

ORIGIN := 1

$$W := 20000 \cdot \text{kgf} \quad S := 60 \cdot \text{m}^2 \quad b := 28 \cdot \text{m} \quad CD_0 := 0.025 \quad e := 0.80 \quad CL_{MAX} := 1.50$$

$$W_F := 3000 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_{ao} := 2 \cdot 2700 \cdot \text{hp} \quad \eta_p := 0.8 \quad SFC := 0.6 \cdot \frac{\text{lb}}{\text{hp} \cdot \text{hr}} \quad \rho_0 := 1.225 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$z := 5000 \cdot \text{m}$$

$$z_{cr} := z$$

a) punti caratteristici della polare

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 13.067 \quad \sigma(z) := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma(z) = 0.601 \quad \sigma_{co} := \sigma(z) \quad \sigma_{co} = 0.601$$

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.906 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.05 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 18.122$$

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.569 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.1 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 15.694$$

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.523 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.033 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 15.694$$

Attenzione nelle formula il peso W deve essere espresso in [N]

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E(z) = 99.01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 356.437 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

$$V_E(0 \cdot \text{m}) = 76.747 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(0 \cdot \text{m}) = 276.289 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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 caratteristico come è mostrato qui.

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P(z) = 75.232 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(z) = 270.834 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_P(0 \cdot \text{m}) = 58.315 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(0 \cdot \text{m}) = 209.934 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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.

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A(z) = 130.305 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(z) = 469.098 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_A(0 \cdot \text{m}) = 101.005 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(0 \cdot \text{m}) = 363.616 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}} \quad V_S(z) = 76.952 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(z) = 277.028 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_S(0 \cdot \text{m}) = 59.649 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(0 \cdot \text{m}) = 214.735 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 10823 \text{ N} \quad D_E = 1103.6 \text{ kgf}$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 12497 \text{ N} \quad D_P = 1274.4 \text{ kgf}$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 12497 \text{ N} \quad D_A = 1274.4 \text{ kgf}$$

Per il calcolo di D usare l'efficienza e la formula precedente.  
Ricordare che l'efficienza in A e P è pari a rad(3)/2 di quella in E.

$$\Pi_{InE}(z) := D_E \cdot V_E(z) \quad \Pi_{InE}(z) = 1071.6 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InE}(z) = 1437 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InE}(0) = 830.6 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InE}(0m) = 1113.9 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InP}(z) := D_P \cdot V_P(z) \quad \Pi_{InP}(z) = 940.2 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InP}(z) = 1260.8 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InP}(0) = 728.8 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InP}(0m) = 977.3 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InA}(z) := D_A \cdot V_A(z) \quad \Pi_{InA}(z) = 1628.5 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InA}(z) = 2183.8 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InA}(0) = 1262.3 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InA}(0m) = 1692.8 \cdot \text{hp}$$

Pe le potenze provare anche qui a ridurre i tempi di calcolo al compito calcolandole in base ai rapporti tra le resistenze e le velocità.

$\phi := 1$  **QUI ASSEGNARE GRADO AMMISSIONE**

Calcolo iterativo della velocità

Prima iterazione  $K_v=1$   $CD = 1.1 \cdot CD_0$

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

$$\Pi_{Id}(z) = 1.936 \times 10^6 \text{ W} \quad \Pi_{Id}(z) = 2.596 \times 10^3 \cdot \text{hp}$$

$$CD := 1.1 \cdot CD_0 \quad CD = 0.0275$$

$$K_V := 1$$

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

Risultato in m/s

$$V_{\text{ww}} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi_{Id}(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 147.17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 529.812 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Seconda iterazione  $K_v$  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  $L=W$ )

$$K_{Vv} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_V = 1.225 \quad \text{Kv dal grafico fornito oppure la formula}$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 157.451 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 566.824 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Iterazioni successive

**Iterazione 2** Kv fix e CD =NUOVO

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.3583 \quad \text{Nella formula W in [N]}$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.02891$$

$$K_{Vnew} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_{Vnew} = 1.257$$

USO il Kv della prima iterazione , quello nuovo è inutile (quasi uguale)

