

## SVOLGIMENTO COMPLETO VELIVOLO ELICA (Turboelica Dornier 328)

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

$$W := 14000 \cdot \text{kgf} \quad S := 40 \cdot \text{m}^2 \quad b := 21 \cdot \text{m} \quad CD_0 := 0.028 \quad e := 0.80 \quad CL_{MAX} := 1.60$$

$$W_F := 2000 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_{ao} := 2 \cdot 2200 \cdot \text{hp} \quad \eta_p := 0.8 \quad SFC := 0.5 \cdot \frac{\text{lb}}{\text{hp} \cdot \text{hr}} \quad \rho_0 := 1.225 \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$zcr := 6000 \cdot \text{m} \quad zcl := 3000 \cdot \text{m} \quad zglide := 6000 \cdot \text{m}$$

$$z := zcr$$

### a) PUNTI CARATTERISTICI POLARE

$$\text{QUOTA } z \quad z = 6000 \text{ m}$$

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 11.025 \quad \sigma(z) := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma(z) = 0.538 \quad \sigma_{co} := \sigma(z) \quad \sigma_{co} = 0.538$$

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

#### PUNTO E

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.881 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.056 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 15.729$$

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E(z) = 108.699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 391.315 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_E(0 \cdot \text{m}) = 79.762 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(0 \cdot \text{m}) = 287.144 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Ricordare, in ogni caso che per passare da livello del mare a quota o viceversa, per la velocità vale:

$$V_E(z) := \frac{V_E(0 \cdot \text{m})}{\sqrt{\sigma(z)}} \quad \text{e questo vale anche per gli altri punti caratteristici}$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 8729 \text{ N} \quad D_E = 890.1 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_{nE}(z) := D_E \cdot V_E(z) \quad \Pi_{nE}(z) = 948.8 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{nE}(z) = 1272.4 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{nE}(0) = 696.2 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{nE}(0 \cdot \text{m}) = 933.6 \cdot \text{hp}$$

#### PUNTO P

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.526 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.112 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 13.622$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 10079 \text{ N} \quad D_P = 1027.8 \cdot \text{kgf} \quad E_P := \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot E_E \quad E_P = 13.622$$

$$D_{Rv} := \frac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}} \quad D_P = 10079 \text{ N} \quad D_P = 1027.8 \cdot \text{kgf}$$

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P(z) = 82.593 \frac{m}{s} \quad V_P(z) = 297.335 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_P(0 \cdot m) = 60.606 \frac{m}{s} \quad V_P(0 \cdot m) = 218.182 \cdot \frac{km}{hr}$$

La velocità in P è anche collegata a quella nel punto E (/1.32) e fornisce lo stesso risultato:

$$V_{eP}(z) := \frac{V_E(z)}{\sqrt{\sqrt{3}}} \quad V_{eP}(z) = 82.593 \frac{m}{s} \quad V_{eP}(z) = 297.335 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$\Pi_{nP}(z) := D_P \cdot V_P(z) \quad \Pi_{nP}(z) = 832.5 \cdot kW \quad \Pi_{nP}(z) = 1116.3 \cdot hp$$

$$\Pi_{nP}(0) = 610.9 \cdot kW \quad \Pi_{nP}(0m) = 819.2 \cdot hp$$

Ricordare anche che la potenza nel punto P è 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

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.509 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.037 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 13.622$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 10079 \text{ N} \quad D_A = 1027.8 \cdot \text{kgf} \quad E_{AA} := \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot E_E \quad E_A = 13.622$$

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A(z) = 143.055 \frac{m}{s} \quad V_A(z) = 514.999 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_A(0 \cdot m) = 104.973 \frac{m}{s} \quad V_A(0 \cdot m) = 377.903 \cdot \frac{km}{hr}$$

