

## Soluzione Compito Prestazioni del 20 Gennaio 2012

### PARTE ELICA

$$\text{ORIGIN} := 1$$

$$W := 3200 \cdot \text{kgf} \quad S := 22 \cdot \text{m}^2 \quad b := 14 \cdot \text{m} \quad CD_0 := 0.026 \quad e := 0.80 \quad CL_{MAX} := 1.50$$

$$W_F := 400 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_{ao} := 1.700 \cdot \text{hp} \quad \eta_p := 0.8 \quad SFC := 0.6 \cdot \frac{\text{lb}}{\text{hp} \cdot \text{hr}} \quad \rho_0 := 1.225 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$z := 4000 \cdot \text{m}$$

$$z_{cr} := z \quad z_{cl} := z$$

a) punti caratteristici della polare

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 8.909 \quad \sigma(z) := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma(z) = 0.669 \quad \sigma_{co} := \sigma(z) \quad \sigma_{co} = 0.669$$

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.763 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.052 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 14.673$$

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.322 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.104 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 12.707$$

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.441 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.035 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 12.707$$

Attenzione nelle formula W deve essere espresso in [N]

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E(z) = 67.565 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 243.234 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_E(0 \cdot \text{m}) = 55.247 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(0 \cdot \text{m}) = 198.889 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P(z) = 51.338 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(z) = 184.818 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_P(0 \cdot \text{m}) = 41.979 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(0 \cdot \text{m}) = 151.123 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A(z) = 88.92 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(z) = 320.113 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_A(0 \cdot \text{m}) = 72.709 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(0 \cdot \text{m}) = 261.753 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Calcoliamo anche la velocità di stallo

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}} \quad V_S(z) = 48.188 \frac{m}{s} \quad V_S(z) = 173.476 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_S(0 \cdot m) = 39.403 \frac{m}{s} \quad V_S(0 \cdot m) = 141.85 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 2139 N \quad D_E = 218.1 \cdot kgf$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 2470 N \quad D_P = 251.8 \cdot kgf$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 2470 N \quad D_A = 251.8 \cdot kgf$$

$$\Pi_{InE}(z) := D_E \cdot V_E(z) \quad \Pi_{InE}(z) = 144.5 \cdot kW \quad \Pi_{InE}(z) = 193.8 \cdot hp$$

$$\Pi_{InE}(0) = 118.2 \cdot kW \quad \Pi_{InE}(0m) = 158.5 \cdot hp$$

$$\Pi_{InP}(z) := D_P \cdot V_P(z) \quad \Pi_{InP}(z) = 126.8 \cdot kW \quad \Pi_{InP}(z) = 170 \cdot hp$$

$$\Pi_{InP}(0) = 103.7 \cdot kW \quad \Pi_{InP}(0m) = 139 \cdot hp$$

$$\Pi_{InA}(z) := D_A \cdot V_A(z) \quad \Pi_{InA}(z) = 219.6 \cdot kW \quad \Pi_{InA}(z) = 294.5 \cdot hp$$

$$\Pi_{InA}(0) = 179.6 \cdot kW \quad \Pi_{InA}(0m) = 240.8 \cdot hp$$

## b) Calcolo Velocità massima

$$\phi := 1 \quad \text{QUI ASSEGNARE GRADO AMMISSIONE}$$

Calcolo iterativo della velocità

Prima iterazione  $K_v=1$   $CD = 1.1 \cdot CD_0$  IL Motore e' turboelica, quindi bisognerà usare il fattore  $K_v$

$$\Pi d(z) := \Pi_{a0} \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p$$

$$\Pi d(z) = 2.792 \times 10^5 W \quad \Pi d(z) = 374.425 \cdot hp$$

$$CD := 1.1 \cdot CD_0 \quad CD = 0.0286$$

$$K_V := 1$$

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

Risultato in m/s

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 102.712 \frac{m}{s} \quad V = 369.761 \cdot \frac{km}{hr}$$

Seconda iterazione  $K_v$  valutato con la velocità stimata nella prima iterazione  $CD$  calcolato in funzione del  $CL$  di equilibrio

$$K_{V_{new}} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_V = 1.109 \quad \text{Kv dal grafico fornito o dalla formula}$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 106.328 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 382.779 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Iterazioni successive

**Iterazione 2**  $K_v$  fix e  $CD = \text{NUOVO}$

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.3081 \quad \text{Nella formula } W \text{ in [N]}$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03024$$

$$K_{V_{new}} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_{V_{new}} = 1.117$$

USO il  $K_v$  della prima iterazione, quello nuovo è inutile (quesi uguale)

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_{V_{new}}}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 104.616 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 376.617 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{Calcolo non utile, ma fatto per vedere che tra i due } K_v \text{ cambia poco}$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 104.371 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 375.734 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

**Iterazione 3**  $K_v$  fix e  $CD = \text{NUOVO}$

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.32$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03057$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 103.997 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 374.389 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Nel compito vi potete anche fermare qui. Quando la differenza in  $V$  è inferiore all'1%. In tal caso, con  $V=376 \text{ Km/h}$ , sarebbe sufficiente una differenza minore di  $3 \text{ Km/h}$ .

Potrei anche fermarmi qui in quanto la differenza su  $V$  è poco più di  $1 \text{ km/hr}$ , ma volendo fare anche una 4 iterazione ..

**Iterazione 4** Kv fix e CD =NUOVO

$$\underline{CL} := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.322$$

$$\underline{CD} := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03063$$

$$\underline{V} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 103.922 \frac{m}{s} \quad V = 374.121 \frac{km}{hr}$$

FINITO !!!!