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_{Vnew}}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 156.207 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 562.345 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{giusto per verifica....}$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 154.85 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 557.461 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{Valore per la successiva iterazione (con il Kv originale)}$$

**Iterazione 3** Kv fix e CD =NUOVO

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.37$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.02918$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 154.372 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 555.74 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Con le iterazioni ci si ferma quando la differenza in V è pari circa all'1 %. In tal caso, con 500 Km/h, basterebbe anche una differenza di 3-4 Km/h. Al compito non fare più di 4 iterazioni !!!

Ci si potrebbe anche fermare qui (la differenza tra la seconda e la terza iterazione fornisce poco più di 1 Km/h di differenza, ma se si volesse scendere al di sotto del Km/h di precisione, si può fare una quarta iterazione).

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

$$\underline{CL} := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.373$$

$$\underline{CD} := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.02923$$

$$\underline{V} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 154.281 \frac{m}{s} \quad V = 555.411 \frac{km}{hr}$$

FINITO !!!!

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

QUOTA S/L

$$V_P(0 \cdot m) = 58.315 \frac{m}{s}$$

$$\underline{V} := V_P(0 \cdot m) \quad V = 58.315 \frac{m}{s} \quad V = 209.934 \frac{km}{hr}$$

$$\underline{K_V} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{km}{hr}} \right)^2 \quad K_V = 1.035 \quad K_V \text{ dal grafico}$$

Kv (Effetto RAM del Turboelica) è piccolo e teoricamente trascurabile, ma ne teniamo conto. Trascurarlo comunque non costituisce un grosso errore, essendo piccolo e prossimo ad 1.

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

$$\underline{\Pi d(z)} := \Pi_{ao} \cdot K_V \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p \quad \Pi d(0) = 3335 \cdot kW \quad \Pi d(0) = 4472.3 \cdot hp$$

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

$$\Pi p(0) = 728.8 \cdot kW \quad \Pi p(0) = 977.313 \cdot hp$$

Nella formula potenze in Watt e peso in [N]

$$RC_{max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi p(z)}{W} \quad RC_{max\_1}(z) := \frac{\Pi d(z)}{W} \quad RC_{max\_2}(z) := \frac{\Pi p(z)}{W}$$

$$RC_{max\_1}(0 \cdot m) = 17.004 \frac{m}{s} \quad RC_{max\_2}(0 \cdot m) = 3.716 \frac{m}{s}$$

$$RC_{max}(0 \cdot m) = 13.288 \frac{m}{s} \quad RC_{max\_0} := RC_{max}(0 \cdot m)$$

Per il calcolo di RC usare la formula qui riportata che è logica, si può facilmente ricavare e non si deve ricordare a memoria. Il punto da scegliere per l'elica è il punto P (minima potenza necessaria)

angolo di salita corrispondente

$$\text{teta} := \frac{RC_{\max}(0 \cdot m)}{V} \quad \text{teta} = 0.228 \quad \text{tetag} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 13.057 \quad \text{deg}$$

o anche

$$\begin{aligned} T_d &:= \frac{\Pi d(0)}{V} & T_d &= 5.719 \times 10^4 \text{ N} & T_d &= 5831.7 \cdot \text{kgf} \\ T_n &:= D_p & T_n &= 1.25 \times 10^4 \text{ N} & T_{n2} &:= \frac{\Pi n_p(0)}{V} & T_{n2} &= 1274.4 \cdot \text{kgf} \end{aligned}$$

$$\text{teta} := \frac{(T_d - T_n)}{W} \quad \text{teta} = 0.228 \quad \text{tetag} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 13.057 \quad \text{deg}$$