La velocità in A è anche collegata a quella nel punto E (\* 1.32) e fornisce lo stesso risultato:

$$V_{eA}(z) := \sqrt{\sqrt{3}} \cdot V_E(z) \quad V_{eA}(z) = 143.055 \frac{m}{s} \quad V_{eA}(z) = 514.999 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$\Pi_{nA}(z) := D_A \cdot V_A(z) \quad \Pi_{nA}(z) = 1441.9 \cdot kW \quad \Pi_{nA}(z) = 1933.6 \cdot hp$$

$$\Pi_{nA}(0) = 1058 \cdot kW \quad \Pi_{nA}(0m) = 1418.8 \cdot hp$$

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

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

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

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

$$CD_{max} := CD_0 + \frac{CL_{MAX}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD_{max} = 0.12$$

$$CD_S := (CD_{max}) \quad E_S := \frac{CL_{MAX}}{CD_S} \quad E_S = 13.29$$

$$D_S := \frac{W}{E_S} \quad D_S = 1053.41 \cdot \text{kgf}$$

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}} \quad V_S(z) = 80.651 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(z) = 290.342 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_S(0 \cdot \text{m}) = 59.181 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(0 \cdot \text{m}) = 213.051 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\Pi_{InS}(z) := D_S \cdot V_S(z) \quad \Pi_{InS}(z) = 833.2 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InS}(z) = 1117.3 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InS}(0 \cdot \text{m}) = 611.361 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InS}(0 \cdot \text{m}) = 819.8 \cdot \text{hp}$$

Riepilogo PUNTI CARATTERIATICI per quantità

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

$$CL_E = 0.881 \quad CD_E = 0.056 \quad E_E = 15.729$$

$$CL_P = 1.526 \quad CD_P = 0.112 \quad E_P = 13.622$$

$$CL_A = 0.509 \quad CD_A = 0.037 \quad E_A = 13.622$$

$$CL_{MAX} = 1.6 \quad CD_S = 0.12 \quad E_S = 13.29$$

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E(z) = 108.699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 391.315 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_E(0 \cdot \text{m}) = 79.762 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(0 \cdot \text{m}) = 287.144 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P(z) = 82.593 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(z) = 297.335 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_P(0 \cdot \text{m}) = 60.606 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(0 \cdot \text{m}) = 218.182 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A(z) = 143.055 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(z) = 514.999 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_A(0 \cdot \text{m}) = 104.973 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(0 \cdot \text{m}) = 377.903 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_S(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{MAX}}} \quad V_S(z) = 80.651 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(z) = 290.342 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_S(0 \cdot \text{m}) = 59.181 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S(0 \cdot \text{m}) = 213.051 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 8729 \text{ N} \quad D_E = 890.1 \cdot \text{kgf}$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 10079 \text{ N} \quad D_P = 1027.8 \cdot \text{kgf}$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 10079 \text{ N} \quad D_A = 1027.8 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_{InE}(z) := D_E \cdot V_E(z) \quad \Pi_{InE}(z) = 948.8 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InE}(z) = 1272.4 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InE}(0) = 696.2 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InE}(0\text{m}) = 933.6 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InP}(z) := D_P \cdot V_P(z) \quad \Pi_{InP}(z) = 832.5 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InP}(z) = 1116.3 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InP}(0) = 610.9 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InP}(0\text{m}) = 819.2 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InA}(z) := D_A \cdot V_A(z) \quad \Pi_{InA}(z) = 1441.9 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InA}(z) = 1933.6 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InA}(0) = 1058 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{InA}(0\text{m}) = 1418.8 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_{InS}(z) := D_S \cdot V_S(z) \quad \Pi_{InS}(z) = 833.2 \cdot \text{kW}$$

$$\Pi_{InS}(0\text{m}) = 611.361 \cdot \text{kW}$$

## b) CALCOLO VELOCITA' MASSIMA o di CROCIERA (gr. amm. =1) IN VOLO LIVELLATO ad una certa quota

$\phi_{cr} := 1$  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  $K_v=1$   $CD = 1.1CD_0$

$$\Pi d(z) := \Pi_{a0} \cdot \phi_{cr} \cdot \sigma(z) \cdot \eta_p \quad \Pi d(z) = 1.413 \times 10^6 \text{ W} \quad \Pi d(z) = 1895.4 \text{ hp}$$

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

$$K_V := 1$$

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

Risultato in m/s

$$V_{\text{m/s}} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 151.518 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 545.464 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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 (questa funzione della velocità dalla equazione  $L=W$ )

$$K_{V_2} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_V = 1.238 \quad \text{Kv dal grafico fornito o dalla formula}$$

$$V_{\text{m/s}} := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 162.695 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 585.7 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Per maggiore accuratezza potrei anche risitimare il fattore  $K_v$  alla nuova velocità e poi bloccarlo definitivamente

$$K_{V_2} := 1 + 0.0080 \cdot \left( \frac{V}{100 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}} \right)^2 \quad K_{V_2} = 1.274$$

Essendo però piccola la differenza, come sempre visto, per le iterazioni successive usiamo il  $K_v$  stimato prima, cioè lo calcolo solo una volta.