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

$$q = 4.423 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$D_{par} := q \cdot S \cdot CD_0 \quad D_{par} = 2.53 \times 10^3 \text{ N} \quad D_{par} = 257.974 \cdot \text{kgf}$$

$$CD_{ind} := CD - CD_0 \quad CD_{ind} = 0.00463$$

$$D_{ind} := q \cdot S \cdot CD_{ind} \quad D_{ind} = 450.709 \text{ N} \quad D_{ind} = 45.96 \cdot \text{kgf}$$

$$D_{tot} := D_{par} + D_{ind} \quad D_{tot} = 2.981 \times 10^3 \text{ N} \quad D_{tot} = 303.934 \cdot \text{kgf}$$

**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

$$V_{P(0 \cdot m)} = 41.979 \frac{m}{s}$$

$$\underline{V} := V_{P(0 \cdot m)} \quad V = 41.979 \frac{m}{s} \quad V = 151.123 \frac{km}{hr}$$

$$\underline{K_V} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{km}{hr}} \right)^2 \quad K_V = 1.018 \quad K_V \text{ dal grafico}$$

Per il calcolo di RC ed RCmax usare questo approccio, cioè la formula generica , cioè RC=(Ecc POT)/Peso e poi applicarla nel punto P per velivolo ad elica.

Kv è piccolo e teoricamente trascurabile, ma ne possiamo tenere conto  $K_{VP0} := K_V$

$$\underline{\Pi d(z)} := \Pi_{a0} \cdot K_V \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p \quad \Pi d(0) = 425 \cdot \text{kW} \quad \Pi d(0) = 570.2 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi n_P(0) = 103.7 \cdot \text{kW} \quad \Pi n_P(0) = 139.022 \cdot \text{hp}$$

Nella formula potenze in Watt e peso in [N]

$$\frac{\Pi d(0 \cdot m)}{W} = 13.55 \frac{m}{s} \quad \frac{\Pi n_P(0 \cdot m)}{W} = 3.304 \frac{m}{s}$$

$$RC_{\max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_P(z)}{W} \quad RC_{\max}(0 \cdot m) = 10.247 \frac{m}{s}$$

angolo di salita corrispondente

$$teta := \frac{RC_{\max}(0 \cdot m)}{V} \quad teta = 0.244 \quad tetag := teta \cdot 57.3 \quad tetag = 13.986 \quad deg$$

o anche

$$Td := \frac{\Pi d(0)}{V} \quad Td = 1.013 \times 10^4 N \quad Td = 1032.9 \cdot kgf$$

$$Tn := D_P \quad Tn = 2.47 \times 10^3 N \quad Tn2 := \frac{\Pi n_P(0)}{V} \quad Tn2 = 251.8 \cdot kgf$$

$$teta := \frac{(Td - Tn)}{W} \quad teta = 0.244 \quad tetag := teta \cdot 57.3 \quad tetag = 13.986 \quad deg$$

Rateo di salita a quota z

$$z := z_{cl}$$

$$z = 4000 m$$

$$V_P(z) = 51.338 \frac{m}{s}$$

$$V := V_P(z) \quad V = 51.338 \frac{m}{s} \quad V = 184.818 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$K_V := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{km}{hr}} \right)^2 \quad K_V = 1.027 \quad K_V \text{ dal grafico o dalla formula qui riportata}$$

$$K_{VPh} := K_V$$

$$\Pi d(z) := \Pi_{ao} \cdot K_V \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_P \quad \Pi d(z) = 287 \cdot kW \quad \Pi d(z) = 385 \cdot hp$$

$$\Pi n_P(z) = 127 \cdot kW \quad \Pi n_P(z) = 170 \cdot hp$$

$$\frac{\Pi d(z)}{W} = 9.14 \frac{m}{s} \quad \frac{\Pi n_P(z)}{W} = 4.04 \frac{m}{s}$$

$$RC_{\max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_P(z)}{W} \quad RC_{\max}(z) = 5.1 \frac{m}{s}$$

QUOTA DI TANGENZA PER ESTRAPOLAZIONE (se  $RC_{\max}(z)$  è lineare)

La quota di tangenza potrebbe essere ricavata per estrapolazione

$$fa := RC_{\max}(0 \cdot m) \quad fa = 10.367 \frac{m}{s} \quad z = 4 \times 10^3 m$$

$$RC_{\max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_P(z)}{W} \quad RC_{\max}(z) = 5.1 \frac{m}{s}$$

$$fb := \frac{(RC_{\max}(z) - RC_{\max}(0\cdot m))}{z} \quad fb = -0.001317 \frac{1}{s}$$

$$htt\_LIN := \frac{-fa}{fb} \quad htt\_LIN = 7874 \text{ m}$$

QUOTA di TANGENZA (Approccio piu' corretto analitico, vedi slides)

Scrivo la formula che esprime RC\_MAX e pongo =0

$$RC_{\max} = \frac{\Pi_d}{W} - \frac{\Pi_{\min}}{W}$$

$$\Pi_{\min} = \Pi_p = V_p \cdot D_p = \frac{V_E}{1.32} \cdot \frac{W}{E_p} = \frac{V_E}{1.32} \cdot \frac{W}{E_{\max}} \frac{2}{\sqrt{3}} = 0.875 \frac{V_E}{E_{\max}} \cdot W$$

Posso usare INIZIALMENTE Kv=1

$$z = 4 \times 10^3 \text{ m}$$

$$K_{Vv} := 1$$

$$RCM\_MOT := \frac{(\Pi_{ao} \cdot K_V \cdot \eta_p)}{W}$$

$$RCM\_MOT = 13.307 \frac{m}{s}$$

$$fatt := \frac{2}{(3^{0.5} \cdot 3^{0.25})} \quad fatt = 0.877$$

$$VEo := V_E(0) \quad VEo = 55.247 \frac{m}{s}$$

$$RCM\_RES := \frac{fatt \cdot (VEo)}{E_E}$$

$$RCM\_RES = 3.304 \frac{m}{s}$$

$$sigmaTT := \left( \frac{RCM\_RES}{RCM\_MOT} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$sigmaTT = 0.395$$

$$RappTemp := (sigmaTT)^{\left( \frac{1}{4.256} \right)}$$

$$RappTemp = 0.804$$

$$Temp := RappTemp \cdot 288.15 \quad Temp = 231.651$$

$$htang := \frac{(288.15 - Temp) \cdot 1000m}{6.5}$$

$$htang = 8692 \text{ m}$$

Trovata la quota, per completezza e avere ris corretto, devo STIMARE il Kv (usato inizialmente =1)

$$V_p(htang) = 66.799 \frac{m}{s}$$

$$V := V_p(htang) \quad V = 66.799 \frac{m}{s} \quad V = 240.477 \frac{km}{hr}$$

$$K_{Vtt} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{km}{hr}} \right)^2 \quad K_{Vtt} = 1.046$$