### Rateo di salita a quota z

Ai fini di valutare il tempo per arrivare alla quota di 5000 m  
valuto il massimo rateo di salita a tale quota :

$$z := 5000 \cdot \text{m} \quad \sigma(z) = 0.601$$

$$V_p(z) = 75.232 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V := V_p(z) \quad V = 75.232 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 270.834 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$K_V := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_V = 1.059 \quad K_V \text{ dal grafico o dalla formula qui riportata}$$

Come si vede, essendo la  $V_p$  ad alta quota non piccola, il  $K_V$  alle alte quote non è proprio così piccolo e trascurabile.

$$K_{vPh} := K_V$$

$$\Pi d(z) := \Pi_{ao} \cdot K_V \cdot \phi \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p \quad \Pi d(z) = 2049 \cdot \text{kW} \quad \Pi d(z) = 2748 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi n_p(z) = 940 \cdot \text{kW} \quad \Pi n_p(z) = 1261 \cdot \text{hp}$$

Nella formula potenze in Watt e peso in [N]

$$RC_{\max}(z) := \frac{\Pi d(z) - \Pi n_p(z)}{W} \quad RC_{\max_1}(z) := \frac{\Pi d(z)}{W} \quad RC_{\max_2}(z) := \frac{\Pi n_p(z)}{W}$$

$$RC_{\max_1}(z) = 10.448 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RC_{\max_2}(z) = 4.794 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RC_{\max}(z) = 5.654 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RC_{\max_z} := RC_{\max}(z)$$

Assumendo andamento lineare di RC massimo con la quota

$$fa := RC_{max\_0} \quad fa = 13.288 \frac{m}{s} \quad z = 5 \times 10^3 m \quad RC_{max\_z} = 5.654 \frac{m}{s}$$

Gradiente :

$$fb := \frac{(RC_{max\_z} - RC_{max\_0})}{z} \quad fb = -0.001527 \frac{1}{s}$$

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

$$RC_{max}(h) := fa + fb \cdot h$$

ponendo RC\_max=0, fornisce la quota di tangenza teorica (non era richiesta dall'esame)

$$z_{tt\_LIN} := \frac{-fa}{fb} \quad z_{tt\_LIN} = 8703 m$$

in modo analogo, ponendo RC\_max=0.5 m/s, si potrebbe ricavare la quota di tangenza pratica (service ceiling)

$$z_{tpr\_LIN} := \frac{\left(-fa + 0.5 \cdot \frac{m}{s}\right)}{fb} \quad z_{tpr\_LIN} = 8376 m$$

### TEMPO MINIMO SALITA fino a quota di crociera z=5000 m

Se assumiamo come legge di RCmax(h) una legge lineare:

$$RC_{MAX} = a + b \cdot h$$

$$t_{min} = \int_0^h \frac{dh}{RC_{MAX}} = \int_0^h \frac{dh}{a + b \cdot h}$$

$$t_{MIN} = \frac{1}{b} [\ln(a + b \cdot h) - \ln(a)]$$

$$fa = 13.288 \frac{m}{s} \quad fb = -0.001527 \frac{1}{s} \quad zc := z \quad zc = 5000 m$$

$$zc := 5000 \cdot m$$

$$TQ := \left[ \ln \left[ (fa + fb \cdot zc) \cdot \frac{s}{m} \right] - \ln \left( fa \cdot \frac{s}{m} \right) \right] \quad TQ = -0.854$$

$$ARG\_1 := fa + fb \cdot zc \quad ARG\_1 = 5.654 \frac{m}{s} \quad ARG\_2 := fa \quad ARG\_2 = 13.288 \frac{m}{s}$$

$$TERM\_LN1 := \ln \left[ (fa + fb \cdot zc) \cdot \frac{s}{m} \right] \quad TERM\_LN1 = 1.732$$

$$TERM\_LN2 := \ln \left( fa \cdot \frac{s}{m} \right) \quad TERM\_LN2 = 2.587$$

$$tmin := \frac{TQ}{fb} \quad tmin = 559.663 s \quad tmin = 9.328 \cdot min \quad \text{CALCOLATO TEMPO SALITA}$$