**Iterazione 2**  $K_v$  fix e  $CD = \text{NUOVO}$  calcolato con il CL calcolato a sua volta in funzione della nuova V

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.3932 \quad \text{Attenzione Nella formula W in [N]}$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03358$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 158.076 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 569.075 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \begin{array}{l} \text{CONSIDERO} \\ \text{QUESTA V e } K_V \\ \text{bloccato per} \\ \text{successive iterazioni} \end{array}$$

**Iterazione 3**  $K_V$  fix e  $CD = \text{NUOVO}$  calcolato con il  $CL$  calcolato a sua volta in funzione della nuova  $V$

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.416$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03426$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 157.022 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 565.279 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Ci si potrebbe anche fermare qui (la differenza tra la seconda e la terza iterazione fornisce poco più di 4 Km/h di differenza (che è meno del 1%), ma se si vuole scendere al di sotto dei 2 Km/h di precisione, si può fare una quarta iterazione. Come detto in effetti bisognerebbe ragionare in %, cioè quando la differenza è ad esempio inferiore allo 0.5%.

**Iterazione 4**  $K_V$  fix e  $CD = \text{NUOVO}$

$$CL := \frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot V^2} \quad CL = 0.422$$

$$CD := CD_0 + \frac{CL^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03443$$

$$V := \sqrt[3]{\frac{2 \cdot \Pi d(z) \cdot K_V}{\rho_0 \cdot \sigma(z) \cdot S \cdot CD}} \quad V = 156.763 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V = 564.348 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad V = 304.723 \cdot \text{knot}$$

$$V_{\text{cruise}} := V \quad V_{\text{cruise}} = 156.763 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{\text{cruise}} = 564.348 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Ci fermiamo. Differenza minore di 1 Km/h rispetto ad iterazione precedente

Calcoliamo la EAS ed il MACH

$$\sqrt{\sigma(z)} = 0.734 \quad EAS := V \cdot \sqrt{\sigma(z)} \quad EAS = 115.032 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad EAS = 414.114 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$z = 6 \times 10^3 \text{ m} \quad T := 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot z \quad a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 316.304 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{MACH} := \frac{V}{a} \quad \text{MACH} = 0.496$$

FINITO !!!!

### c) Massimo range velivolo ad elica

$$z := z_{cr}$$

$$\text{QUOTA CROCIERA } z = 6000 \text{ m}$$

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

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:

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

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

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

Si ha che:

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

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

$$R_{\max} := \frac{\eta_p}{c} \cdot E_E \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \quad \text{SFC} := 0.5 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{hp} \cdot \text{hr}}$$

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

$$R_{\max} = 2341239 \text{ m} \quad R_{\max} = 2341.2 \cdot \text{km}$$

COME NOTO,  
LA QUOTA NON INFLUISCE  
SULLA AUTONOMIA DI  
DISTANZA DEL VELIVOLO  
AD ELICA

LA Quota rientra nella definizione delle velocità (TAS)

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_E(z) = 108.699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(z) = 391.315 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{TAS}$$

$$V_{E\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_EAS} = 79.762 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_EAS} = 287.144 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{EAS}$$

**Ipotesi quota costante -calcolo vel finale**

$$V_{E\_fin}(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{(W - W_F)}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_fin}(z) = 100.635 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_fin}(z) = 362.287 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{TAS}$$

$$V_{E\_fin\_EAS} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W - W_F}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{E\_fin\_EAS} = 73.845 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{E\_fin\_EAS} = 265.844 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{EAS}$$