ATTENZIONE, ricavata tale sigma, andare nelle tabelle fornite (atmosfera ISA) e ricavare la quota eventualmente interpolando la tabella. Significa entrare in tabella con sigma e ricavare la quota corrispondente. Le equazioni qui mostrate portano ad una perdita di tempo inutile, perchè il risultato e' lo stesso.

$$\underline{\text{RCM\_MOT}} := \frac{(\Pi_{ao} \cdot K_{Vtt} \cdot \eta_p)}{W}$$

$$\text{RCM\_MOT} = 13.923 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{leggermente variato per l'effetto del corretto } K_v$$

$$\text{RCM\_RES} = 3.304 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{\text{sigmaTT}} := \left( \frac{\text{RCM\_RES}}{\text{RCM\_MOT}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\text{sigmaTT} = 0.383$$

Idem, come prima, entrare in tabella con sigma e ricavare la quota di 8950 metri circa.

$$\underline{\text{RappTemp}} := (\text{sigmaTT})^{\left( \frac{1}{4.256} \right)}$$

$$\text{RappTemp} = 0.798$$

Al compito NON procedere con i calcoli qui mostrati, e' una perdita di tempo inutile

$$\underline{\text{Temp}} := \text{RappTemp} \cdot 288.15 \quad \text{Temp} = 230.016$$

$$\underline{\text{htang}} := \frac{(288.15 - \text{Temp}) \cdot 1000\text{m}}{6.5}$$

$$\text{htang} = 8944 \text{ m} \quad \text{TROVATA QUOTA TANGENZA}$$

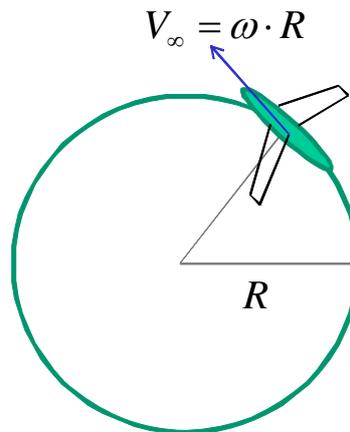
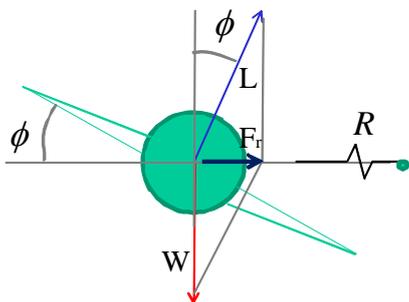
#### d) Raggio di virata minimo

$$n_{\text{max}} := 3 \quad \text{minimo assoluto a quota 0}$$

$$\underline{z} := 0 \cdot \text{m}$$

$$\underline{\sigma} := \frac{\rho(z)}{\rho_0}$$

$$\sigma = 1$$



$$L \cos \phi = W \quad F_r = m \frac{V_\infty^2}{R} = \frac{W}{g} \frac{V_\infty^2}{R}$$

$$F_r = \sqrt{L^2 - W^2}$$

$$F_r = W \sqrt{n^2 - 1} = \frac{W}{g} \frac{V_\infty^2}{R}$$

$$R = \frac{V_\infty^2}{g \sqrt{n^2 - 1}}$$

$$\omega = \frac{V_\infty}{R} = \frac{g \sqrt{n^2 - 1}}{V_\infty}$$

$$R_{\text{min}} = \frac{V_{\text{min}}^2}{g \sqrt{n_{\text{MAX}}^2 - 1}}$$

$$V_{\text{min}} = V_{S\_turn} = \sqrt{\frac{2 \cdot n_{\text{MAX}} \cdot W}{\rho} \frac{1}{S C_{L\text{max}}}}$$

CALCOLO Angolo di bank e Velocità minima in virata a n=3

$$\text{Bank} := \text{acos}\left(\frac{1}{n_{\text{max}}}\right) \quad \text{Bank} = 70.529 \cdot \text{deg}$$

La vel minima è la velocità di stallo in virata ad n=nmax=3. Cioè la velocità con n=nmax e CL=CLMAX

$$V_{\text{min}} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot n_{\text{max}}}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\text{MAX}}}} \quad V_{\text{min}} = 68.247 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{\text{min}} = 245.691 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$R_{\text{min}} := \frac{V_{\text{min}}^2}{g \cdot \sqrt{n_{\text{max}}^2 - 1}} \quad R_{\text{min}} = 167.921 \text{ m}$$