## massimo range

$$z := z_{cr}$$

$$z = 5000 \text{ m}$$

$$hp = 745.7 \text{ W}$$

Peso iniziale = W

Peso finale = W - W<sub>F</sub> (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:

$$1 \text{ N} = (1/9.81 \text{ Kgf}) = (1/(9.81 \cdot 0.454)) \text{ lbf} = (1/4.45) \text{ lbf} = 0.2247 \text{ lbf}$$

$$1 \text{ Watt} = (1/745.7) \text{ hp} = 0.001341 \text{ hp}$$

$$1 \text{ sec} = (1 \text{ hr}/3600) = (1/3600) \text{ hr} = 0.000278 \text{ hr}$$

$$\text{Si ha che } c \text{ [N/Watt sec]} = 1/(3600 \cdot 745.7/4.45) = 1/603263 \text{ SFC [lb/(hp hr)]}$$

Quindi la formula di Breguet diventa

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

$$R_{\max} := \frac{\eta_p}{\text{SFC}} \cdot E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \quad R_{\max} = 2369874 \text{ m} \quad R_{\max} = 2369.9 \cdot \text{km}$$

Velocità (TAS ed EAS) ad Inizio crociera

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_E(z) = 99.01 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 356.437 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{TAS}$$

$$V_{E\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_EAS} = 76.747 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_EAS} = 276.289 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{EAS}$$

Ipotesi quota costante -calcolo (TAS ed EAS) a FINE crociera

$$V_{E\_fin}(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{(W - W_F)}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_fin}(z) = 91.283 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_fin}(z) = 328.619 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{TAS}$$

$$V_{E\_fin\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W - W_F}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_fin\_EAS} = 70.757 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_fin\_EAS} = 254.726 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{EAS}$$

# Velivolo a getto

$$W := 60000 \cdot \text{kgf} \quad S := 100 \cdot \text{m}^2 \quad b := 30 \cdot \text{m} \quad CD_0 := 0.018 \quad e := .8 \quad CL_{\max} := 1.4$$

$$CL_{\max TO} := 2.0 \quad W_E := 10000 \cdot \text{kgf} \quad T_0 := 2 \cdot 10000 \cdot \text{kgf} \quad SFCJ := 0.7 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{lbf} \cdot \text{hr}}$$

$$M_{DD} := .83 \quad z_{cr} := 10000 \cdot \text{m} \quad fpar := CD_0 \cdot S \quad fpar = 1.8 \text{m}^2$$

$$be := b \cdot (e)^{0.5} \quad be = 26.833 \text{m}$$

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

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

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

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

punti caratteristici della polare

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 9$$

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.

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.638 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.036 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 17.725$$

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.105 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.072 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 15.35$$

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.368 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.024 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 15.35$$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare a S/L

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

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

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 122.7 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 441.72 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.361$$

$$V_P := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 93.232 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P = 335.634 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad MP := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.274$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 161.482 \frac{m}{s} \quad V_A = 581.336 \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.475$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 3.32 \times 10^4 N \quad D_E = 3385.1 \cdot kgf$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 3.833 \times 10^4 N \quad D_P = 3908.8 \cdot kgf$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 3.833 \times 10^4 N \quad D_A = 3908.8 \cdot kgf$$

$$\Pi E := D_E \cdot V_E \quad \Pi E = 4073.3 \cdot kW \quad \Pi E = 5462.3 \cdot hp$$

$$\Pi A := D_A \cdot V_A \quad \Pi A = 6190 \cdot kW \quad \Pi A = 8300.9 \cdot hp$$

$$\Pi P := D_P \cdot V_P \quad \Pi P = 3573.8 \cdot kW \quad \Pi P = 4792.5 \cdot hp$$