**Ipotesi quota costante -calcolo vel finale; o anche, in modo più rapido e semplice:**

$$V_{E\_fin}(z) := V_E(z) \cdot \left( \sqrt{\frac{W - W_F}{W}} \right) \quad V_{E\_fin}(z) = 100.635 \frac{m}{s} \quad V_{E\_fin}(z) = 362.287 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_{E\_fin\_EAS} := V_{E\_EAS} \cdot \left( \sqrt{\frac{W - W_F}{W}} \right) \quad V_{E\_fin\_EAS} = 73.845 \frac{m}{s} \quad V_{E\_fin\_EAS} = 265.844 \cdot \frac{km}{hr}$$

**Ipotesi quota costante**

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

$$V_{range\_CAS} := 500 \cdot \frac{km}{hr} \quad \text{Se voglio assegnare la CAS porta sotto}$$

$$V_{cruise} = 564.348 \cdot \frac{km}{hr} \quad \text{Velocità massima calcolata in volo livellato a 6000 m (punto precedente)}$$

$$V_{range\_TAS} := 564.3 \cdot \frac{km}{hr} \quad V_{range\_TAS} = 156.75 \frac{m}{s} \quad V_{range\_TAS} = 304.698 \cdot \text{knot}$$

$$V_{range\_CAS} := V_{range\_TAS} \cdot \sqrt{\sigma(z)} \quad V_{range\_CAS} = 414.079 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$V_{range\_CAS} = 115.022 \frac{m}{s} \quad V_{range\_CAS} = 223.585 \cdot \text{knot}$$

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

$$CL_{range} := \frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{V_{range\_CAS}^2} \quad CL_{range} = 0.424$$

$$CD_{range} := CD_0 + \frac{CL_{range}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD = 0.03447 \quad E_{range} := \frac{CL_{range}}{CD_{range}} \quad E_{range} = 12.286$$

L'efficienza aerodinamica è inferiore a quella massima del punto E (max autonomia di distanza velivoli ad elica). L'autonomia sarà inferiore a quella massima calcolata prima

$$R_{max2} := \frac{\eta_p}{SFC} \cdot E_{range} \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \quad R_{max2} = 1828795 \text{ m} \quad R_{max2} = 1828.8 \cdot \text{km}$$

**Ipotesi Velocità TAS costante - calcolo variazione quota**

$$\sigma_i := \sigma(z) \quad \sigma_f := \sigma_i \cdot \frac{(W - W_F)}{W} \quad \sigma_f = 0.462$$

$$RappTemp := (\sigma_f)^{\left(\frac{1}{4.256}\right)} \quad RappTemp = 0.834$$

$$Temp := RappTemp \cdot 288.15 \quad Temp = 240.28$$

$$h_f := \frac{(288.15 - Temp) \cdot 1000m}{6.5} \quad h_f = 7365 \text{ m}$$

### d) Volo Librato a quota z (zglide assegnata)

$$\begin{aligned} zglide &= 6000 \text{ m} & E_E &= 15.729 & \sigma(zglide) &= 0.538 \\ zglide2 &:= 2000 \cdot \text{m} & & & \sqrt{\sigma(zglide)} &= 0.734 \end{aligned}$$

**Max Dist Percorribile da quota assegnata**  $zglide = 6000 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Dist} &:= zglide \cdot E_E & \text{Dist} &= 94.37 \cdot \text{km} \\ \text{tetagl\_min} &:= \text{atan}\left(\frac{1}{E_E}\right) & \text{tetagl\_min} &= 0.063 & \text{tetagl\_min} &= 3.638 \cdot \text{deg} \end{aligned}$$

o anche , in modo piu' rapido (angolo piccolo)

$$\text{tetagl\_min} := \left(\frac{1}{E_E}\right) \quad \text{tetagl\_min} = 0.064 \quad \text{tetagl\_min} = 3.643 \cdot \text{deg}$$

Per la massima distanza in volo librato Il pilota deve tenere l'assetto del punto E

$$V_E(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad \Pi_{n\_glide_E}(z) := V_E(z) \cdot D_E$$

$$\text{TAS} \quad V_E(zglide) = 108.699 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(zglide) = 391.315 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{TAS\_quota2} \quad V_E(zglide2) = 87.997 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(zglide2) = 316.791 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{CAS} \quad V_E(0) = 79.762 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E(0) = 287.144 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\Pi_{n\_glide_E}(zglide) = 948.79 \cdot \text{kW} \quad \Pi_{n\_glide_E}(zglide2) = 768.1 \cdot \text{kW}$$