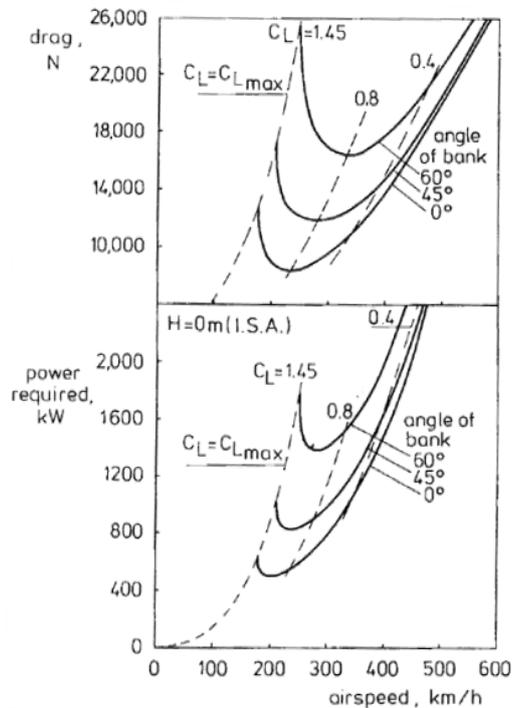
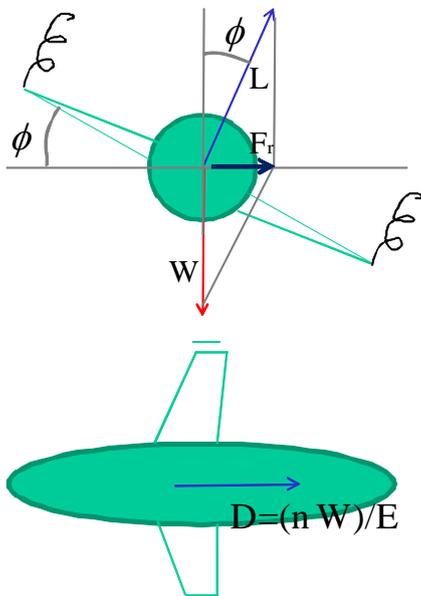
$$\text{omega} := \frac{\left(g \cdot \sqrt{n_{\text{max}}^2 - 1}\right)}{V_{\text{min}}} \quad \text{omega} = 0.406 \frac{1}{\text{s}} \quad \text{omega} = 23.286 \frac{1}{\text{s}} \cdot \text{deg}$$

$$R_{\text{min\_APPR}} := \frac{2W}{g \cdot (\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\text{MAX}})} \quad R_{\text{min\_APPR}} = 158.318 \text{ m}$$

minimo teorico con n=INFINITO nella formula (vedi appunti)

VERIFICHIAMO se con il motore ce la facciamo a sostenere tale virata senza perdere quota.

Potenza necessaria in virata (assumiamo valida la polare parabolica fino allo stallo)



La resistenza aerodinamica cresce con n e la potenza con n<sup>3/2</sup>

$$\Pi_{n\_turn} = \Pi_{no} \cdot n^{3/2}$$

Calcolo del CD in corrispondenza di CL=CLMAX

$$\underline{\underline{CD_{max}}} := CD_0 + \frac{CL_{MAX}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD_{max} = 0.126 \quad \underline{\underline{CD_S}} := (CD_{max})$$

$$q_{min} := 0.5 \cdot \rho(z) \cdot (V_{min})^2 \quad q_{min} = 2852.84 \text{ Pa} \quad \text{Calcolo pressione dinamica}$$

$$D_{max} := CD_{max} \cdot q_{min} \cdot S \quad D_{max} = 7938.64 \text{ N}$$

o anche

$$\underline{\underline{E_S}} := \frac{CL_{MAX}}{CD_S} \quad E_S = 11.859 \quad D_{max2} := n_{max} \cdot \frac{W}{E_S} \quad D_{max2} = 7.939 \times 10^3 \text{ N}$$

$$P_{max} := D_{max} \cdot (V_{min}) \quad P_{max} = 541.8 \cdot \text{kW} \quad P_{max} = 726.55 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{\underline{K_{V_V}}} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V_{min}}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_{V_V} = 1.048 \quad \text{Kv dal grafico o dalla formula qui riportata}$$

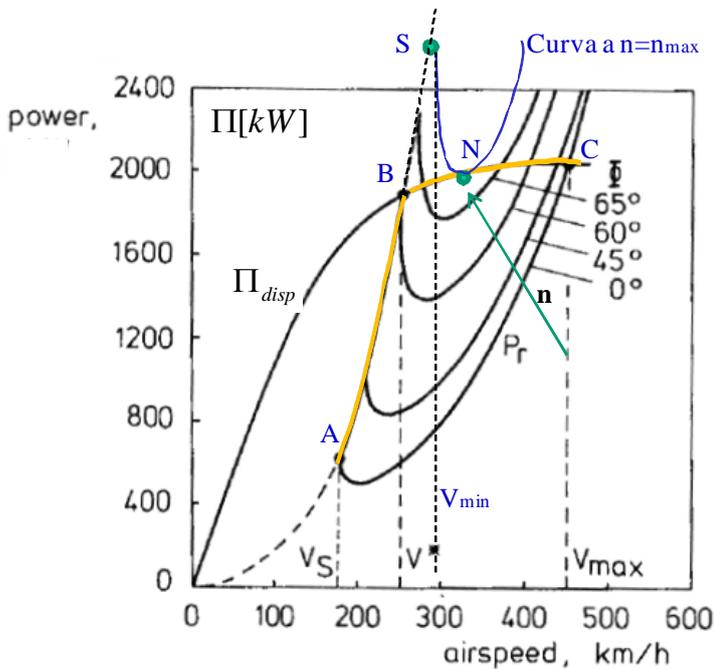
$$\underline{\underline{\Pi d(z)}} := \Pi_{ao} \cdot K_{V_V} \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \eta_p \quad \Pi d(z) = 437.8 \cdot \text{kW} \quad \Pi d(z) = 587 \cdot \text{hp}$$

#### POTENZA DISPONIBILE INFERIORE A QUELLA NECESSARIA

Il fattore di carico massimo in virata non potrà essere pari al max strutturale

TROVO il max fattore carico compatibile con tale potenza disponibile.

L'equazione  $P_{nec} = P_{disp}$  mi permette di ricavare la nota relazione (anche usata per la velocità di crociera).



