cdot kgf$

$K_{ES} := 0.7 \qquad \Delta CDo := 0.020 \quad \mu := 0.03 \qquad CL_G := 0.7$

Qui sotto i valori dei K relativi alla definizione di velocità di lift-off e di superamento ostacolo. Inoltre specifico il valore del coefficiente di portanza (rispetto al CLmax_to) nella fase di involo.

$K_{VLO} := 1.1$ $\quad K_{V2} := 1.2$ $\quad K\_CL_{air} := 0.90$

$V_{STO} := \sqrt{\dfrac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{maxTO}}}$ $\quad V_{STO} = 51.784 \dfrac{m}{s}$ $\quad V_{STO} = 186.424 \cdot \dfrac{km}{hr}$

$V_{LO} := 1.1 \cdot V_{STO}$ $\quad V_{LO} = 56.963 \dfrac{m}{s}$ $\quad V_{LO} = 205.066 \cdot \dfrac{km}{hr}$

Calcolo della corsa al suolo

$$a = \frac{dV}{dt} \qquad V = \frac{dS}{dt} \qquad dS = \frac{VdV}{a} = \frac{1}{2}\frac{dV^2}{a}$$

Con accelerazione funzione della velocità : $S_g = \dfrac{1}{2}\displaystyle\int_0^{V_{LO}} \frac{dV^2}{a(V)}$

$$\left(\frac{W}{g}\right) a(V) = F_{x\_tot}(V) = T(V) - D(V) - \mu \cdot (W - L(V))$$

Spinta, resistenza e portanza funzioni di V

Calcolando tutte le forze in corrispondenza di una velocità media e valutando quindi una accelerazione media funzione di una forza media :

$$S_g = \frac{1}{2}\int_0^{V_{LO}} \frac{dV^2}{a(V)} = \frac{1}{2}\frac{V_{LO}^2}{a_m}$$

con

$$\left(\frac{W}{g}\right) a_m = F_{x\_tot\,m} = \left[T - D - \mu \cdot (W - L)\right]_m = \left[T - D - \mu \cdot (W - L)\right]_{V=0.70 V_{LO}}$$

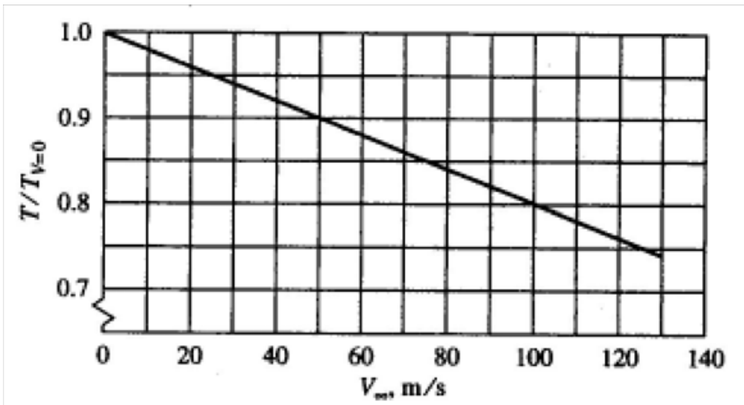
Velocità media (metodo 2) assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di lift-off perchè l'integrale è nella variabile indipendente V^2 e quindi 0.70 è quel numero tale che elevato al quarato fa 0.50, cioè e' :

$$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0.707 \approx 0.70$$

<u>Calcoliamo la velocità media per il calcolo delle forze e valutiamo le forze stesse:</u>

$V := 0.7 \cdot V_{LO}$ $\quad V = 39.874 \dfrac{m}{s}$ $\quad V = 143.546 \cdot \dfrac{km}{hr}$

<u>Calcolo spinta media motori:</u>



$KT := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}}$ $\quad KT = 0.92$ Fattore di riduzione spinta in decollo motore turbofan

Calcolo spinta media durante la corsa di decollo:

$T := (KT) \cdot T_0$ $\quad \frac{T}{T_0} = 0.92$ $\quad T = 3.61 \times 10^4 N$ $\quad T = 3681 \cdot kgf$

<u>Calcolo resistenza aerodinamica media durante corsa al suolo(CL=CLg):</u>

$CDind\_TO := \frac{CL_G^{\,2}}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES}$ $\quad CDind\_TO = 0.015$

$CD_G := CD_0 + \Delta CDo + \frac{CL_G^{\,2}}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES}$ $\quad CD_G = 0.055$

$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_G$ $\quad D = 1540.2\,N$ $\quad D = 157 \cdot kgf$