Per ottenere i valori di V in quota partire dal calcolo a S/L e dividere per  $\sqrt{\sigma(z)}$

Anche le potenze necessarie aumentano con lo stesso parametro

Rateo di discesa a quota zglide nel punto E  $zglide = 6000 \text{ m}$   $W = 137293 \text{ N}$

$$RD_E(zglide) := \frac{\Pi_{n\_glide_E}(zglide)}{W} \quad RD_E(zglide) = 6.911 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RD_E(zglide2) := \frac{\Pi_{n\_glide_E}(zglide2)}{W} \quad RD_E(zglide2) = 5.595 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{a quota 0} \quad \Pi_{n\_glide_E}(0) = 696.219 \cdot \text{kW} \quad RD_E(0) = 5.071 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calcolo angolo di discesa MINIMO (PUNTO E)

$$\text{tetagl\_E} := \text{asin}\left(\frac{RD_E(zglide)}{V_E(zglide)}\right) \quad \text{tetagl\_E} = 0.064 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl\_E} = 3.645 \cdot \text{deg}$$

o anche (angolo piccolo)  $\text{sen}(\text{teta}) = \text{teta}$  [rad]

$$\text{tetagl2\_E} := \left(\frac{RD_E(zglide)}{V_E(zglide)}\right) \quad \text{tetagl2\_E} = 0.064 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl2\_E} = 3.643 \cdot \text{deg}$$

che si puo' anche scrivere come

$$\text{tetagl}_E := \frac{1}{E_E} \quad \text{tetagl}_E = 0.064$$

Per il **minimo RD** in volo librato Il pilota deve tenere l'assetto del **punto P**

$$V_P(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad \Pi_{\text{In\_glide}_P}(z) := V_P(z) \cdot D_P$$

$$\text{TAS} \quad V_P(\text{zglide}) = 82.593 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(\text{zglide}) = 297.335 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{TAS quota 2} \quad V_P(\text{zglide2}) = 66.864 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(\text{zglide2}) = 240.709 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{CAS} \quad V_P(0) = 60.606 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P(0) = 218.182 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\Pi_{\text{In\_glide}_P}(\text{zglide}) = 832.46 \cdot \text{kW}$$

$$\Pi_{\text{In\_glide}_P}(\text{zglide2}) = 673.92 \cdot \text{kW}$$

Il minimo si ha pero' nel punto P  $\text{zglide} = 6000 \text{ m}$   $W = 137293 \text{ N}$

$$\text{RD}_P(\text{zglide}) := \frac{\Pi_{\text{In\_glide}_P}(\text{zglide})}{W} \quad \text{RD}_P(\text{zglide}) = 6.063 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{RD}_{P_z} := \text{RD}_P(\text{zglide})$$

$$\text{RD}_P(\text{zglide2}) := \frac{\Pi_{\text{In\_glide}_P}(\text{zglide2})}{W} \quad \text{RD}_P(\text{zglide2}) = 4.909 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

a quota 0

$$\Pi_{\text{In\_glide}_P}(0) = 610.85 \cdot \text{kW} \quad \text{RD}_P(0 \cdot \text{m}) = 4.449 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{RD}_{P_0} := \text{RD}_P(0 \cdot \text{m})$$

Calcolo angolo di discesa (PUNTO P)

$$\text{tetagl}_P := \text{asin}\left(\frac{\text{RD}_P(\text{zglide})}{V_P(\text{zglide})}\right) \quad \text{tetagl}_P = 0.073 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl}_P = 4.21 \cdot \text{deg}$$

angolo piccolo  $\text{sen}(\text{teta}) = \text{teta}$  [rad]

$$\text{tetagl2}_P := \left(\frac{\text{RD}_P(\text{zglide})}{V_P(\text{zglide})}\right) \quad \text{tetagl2}_P = 0.073 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl2}_P = 4.206 \cdot \text{deg}$$

che si puo' anche scrivere come

$$\text{tetagl}_P := \frac{1}{E_P} \quad \text{tetagl}_P = 0.073 \quad \text{tetagl}_P = 4.206 \cdot \text{deg}$$