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

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

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

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

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 211.42 \frac{m}{s} \quad V_E = 761.111 \frac{km}{hr} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.706$$

$$V_P := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 160.644 \frac{m}{s} \quad V_P = 578.319 \frac{km}{hr} \quad MP := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.537$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 278.244 \frac{m}{s} \quad V_A = 1.002 \times 10^3 \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.93$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 3.32 \times 10^4 N \quad D_E = 3385.1 \cdot kgf$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 3.833 \times 10^4 N \quad D_P = 3908.8 \cdot kgf$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 3.833 \times 10^4 N \quad D_A = 3908.8 \cdot kgf$$

$$\Pi E := D_E \cdot V_E \quad \Pi E = 7018.5 \cdot kW \quad \Pi E = 9411.9 \cdot hp$$

$$\begin{aligned} \Pi_A &:= D_A \cdot V_A & \Pi_A &= 10665.8 \cdot \text{kW} & \Pi_A &= 14303 \cdot \text{hp} \\ \Pi_P &:= D_P \cdot V_P & \Pi_P &= 6157.9 \cdot \text{kW} & \Pi_P &= 8257.9 \cdot \text{hp} \end{aligned}$$

### e) Velocità massima

$$z := z_{cr}$$

$$z = 10000 \text{ m}$$

$$\phi := 1 \quad \sigma := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma = 0.337$$

Qui il modello di motore non e' quello che si usa solitamente. I coefficiente e' 0.80 e non 0.71 (vedi tabelle esame). Ovviamente tutto il processo rimane invariato.

$$T_d := T_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot 0.8 \quad T_d = 5.285 \times 10^4 \text{ N} \quad T_d = 5389.1 \cdot \text{kgf} \quad W = 60000 \cdot \text{kgf}$$

$$\frac{T_d}{W} = 0.09$$

Come detto prima per il calcolo della velocità massima occorre nella formula calcolare solo:  
 $T_d \Rightarrow T_d/W$   
 $W/S$   
 e l'efficienza massima  $E_e$

$$\frac{W}{S} = 5.884 \times 10^3 \text{ Pa} \quad \frac{W}{S} = 600 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$V_{max} := \sqrt{\frac{T_d}{W} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot CD_0} \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{T_d}{W}\right)^2 \cdot E_e^2}} \right]} \quad V_{max} = 355.708 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_{max} = 1.281 \times 10^3 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

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

$$a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 299.335 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad M := \frac{V_{max}}{a} \quad M = 1.188$$

La soluzione precedente può essere trovata anche con il metodo (b), cioè attraverso il CL

### ALTRO METODO (Metodo b)

$$\frac{T_d}{W} = 0.0898 \quad E_{cr} := \left( \frac{W}{T_d} \right) \quad E_{cr} = 11.134 \quad K := \frac{1}{(\pi \cdot AR \cdot e)} \quad K = 0.0442$$

$$E = \frac{C_{Lcr}}{C_{Dcr}} = \frac{C_{Lcr}}{C_{Do} + K \cdot C_{Lcr}^2}$$

$$K \cdot E \cdot C_{Lcr}^2 + E \cdot C_{Do} - C_{Lcr} = 0$$

Questo metodo è preferibile, non e' necessario ricordare la formula precedente a memoria, inoltre ci si arriva attraverso un processo logico. Il calcolo del coefficiente di portanza permette poi rapidamente il calcolo della V di equilibrio (sempre senza effetti di comprimibilità).

$$C_{Lcr} = \frac{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot E^2 \cdot C_{Do}}}{2 \cdot K \cdot E}$$

$$CL_{cr} := \frac{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot E_{cr}^2 \cdot CD_0}}{2 \cdot K \cdot E_{cr}}$$

$$CL_{cr} = 0.225$$

$$\sigma = 0.337$$

$$V_{cr} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{cr}}} \quad V_{cr} = 355.708 \frac{m}{s}$$

ECCO il calcolo della V dal CL

$$M := \frac{V_{cr}}{a} \quad M = 1.188$$

Il calcolo precedente mostra come la velocità massima non potrà essere uguale a quella calcolata in quanto notevolmente al di sopra del Mach di divergenza della resistenza del velivolo.

$$M_{DD} = 0.83$$

$$V_{DD} := M_{DD} \cdot a \quad V_{DD} = 248.448 \frac{m}{s}$$

Se il Mach precedente e' maggiore del mach di divergenza assegnato, deve essere calcolata la velocità massima con il seguente processo.