Calcolo  $V^*$ , cioè la massima  $V$  (a massimo CL, cioè allo stallo) compatibile con la potenza disponibile (Punto B)

$$V_{\text{turn}} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z)}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CD_{\text{max}}}} \quad V_{\text{turn}} = 63.565 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Posso anche calcolare meglio la potenza perchè il  $K_v$  dipende dalla velocità.  
Ristimo il  $K_v$  e la potenza e ricavo nuovamente  $V_{\text{turn}}$ .

$$K_{V_{\text{turn}}} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V_{\text{turn}}}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_V = 1.042 \quad K_v \text{ dal grafico o dalla formula qui riportata}$$

$$\Pi d(z) := \Pi_{a0} \cdot K_V \cdot \phi \cdot \sigma \cdot \eta_p \quad \Pi d(z) = 435.1 \cdot \text{kW} \quad \Pi d(z) = 583.5 \cdot \text{hp}$$

$$V_{\text{turn}} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z)}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CD_{\text{max}}}} \quad V_{\text{turn}} = 63.436 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Come si può vedere però il valore finale di  $V_{\text{turn}}$  ottenuto è praticamente identico a quello iniziale. In definitiva il passaggio precedente poteva essere evitato, assumendo trascurabile il  $K_v$  in quanto le velocità SONO BASSE (come per la salita).

Si noti come la  $V$  ottenuta è minore della precedente  $V_{\text{min}}$  che era la  $V$  allo stallo, ma con massimo fattore carico strutturale (Punto S figura sopra)

$$V_{\text{min}} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot n_{\text{max}}}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\text{MAX}}}} \quad V_{\text{min}} = 68.247 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Ottenuta la  $V_{\text{turn}}$  (punto B), si può ottenere il fattore di carico in virata ottenibile a questa velocità e con  $CL=CL_{\text{MAX}}$  (assetto massimo), assumendo valida l'equazione in virata che regola l'equilibrio verticale  $L^* \cos(\phi) = W$  o anche  $L = n^* W$  (essendo  $\cos(\phi) = 1/n$ )

$$n_{\text{turn}} := \frac{V_{\text{turn}}^2 \cdot (\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\text{MAX}})}{2 \cdot W} \quad n_{\text{turn}} = 2.592 \quad \text{SI VEDE che } n_{\text{turn}} \text{ è MINORE del massimo fattore di carico strutturale assegnato } n_{\text{max}}=3 \text{ (legato al diagramma di manovra)}$$

con tale valore di  $n$  ricavo l'angolo di bank ed il raggio di virata (che sarà il raggio minimo compatibile con la potenza propulsiva installata).

$$FI_{\text{turn}} := \arccos\left(\frac{1}{n_{\text{turn}}}\right) \quad FI_{\text{turn}} = 67.305 \cdot \text{deg}$$

$$R_{\text{turn}} := \frac{V_{\text{turn}}^2}{g \cdot \sqrt{n_{\text{turn}}^2 - 1}} \quad R_{\text{turn}} = 171.604 \text{ m}$$

# Velivolo a getto

$$\begin{aligned}
 W &:= 43000 \cdot \text{kgf} & S &:= 93 \cdot \text{m}^2 & b &:= 28 \cdot \text{m} & CD_0 &:= 0.020 & e &:= .8 & CL_{\max} &:= 1.5 \\
 CL_{\max TO} &:= 2.1 & W_E &:= 6000 \cdot \text{kgf} & T_0 &:= 2 \cdot 6400 \cdot \text{kgf} & SFCJ &:= 0.5 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{lbf} \cdot \text{hr}} \\
 M_{DD} &:= .83 & z_{cr} &:= 10000 \cdot \text{m} & f_{par} &:= CD_0 \cdot S & f_{par} &= 1.86 \text{ m}^2 \\
 & & & & be &:= b \cdot (e)^{0.5} & be &= 25.044 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\sigma := \frac{\rho(z_{cr})}{\rho_0} \quad \sigma = 0.337$$

$$R := 287 \cdot \frac{\text{Pa}}{\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} \quad R = 287 \frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{s}^2}$$

$$T := 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot z_{cr}$$

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

INUTILE al compito calcolare tutti i punti caratteristici come fatto qui di seguito.  
Calcolare solo le quantità relative al punto E, cioè efficienza e Vel in E a quota zero e quota di crociera.

a) punti caratteristici della polare

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 8.43$$

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.651 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.04 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 16.274$$

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.127 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.08 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 14.094$$

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.376 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.027 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 14.094$$

## QUESTI CALCOLI SUCCESSIVI DEI PUNTI CARATTERISTICI POSSONO ANCHE NON ESSERE FATTI

Risultati calcoli punti caratteristici della polare a S/L

Come detto e' utile solo l'efficienza del punto E e la V del punto E

$$z := 0 \quad \sigma := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma = 1$$

$$T := 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot z \quad a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 340.174 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 106.641 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 383.908 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.313$$

$$\underline{V_R} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 81.03 \frac{m}{s} \quad V_P = 291.707 \cdot \frac{km}{hr} \quad MP := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.238$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 140.347 \frac{m}{s} \quad V_A = 505.251 \cdot \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.413$$

$$\underline{D_E} := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 2.591 \times 10^4 N \quad D_E = 2642.3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 2.992 \times 10^4 N \quad D_P = 3051 \cdot kgf$$

$$\underline{D_A} := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 2.992 \times 10^4 N \quad D_A = 3051 \cdot kgf$$

$$IIE := D_E \cdot V_E \quad IIE = 2763.3 \cdot kW \quad IIE = 3705.6 \cdot hp$$

$$IIA := D_A \cdot V_A \quad IIA = 4199.2 \cdot kW \quad IIA = 5631.3 \cdot hp$$

$$IIP := D_P \cdot V_P \quad IIP = 2424.4 \cdot kW \quad IIP = 3251.2 \cdot hp$$

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

$$z_{cr} = 10000 \text{ m}$$

$$\underline{z} := z_{cr} \quad \underline{\sigma} := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma = 0.337 \quad \text{fatt}_h := \frac{1}{(\sigma)^{0.5}} \quad \text{fatt}_h = 1.723$$