Calcolo **RD** in volo librato l'assetto del **punto A**

$$V_A(z) := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma(z)} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad \Pi_{\text{In\_glide}_A}(z) := V_A(z) \cdot D_A$$

$$\text{TAS} \quad V_A(\text{zglide}) = 143.055 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(\text{zglide}) = 514.999 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{TAS quota 2} \quad V_A(\text{zglide2}) = 115.811 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(\text{zglide2}) = 416.92 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\text{CAS} \quad V_A(0) = 104.973 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A(0) = 377.903 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\Pi_{\text{In\_glide}_A}(\text{zglide}) = 1441.86 \cdot \text{kW}$$

$$\Pi_{\text{In\_glide}_A}(\text{zglide2}) = 1167.26 \cdot \text{kW}$$

$$\text{zglide} = 6000 \text{ m} \quad W = 137293 \text{ N}$$

$$RD_A(\text{zglide}) := \frac{\Pi_{\text{In\_glide}_A}(\text{zglide})}{W} \quad RD_A(\text{zglide}) = 10.502 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RD_{Az} := RD_P(\text{zglide})$$

$$RD_A(\text{zglide2}) := \frac{\Pi_{\text{In\_glide}_A}(\text{zglide2})}{W} \quad RD_A(\text{zglide2}) = 8.502 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

a quota 0

$$\Pi_{\text{In\_glide}_A}(0) = 1058.02 \cdot \text{kW}$$

$$RD_A(0 \cdot \text{m}) = 7.706 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RD_{Ao} := RD_P(0 \cdot \text{m})$$

Calcolo angolo di discesa (PUNTO A)

$$\text{tetagl}_A := \text{asin} \left( \frac{RD_A(\text{zglide})}{V_A(\text{zglide})} \right) \quad \text{tetagl}_A = 0.073 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl}_A = 4.21 \cdot \text{deg}$$

angolo piccolo  $\text{sen}(\text{teta}) = \text{teta}$  [rad]

$$\text{tetagl2}_A := \left( \frac{RD_A(\text{zglide})}{V_A(\text{zglide})} \right) \quad \text{tetagl2}_A = 0.073 \cdot \text{rad} \quad \text{tetagl2}_A = 4.206 \cdot \text{deg}$$



# Velivolo a getto

$$\begin{aligned}
 \underline{W} &:= 270000 \cdot \text{kgf} & \underline{S} &:= 360 \cdot \text{m}^2 & b &:= 60 \cdot \text{m} & \text{CD}_0 &:= 0.020 & \underline{e} &:= .8 & \text{CL}_{\text{max}} &:= 1.5 \\
 \underline{W}_F &:= 80000 \cdot \text{kgf} & & & \text{be} &:= b \cdot (e)^{0.5} & \text{be} &= 53.666 \text{ m} & & & \text{CL}_{\text{maxTO}} &:= 2.1 \\
 \text{M}_{\text{DD}} &:= .84 & & & \text{fpar} &:= \text{CD}_0 \cdot S & \text{fpar} &= 7.2 \text{ m}^2 & & & & \\
 \underline{T}_0 &:= 4 \cdot 16000 \cdot \text{kgf} & \text{SFCJ} &:= 0.5 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{lbf} \cdot \text{hr}} & \underline{T}_0 &= 64000 \cdot \text{kgf} & & & \frac{\underline{T}_0}{\underline{W}} &= 0.237 \\
 \underline{z}_{\text{cr}} &:= 10000 \cdot \text{m} & \underline{z}_{\text{cl}} &:= 7000 \cdot \text{m} & & & & & & & & \\
 \underline{z}_{\text{cr}} &= 32808 \cdot \text{ft} & \underline{z}_{\text{cl}} &= 22966 \cdot \text{ft} & & & & & & & & 
 \end{aligned}$$

## Dati quota crociera

$$\begin{aligned}
 \sigma &:= \frac{\rho(\underline{z}_{\text{cr}})}{\rho_0} & \sigma &= 0.337 & \underline{R} &:= 287 \cdot \frac{\text{Pa}}{\text{K} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}} & R &= 287 \frac{\text{m}^2}{\text{K} \cdot \text{s}^2} \\
 \underline{T} &:= 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot \underline{z}_{\text{cr}} & a &:= \sqrt{1.4 \cdot R \cdot \underline{T}} & a &= 299.335 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

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.