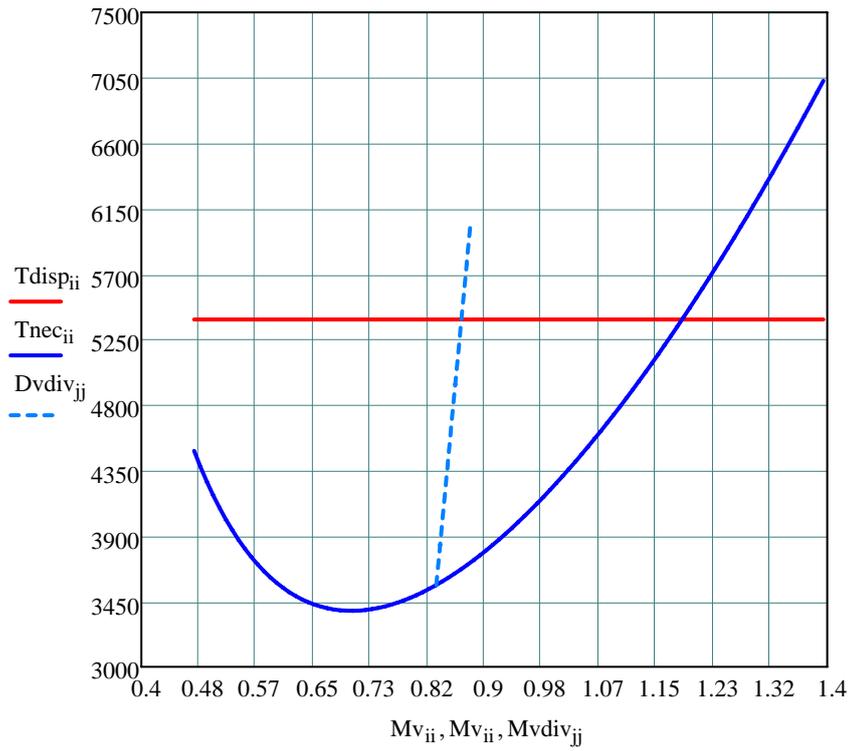
$$CL_{DD} := \frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{V_{DD}^2} \quad CL_{DD} = 0.462$$

$$CD_{DD} := CD_0 + \frac{CL_{DD}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD_{DD} = 2.744 \times 10^{-2}$$

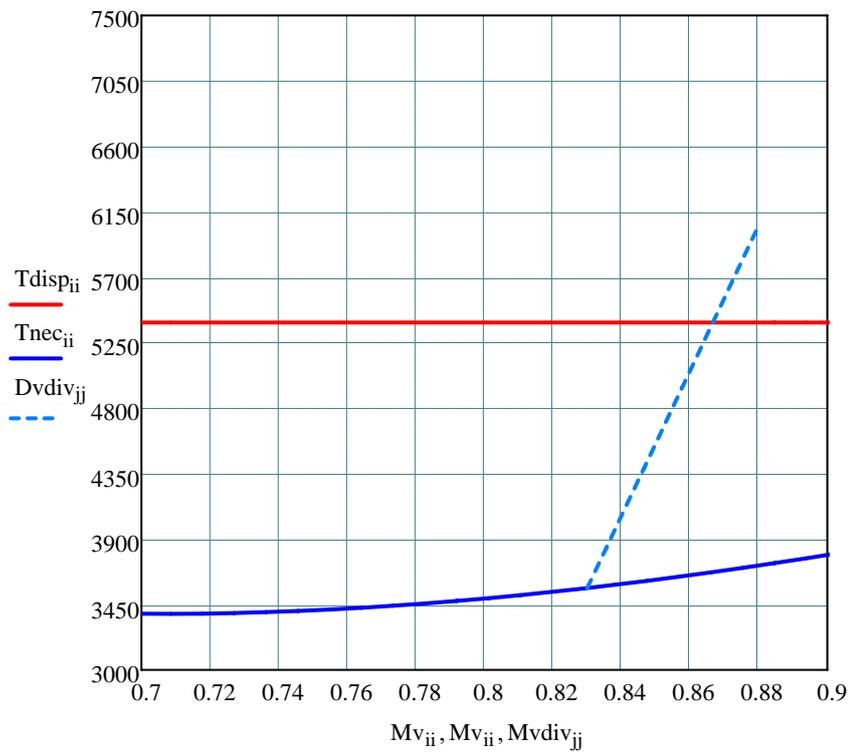
$$D_{DD} := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot V_{DD}^2 \cdot CD_{DD} \quad D_{DD} = 3.494 \times 10^4 N \quad D_{DD} = 3.563 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$M := \frac{T_d - D_{DD} + 14 \cdot D_{DD} \cdot M_{DD}}{14 \cdot D_{DD}} \quad M = 0.867$$