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

$$\underline{V_E} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 183.749 \frac{m}{s} \quad V_E = 661.497 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{ME} := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.614$$

$$\underline{V_P} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 139.619 \frac{m}{s} \quad V_P = 502.629 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{MP} := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.466$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 241.828 \frac{m}{s} \quad V_A = 870.58 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.808$$

$$\underline{D_E} := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 2.591 \times 10^4 N \quad D_E = 2642.3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 2.992 \times 10^4 N \quad D_P = 3051 \cdot kgf$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 2.992 \times 10^4 \text{ N} \quad D_A = 3051 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_E := D_E \cdot V_E \quad \Pi_E = 4761.3 \cdot \text{kW} \quad \Pi_E = 6385 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_A := D_A \cdot V_A \quad \Pi_A = 7235.6 \cdot \text{kW} \quad \Pi_A = 9703.1 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_P := D_P \cdot V_P \quad \Pi_P = 4177.5 \cdot \text{kW} \quad \Pi_P = 5602.1 \cdot \text{hp}$$

### MAX Rateo di salita S/L

$$zrc := 0 \cdot \text{m} \quad \phi := 1 \quad \text{Per le prestazioni di salita uso il massimo grado di ammissione (massima manetta)}$$

$$zrc = 0 \cdot \text{ft}$$

$$\sigma := \frac{\rho(zrc)}{\rho_0} \quad \sigma = 1$$

$$T := 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot zrc \quad a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 340.174 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Rateo di salita S/L - punto E;

Viene assunto il punto E (max efficienza) in quanto per il velivolo a getto è il punto che all'incirca ottimizza le prestazioni di salita.

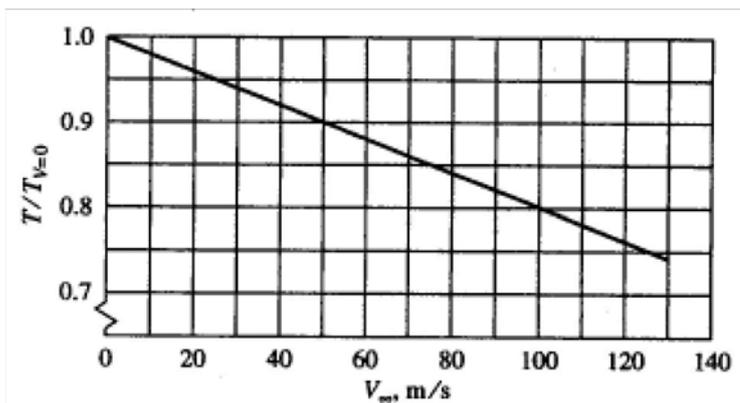
Il pedice rc sta ad indicare che in questa sezione e' riferito al calcolo del rateo di salita.

Come si vede occorre solo aver calcolato prima il CL del punto E

Come detto e' utile solo il CL del punto E

$$V_E := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 106.641 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad M_E := \frac{V_E}{a}$$

$$M_E = 0.313$$



Fattore KT ricavato dal grafico sopra.

Assumendo un'andamento lineare con V, il grafico mostra una riduzione di 0.20 ogni 100 m/s, quindi, oltre che stimabile dal grafico, anche ottenibile attraverso l'equazione:

$$KT := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_E}{100 \frac{m}{s}} \quad KT = 0.787$$

Ulteriore riduzione della spinta dovuta alla quota alla quale si vuole calcolare il max rateo di salita

$$KT_{eff} := KT \cdot \sigma \quad KT_{eff} = 0.787$$

$$\overset{\text{~~~~~}}{T_d} := 0.5T_0 \cdot \sqrt{\sigma} \cdot \phi \cdot KT \cdot .83 \quad \begin{array}{l} \text{Calcolo con modello spinta turbofan MAX CLIMB (basse quote)} \\ \text{CONDIZIONE OEI si sfrutta solo metà della spinta (1 motore)} \end{array}$$

o anche , essendo a S/L

$$\overset{\text{~~~~~}}{T_d} := 0.5T_0 \cdot \phi \cdot KT \cdot .83$$

$$T_d = 4.098 \times 10^4 \text{ N} \quad T_d = 4179 \cdot \text{kgf}$$

$$\text{rappT} := \frac{T_d}{W} \quad \text{rappT} = 0.097$$

$$RC1 := T_d \cdot V_E \quad RC1 = 4370.4 \cdot \text{kW} \quad RC1w := \frac{(T_d \cdot V_E)}{W} \quad RC1w = 10.364 \frac{m}{s}$$

$$RC2 := D_E \cdot V_E \quad RC2 = 2763.3 \cdot \text{kW} \quad RC2w := \frac{(D_E \cdot V_E)}{W} \quad RC2w = 6.553 \frac{m}{s}$$

$$RC_{max} := \frac{T_d \cdot V_E - D_E \cdot V_E}{W} \quad RC_{max} = 3.811 \frac{m}{s} \quad RC_{max} = 750.2 \cdot \frac{ft}{min}$$

$$RC_{max_E} := RC_{max}$$

$$\text{angolo salita} \quad D_E = 25911.8 \text{ N} \quad D_E = 2642.3 \cdot \text{kgf}$$

$$\overset{\text{~~~~~}}{\text{teta}} := \frac{T_d - D_E}{W} \quad \text{teta} = 0.036 \cdot \text{rad} \quad \overset{\text{~~~~~}}{\text{tetag}} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 2.048 \text{ deg}$$

o anche

$$\overset{\text{~~~~~}}{\text{teta}} := \text{asin} \left( \frac{RC_{max}}{V_E} \right) \quad \text{teta} = 0.036$$