## 1) punti caratteristici della polare

$$\text{AR} := \frac{b^2}{S} \quad \text{AR} = 10$$

$$\text{CL}_E := \sqrt{\text{CD}_0 \cdot \pi \cdot \text{AR} \cdot e} \quad \text{CL}_E = 0.709 \quad \text{CD}_E := 2 \cdot \text{CD}_0 \quad \text{CD}_E = 0.04 \quad E_E := \frac{\text{CL}_E}{\text{CD}_E} \quad E_E = 17.725$$

$$\text{CL}_P := \sqrt{3} \cdot \text{CL}_E \quad \text{CL}_P = 1.228 \quad \text{CD}_P := 4 \cdot \text{CD}_0 \quad \text{CD}_P = 0.08 \quad E_P := \frac{\text{CL}_P}{\text{CD}_P} \quad E_P = 15.35$$

$$\text{CL}_A := \frac{\text{CL}_E}{\sqrt{3}} \quad \text{CL}_A = 0.409 \quad \text{CD}_A := \frac{4}{3} \cdot \text{CD}_0 \quad \text{CD}_A = 0.027 \quad E_A := \frac{\text{CL}_A}{\text{CD}_A} \quad E_A = 15.35$$

$$\text{CL}_S := \text{CL}_{\text{max}} \quad \text{CD}_S := \text{CD}_0 + \frac{\text{CL}_S^2}{\pi \cdot \text{AR} \cdot e} \quad \text{CD}_S = 0.11 \quad E_S := \frac{\text{CL}_S}{\text{CD}_S} \quad E_S = 13.696$$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare a S/L

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

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

$$\underline{V}_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{\underline{W}}{S} \cdot \frac{1}{\text{CL}_E}} \quad \underline{V}_E = 130.143 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \underline{V}_E = 468.514 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{ME} := \frac{\underline{V}_E}{a} \quad \text{ME} = 0.383$$

$$\underline{V}_P := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{\underline{W}}{S} \cdot \frac{1}{\text{CL}_P}} \quad \underline{V}_P = 98.887 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \underline{V}_P = 355.994 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{MP} := \frac{\underline{V}_P}{a} \quad \text{MP} = 0.291$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_A}} \quad V_A = 171.278 \frac{m}{s} \quad V_A = 616.6 \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.504$$

$$V_S := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{max}}} \quad V_S = 89.473 \frac{m}{s} \quad V_S = 322.103 \frac{km}{hr} \quad MS := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.263$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 149386 N \quad D_E = 15233.1 \cdot kgf$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 172496 N \quad D_P = 17589.7 \cdot kgf$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 172496 N \quad D_A = 17589.7 \cdot kgf$$

$$D_S := \frac{W}{E_S} \quad D_S = 193333 N \quad D_S = 19714.4 \cdot kgf$$

$$\Pi_E := D_E \cdot V_E \quad \Pi_E = 19441.5 \cdot kW \quad \Pi_E = 26071.5 \cdot hp$$

$$\Pi_A := D_A \cdot V_A \quad \Pi_A = 29544.7 \cdot kW \quad \Pi_A = 39620.1 \cdot hp$$

$$\Pi_P := D_P \cdot V_P \quad \Pi_P = 17057.6 \cdot kW \quad \Pi_P = 22874.7 \cdot hp$$

$$\Pi_S := D_S \cdot V_S \quad \Pi_S = 17298.1 \cdot kW \quad \Pi_S = 23197.1 \cdot hp$$

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

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

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

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

Ricordare, in ogni caso che per passare da livello del mare a quota o viceversa, per la velocità vale:

$$VE(z) := \frac{VE(0m)}{\sqrt{\sigma(z)}} \quad \text{e questo vale anche per gli altri punti caratteristici}$$

PUNTO E

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.709 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.04 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 17.725$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 149386 N \quad D_E = 15233.1 \cdot kgf$$

$$V_E := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_E}} \quad V_E = 224.244 \frac{m}{s} \quad V_E = 807.28 \frac{km}{hr} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.749$$

$$\Pi_E := D_E \cdot V_E \quad \Pi_E = 33499 \cdot kW \quad \Pi_E = 44922.8 \cdot hp$$