<u>Calcolo portanza aerodinamica media (durante corsa al suolo):</u>

$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_G$ $\quad L = 1.977 \times 10^4 N$ $\quad L = 2016 \cdot kgf$

<u>Calcolo forza attrito media (durante corsa al suolo):</u>

$Fa := \mu \cdot (W - L)$ $\quad Fa = 2.408 \times 10^3 N$ $\quad Fa = 246 \cdot kgf$ forza attrito

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=3681 Kgf	spinta media
D=157 Kgf	resistenza aerodinamica media
Fa=246 Kgf	forza attrito media

Fx_tot= 3278 Kgf forza tot media

Si vede, come noto, che la spinta è abastanza maggiore delle altre forze. Praticamente la forza totale è il 90% della spinta.

FORZA TOTALE MEDIA

$Fxtot := T - D - \mu \cdot (W - L)$ $Fxtot = 3.215 \times 10^4 N$ $Fxtot = 3278 \cdot kgf$

calcolo accelerazione media con peso $W = 10200 \cdot kgf$

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \qquad ac = 3.152 \frac{m}{s^2} \qquad ac\_g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

accelerazione adimensionale (in g)

Qui sotto il valore calcolato supponendo trascurabili le forze di resistenza in gioco (aerod + attrito), cioè metodo 3 degli appunti:

$$ac\_ad := \frac{ac}{ac\_g} \qquad ac\_ad = 0.321 \qquad ac\_ad\_approx := \frac{T}{W} \qquad ac\_ad\_approx = 0.361$$

Risolvendo l'integrale (metodo 2 appunti):

$$S_g = \frac{1}{2}\int_0^{V_{LO}} \frac{dV^2}{a(V)} = \frac{1}{2}\frac{V_{LO}^2}{a_m}$$

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot ac} \qquad S_G = 515\,m$$

CORSA AL SUOLO (metodo 2 appunti)

<u>CORSA INVOLO</u>

Qui ci sono i rapporti

Si è assunto (dati input) un CL nella fase di rotazione pari al 90% del massimo CL in config decollo, parametro KCLair sotto

KvLO è il rapporto assegnato tra VLO e la vel stallo al decollo
Kv2 è il rapporto assegnato tra la V2 (pass su ostacolo) e la vel stallo al decollo Vsto
KvR è il rapporto (calcolato come media tra i due precedenti) tra la vel bella fase di rotazione

$K_{LO} := 1.1$ $K_2 := 1.2$ $K_{CLair} := 0.90$

Calcolo velocità media durante corsa di involo (airborne) e stima del fattore di carico durante fase involo

$$K_{air} := \frac{(K_{LO} + K_2)}{2} \qquad K_{air} = 1.15$$

Velocità nella fase di involo come media tra la V lift-off e la V di passaggio sull'ostacolo. Frazione della velocità di stallo in decollo

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \qquad V_R = 59.552 \frac{m}{s}$$

$$n = \frac{L}{W} = \frac{\frac{1}{2}\rho \cdot (K_{air} \cdot V_{S\_TO})^2 \cdot S \cdot (K_{CLair} \cdot CL_{MAX\_TO})}{W}$$

Che per la definizione di velocità di stallo diventa:

$$n = \frac{L}{W} = (K_{air})^2 \cdot (K_{CLair}) = (1.15)^2 \cdot (0.90) = 1.19$$

$n_R := (K_{air})^2 \cdot K_{CLair}$ $\quad n_R = 1.19$ $\quad$ calcolo fattore di carico durante involo

$V_R := 1.15 \cdot V_{STO}$ $\quad V_R = 59.552 \frac{m}{s}$ $\quad V_R = 214.387 \cdot \frac{km}{hr}$ $\quad$ calcolo vel media durante involo

$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)}$ $\quad R = 1901\,m$ $\quad$ FORMULA raggio traiettoria della richiamata (pull-up man)

$h_o := 15 \cdot m$

$\theta := \operatorname{acos}\left(1 - \frac{h_o}{R}\right)$ $\quad \theta = 0.126$ $\quad \theta = 7.203 \cdot deg$ $\quad$ angolo salita su ostacolo

$S_A := R \cdot \sin(\theta)$ $\quad S_A = 238.329\,m$ $\quad$ calcolo corsa di INVOLO (AIRBORNE distance)

$S_{TO} := S_G + S_A$ $\quad S_{TO} = 753.043\,m$ $\quad$ CORSA TOTALE DI DECOLLO