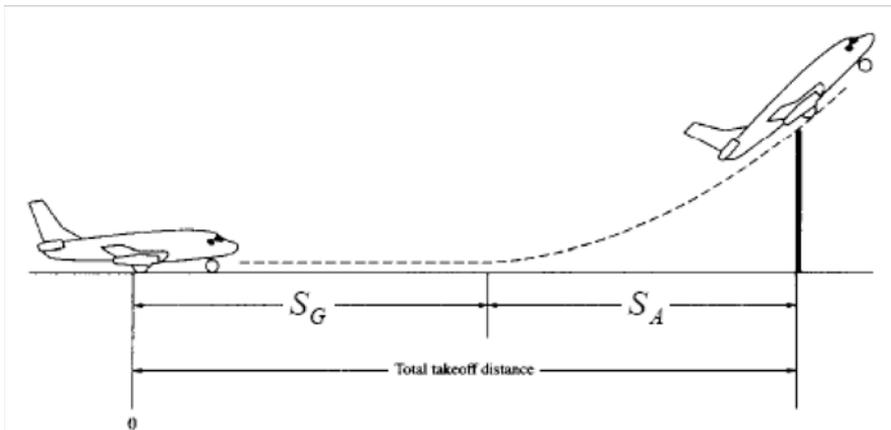
$$\overset{\text{~~~~~}}{\text{teta}} := \frac{RC_{max}}{V_E} \quad \text{teta} = 0.036 \quad \overset{\text{~~~~~}}{\text{tetag}} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 2.048 \text{ deg}$$

## Distanza di decollo

$$W = 43000 \cdot \text{kgf} \quad C_{L_{\max TO}} = 2.1 \quad S = 93 \text{ m}^2 \quad T_0 = 12800 \cdot \text{kgf}$$

$$K_{ES} := 0.8 \quad \Delta C_{Do} := 0.018 \quad \mu := 0.03 \quad C_{LG} := 0.70$$

$e_{to} := e$  Fattore Oswald in config decollo assunto uguale a quello in configurazione di crociera. Altrimenti dovrebbe essere assegnato.



$K_{VLO}$  è il rapporto assegnato tra  $V_{LO}$  (V di Lift-Off) e la vel stallo al decollo

$K_{V2}$  è il rapporto assegnato tra la  $V_2$  (pass su ostacolo) e la vel stallo al decollo  $V_{sto}$

$K_R$  è il rapporto (calcolato come media tra i due precedenti) tra la vel nella fase di rotazione

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  $C_{L_{\max to}}$ ) nella fase di involo.

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

$$K_{VLO} := 1.14 \quad K_{V2} := 1.2 \quad K_{CL_{air}} := 0.90$$

$$V_{STO} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{L_{\max TO}}}} \quad V_{STO} = 59.373 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{STO} = 213.743 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{LO} := K_{VLO} \cdot V_{STO} \quad V_{LO} = 67.685 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{LO} = 243.668 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Calcolo della corsa al suolo

$$a = \frac{dV}{dt} \quad V = \frac{dS}{dt} \quad ds = \frac{VdV}{a} = \frac{1}{2} \frac{dV^2}{a} \quad S_G = \int_0^{V_{LO}} dS = \int_0^{V_{LO}} \frac{VdV}{a}$$

Con accelerazione funzione della velocità :

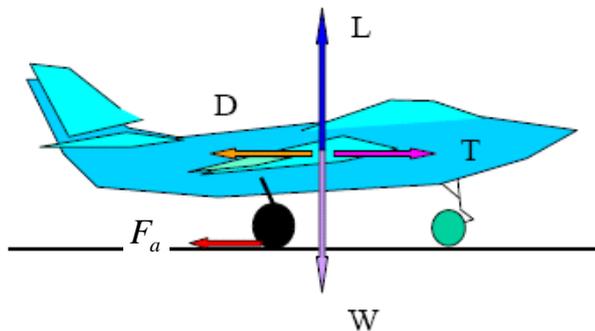
$$S_G = \frac{1}{2} \int_0^{V_{LO}} \frac{dV^2}{a(V)}$$

$$\left(\frac{W}{g}\right) a(V) = F_{x\_tot}(V) = T(V) - D(V) - \mu \cdot (W - L(V)) \quad \text{Spinta, resistenza e portanza funzioni di V}$$

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



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

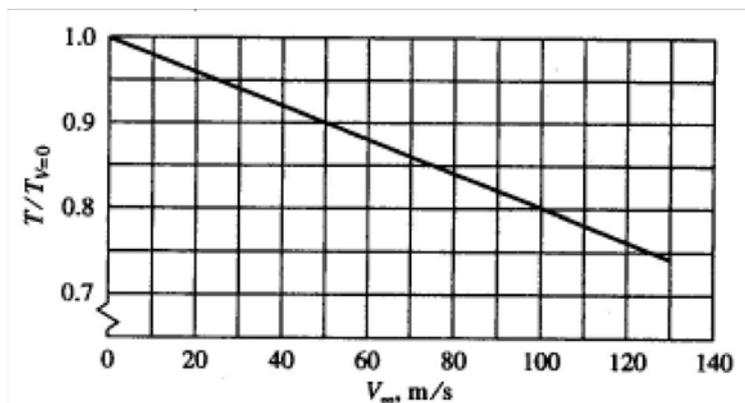
Velocità media (metodo 2) assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di lift-off perchè l'integrale è nella variabile indipendente V<sup>2</sup> e quindi 0.70 è quel numero tale che elevato al quarto fa 0.50, cioè e' :

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

Calcoliamo la velocità media per il calcolo delle forze e valutiamo le forze stesse:

$$V_m := 0.7 \cdot V_{LO} \quad V = 47.38 \frac{m}{s} \quad V = 170.567 \frac{km}{hr}$$

**Calcolo spinta media motori:**

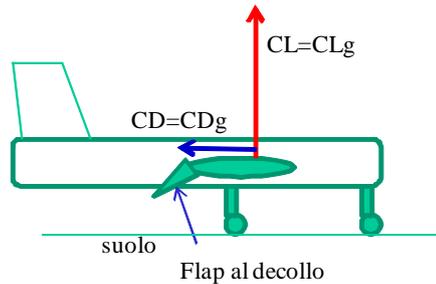


$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad K_T = 0.905 \quad \text{Fattore di riduzione spinta in decollo motore turbofan}$$