E' semplice, basta calcolare la resistenza (in N) nel punto corrispondente al Mach di divergenza ed avere la Td (sempre in (N)). La formula viene dalla teoria che dice che per M > Mdd la resistenza si incrementa di 1,4 volte per ogni decimo di Mach oltre Mdd.



Si noti l'incremento della resistenza sul grafico pari a 1,4 volte passando da Mach=0.83 a 0.93.



## Distanza di decollo

$$W = 60000 \cdot \text{kgf} \quad C_{L_{\max TO}} = 2 \quad S = 100 \text{ m}^2 \quad T_0 = 20000 \cdot \text{kgf}$$

$$K_{ES} := 0.9 \quad \Delta C_{Do} := 0.020 \quad \mu := 0.03 \quad C_{L_G} := 0.7$$

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

$$K_{V_{LO}} := 1.1 \quad K_{V_2} := 1.2 \quad K_{C_{L_{air}}} := 0.90$$

$$V_{STO} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{L_{\max TO}}}} \quad V_{STO} = 69.306 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{STO} = 249.5 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{LO} := 1.1 \cdot V_{STO} \quad V_{LO} = 76.236 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{LO} = 274.45 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Calcolo della corsa al suolo

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

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

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

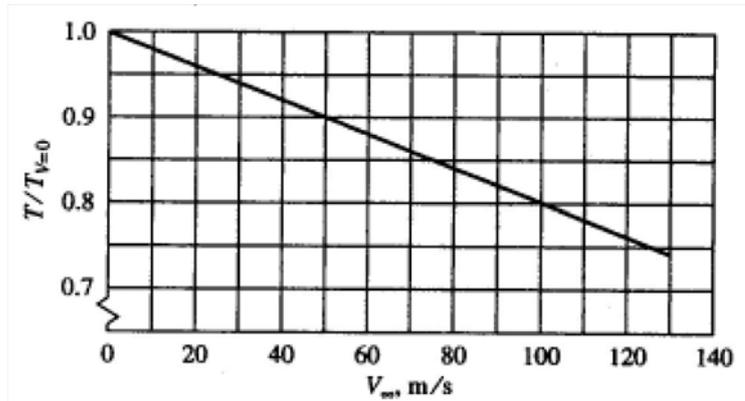
Velocità media (metodo 2) assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di lift-off perchè l'integrale è nella variabile indipendente  $V^2$  e quindi 0.70 è quel numero tale che elevato al quadrato fa 0.50, cioè e' :

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

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

$$V_{\text{ww}} := 0.7 \cdot V_{LO} \quad V = 53.365 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 192.115 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

### Calcolo spinta media motori:



$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad K_T = 0.893 \quad \text{Fattore di riduzione spinta in decollo motore turbofan}$$

Calcolo spinta media durante la corsa di decollo:

$$\overset{ww}{T} := (K_T) \cdot T_0 \quad \frac{T}{T_0} = 0.893 \quad T = 1.752 \times 10^5 \text{ N} \quad T = 17865 \cdot \text{kgf}$$

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

$$C_{Dind\_TO} := \frac{C_{L_G}^2}{\pi \cdot A R \cdot e} \cdot K_{ES} \quad C_{Dind\_TO} = 0.019$$

$$C_{D_G} := C_{D_0} + \Delta C_{D_0} + \frac{C_{L_G}^2}{\pi \cdot A R \cdot e} \cdot K_{ES} \quad C_{D_G} = 0.057$$

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot C_{D_G} \quad D = 10029.2 \text{ N} \quad D = 1023 \cdot \text{kgf}$$

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

$$\overset{ww}{L} := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot C_{L_G} \quad L = 1.221 \times 10^5 \text{ N} \quad L = 12451 \cdot \text{kgf}$$

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

$$F_a := \mu \cdot (W - L) \quad F_a = 1.399 \times 10^4 \text{ N} \quad F_a = 1426 \cdot \text{kgf} \quad \text{forza attrito}$$

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=17865 Kgf    spinta media  
D=1023 Kgf    resistenza aerodinamica media  
Fa=1426 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= 15416 Kgf    forza tot media

## FORZA TOTALE MEDIA

$$F_{xtot} := T - D - \mu \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 1.512 \times 10^5 \text{ N} \quad F_{xtot} = 15416 \cdot \text{kgf}$$

calcolo accelerazione media con peso  $W = 60000 \cdot \text{kgf}$

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 2.52 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad ac_g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Fare in questo modo, calcolare l'accelerazione media (sempre intorno a 2-3 m/s<sup>2</sup>). Poi calcolare S<sub>g</sub> con la formula sotto.

accelerazione adimensionale (in g)

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

$$ac_{ad} := \frac{ac}{ac_g} \quad ac_{ad} = 0.257 \quad ac_{ad\_approx} := \frac{T}{W} \quad ac_{ad\_approx} = 0.298$$

Risolvendo l'integrale (metodo 2 appunti):

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

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot ac} \quad S_G = 1153 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO (metodo 2 appunti)}$$

## 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<sub>CLair</sub> sotto

K<sub>VLO</sub> è il rapporto assegnato tra V<sub>LO</sub> e la vel stallo al decollo

K<sub>V2</sub> è il rapporto assegnato tra la V<sub>2</sub> (pass su ostacolo) e la vel stallo al decollo V<sub>sto</sub>

K<sub>Vr</sub> è il rapporto (calcolato come media tra i due precedenti) tra la vel bella fase di rotazione

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

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

$$K_{air} := \frac{(K_{LO} + K_2)}{2} \quad K_{air} = 1.15 \quad \begin{array}{l} \text{Velocità nella fase di involo come media tra la} \\ \text{V lift-off e la V di passaggio sull'ostacolo.} \\ \text{Frazione della velocità di stallo in decollo} \end{array}$$

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \quad V_R = 79.701 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

Che per la definizione di velocità di stallo diventa:

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

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

$$V_R := 1.15 \cdot V_{STO} \quad V_R = 79.701 \frac{m}{s} \quad V_R = 286.925 \cdot \frac{km}{hr} \quad \text{calcolo vel media durante involo}$$

$$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)} \quad R = 3405 \text{ m} \quad \text{FORMULA raggio traiettoria della richiamata (pull-up man)}$$

$$h_o := 15 \cdot m$$

$$\theta := \arccos\left(1 - \frac{h_o}{R}\right) \quad \theta = 0.094 \quad \theta = 5.38 \cdot \text{deg} \quad \text{angolo salita su ostacolo}$$

$$S_A := R \cdot \sin(\theta) \quad S_A = 319.246 \text{ m} \quad \text{calcolo corsa di INVOLTO (AIRBORNE distance)}$$

$$S_{TO} := S_G + S_A \quad S_{TO} = 1473 \text{ m} \quad \text{CORSA TOTALE DI DECOLLO}$$