Calcolo spinta media durante la corsa di decollo:

$$T := (K_T) \cdot T_0 \quad \frac{T}{T_0} = 0.905 \quad T = 1.136 \times 10^5 \text{ N} \quad T = 11587 \cdot \text{kgf}$$

### FORZE AERODINAMICHE durante la corsa



### Calcolo resistenza aerodinamica media durante corsa al suolo (CL=CLg):

$$CD_{ind\_TO} := \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e_{to}} \cdot K_{ES} \quad CD_{ind\_TO} = 0.019$$

$$CD_G := CD_0 + \Delta CD_0 + \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e_{to}} \cdot K_{ES} \quad CD_G = 0.057$$

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_G \quad D = 7225 \text{ N} \quad D = 737 \cdot \text{kgf}$$

### Calcolo portanza aerodinamica media (durante corsa al suolo):

$$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_G \quad L = 8.951 \times 10^4 \text{ N} \quad L = 9128 \cdot \text{kgf}$$

### Calcolo forza attrito media (durante corsa al suolo):

$$F_a := \mu \cdot (W - L) \quad F_a = 9.965 \times 10^3 \text{ N} \quad F_a = 1016 \cdot \text{kgf} \quad \text{forza attrito}$$

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=11587 Kgf    spinta media  
D=737 Kgf    resistenza aerodinamica media  
Fa=1016 Kgf    forza attrito media

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

Fx\_tot= 9834 Kgf    forza tot media

### FORZA TOTALE MEDIA

$$F_{xtot} := T - D - \mu \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 9.644 \times 10^4 \text{ N} \quad F_{xtot} = 9834 \cdot \text{kgf}$$

calcolo accelerazione media con peso    W = 43000·kgf

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 2.243 \frac{m}{s^2} \quad ac\_g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

accelerazione adimensionale (in g)

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

$$ac\_ad := \frac{ac}{ac\_g} \quad ac\_ad = 0.229$$

$$ac\_appr := \frac{T}{\frac{W}{g}} \quad ac\_appr = 2.643 \frac{m}{s^2}$$

$$ac\_ad\_appr := \frac{T}{W} \quad ac\_ad\_appr = 0.269$$

Risolvendo l'integrale (metodo 2 appunti):

$$S_G = \frac{1}{2} \int_0^{V_{LO}} \frac{dV^2}{a(V)} = \frac{1}{2} \frac{V_{LO}^2}{a_m} \quad V_{LO}^2 = 4581.3 \frac{m^2}{s^2}$$

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot ac} \quad S_G = 1021 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO (metodo 2 appunti)}$$

Assumendo invece la spinta predominante e cioè usando come accelerazione solo quella dovuta a T (metodo 3 negli appunti), quindi trascurando le forze di attrito ed aerodinamiche :

$$S_{G\_appr} := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot ac\_appr} \quad S_{G\_appr} = 867 \text{ m}$$

## **CORSA INVOLO**

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  $K_{CLair}$  sotto

$K_{VLO}$  è il rapporto assegnato tra  $V_{LO}$  e la vel stallo al decollo

$K_{V2}$  è il rapporto assegnato tra la  $V_2$  (pass su ostacolo) e la vel stallo al decollo  $V_{sto}$

$K_{VR}$  è il rapporto (calcolato come media tra i due precedenti) tra la vel bella fase di rotazione

$$K_{VLO} = 1.14 \quad K_{V2} = 1.2 \quad K_{CLair} = 0.9$$

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

$$K_{air} := \frac{(K_{VLO} + K_{V2})}{2} \quad K_{air} = 1.17$$

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

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \quad V_R = 69.467 \frac{m}{s} \quad V_R = 250.08 \cdot \frac{km}{hr} \quad \text{calcolo vel media durante involo}$$

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

Che per la definizione di velocità di stallo diventa:

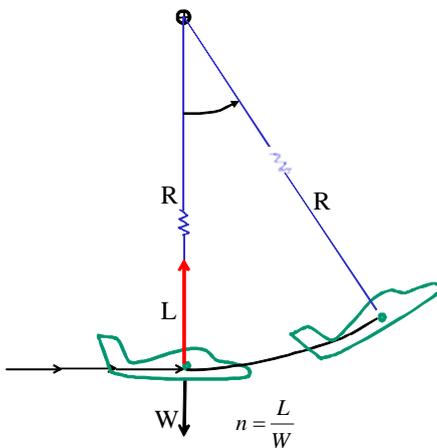
$$n = \frac{L}{W} = (K_{air})^2 \cdot (K_{CLair}) = (1.17)^2 \cdot (0.90) = 1.23$$

$$n_R := (K_{air})^2 \cdot K_{CLair} \quad n_R = 1.232 \quad \text{calcolo fattore di carico durante involo}$$

$$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)}$$

$$R = 2121 \text{ m}$$

FORMULA raggio traiettoria della richiamata (pull-up man) (vedi sotto)

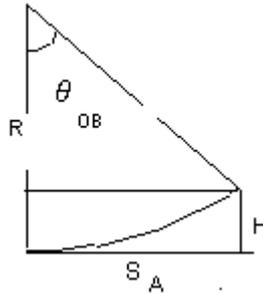


$$F_r = L - W = W(n - 1)$$

$$F_r = m \frac{V_\infty^2}{R} = \frac{W}{g} \frac{V_\infty^2}{R}$$

$$R = \frac{V_\infty^2}{g(n - 1)}$$

$$H := 15 \cdot \text{m}$$



$$\theta := \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right)$$

$$\theta = 0.119 \quad \theta = 6.818 \cdot \text{deg} \quad \text{angolo salita su ostacolo}$$

$$S_A := R \cdot \sin(\theta) \quad S_A = 251.799 \text{ m} \quad \text{calcolo corsa di INVOLTO (AIRBORNE distance)}$$

$$S_{TO} := S_G + S_A \quad S_{TO} = 1273.1 \text{ m} \quad \text{CORSA TOTALE DI DECOLLO}$$