PUNTO P

$$\underline{CL}_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.228 \quad \underline{CD}_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.08 \quad \underline{E}_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 15.35$$

$$\underline{D}_P := \frac{W}{E_P} \quad \text{o anche } DE^*(2/\text{rad}^3) \quad D_P = 1.725 \times 10^5 \text{ N} \quad D_P = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D}_P := \frac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}} \quad D_P = 172496 \text{ N} \quad D_P = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V}_P := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 170.389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P = 613.4 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MP} := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.569$$

$$V_{eP}(z) := \frac{V_E}{\sqrt{\sqrt{3}}} \quad V_{eP}(z) = 170.389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{eP}(z) = 613.4 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\underline{IIP} := D_P \cdot V_P \quad IIP = 29391.4 \cdot \text{kW} \quad IIP = 39414.5 \cdot \text{hp}$$

PUNTO S

$$CL_S = 1.5 \quad CD_S = 0.11 \quad E_S = 13.696$$

$$D_S = 1.933 \times 10^5 \text{ N} \quad D_S = 19714.4 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V}_S := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_S}} \quad V_S = 154.168 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S = 555.004 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MS} := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.515$$

$$\underline{IIS} := D_S \cdot V_S \quad IIS = 29805.7 \cdot \text{kW} \quad IIS = 39970 \cdot \text{hp}$$

PUNTO A

$$\underline{CL}_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.409 \quad \underline{CD}_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.027 \quad \underline{E}_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 15.35$$

$$\underline{D}_A := \frac{W}{E_A} \quad \text{o anche } DE^*(2/\text{rad}^3) \quad D_A = 1.725 \times 10^5 \text{ N} \quad D_A = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D}_A := \frac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}} \quad D_A = 172496 \text{ N} \quad D_A = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V}_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 295.122 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 1062.44 \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.986$$

$$V_{eA}(z) := V_E \cdot \sqrt{\sqrt{3}} \quad V_{eA}(z) = 295.122 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{eA}(z) = 1062.44 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\underline{IIA} := D_A \cdot V_A \quad IIA = 50907.4 \cdot \text{kW} \quad IIA = 68268 \cdot \text{hp}$$

## RIEPILOGO PUNTI CARATT IN QUOTA

$$V_S := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_S}} \quad V_S = 154.168 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S = 555.004 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad MS := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.515$$

$$V_E := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 224.244 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 807.28 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.749$$

$$V_P := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 170.389 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P = 613.4 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad MP := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.569$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 295.122 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 1.062 \times 10^3 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.986$$

$$D_S := \frac{W}{E_S} \quad D_S = 193333 \text{ N} \quad D_S = 19714.4 \cdot \text{kgf}$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 149386 \text{ N} \quad D_E = 15233.1 \cdot \text{kgf}$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 172496 \text{ N} \quad D_P = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 172496 \text{ N} \quad D_A = 17589.7 \cdot \text{kgf}$$

$$\Pi_S := D_S \cdot V_S \quad \Pi_S = 29805.7 \cdot \text{kW} \quad \Pi_S = 39970 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_E := D_E \cdot V_E \quad \Pi_E = 33499 \cdot \text{kW} \quad \Pi_E = 44922.8 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_A := D_A \cdot V_A \quad \Pi_A = 50907.4 \cdot \text{kW} \quad \Pi_A = 68268 \cdot \text{hp}$$

$$\Pi_P := D_P \cdot V_P \quad \Pi_P = 29391.4 \cdot \text{kW} \quad \Pi_P = 39414.5 \cdot \text{hp}$$

### e) Velocità massima volo livellato (MAX CRUISE setting)

$$z := z_{cr} \quad \phi := 1 \quad \text{Grado ammissione (MAX speed =1)} \\ \text{(crociera, grado ammissione tra 0.7 e 0.9)}$$

$$z = 10000 \text{ m} \quad \sigma := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma = 0.337$$

Formula corretta che segue il modello di motore turbofan ad alto rapporto di by-pass, come assegnato in tabella esame.

$$T_d := T_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot 71 \quad T_d = 1.501 \times 10^5 \text{ N} \quad T_d = 15305.1 \cdot \text{kgf} \quad W = 270000 \cdot \text{kgf}$$

$$\frac{T_d}{W} = 0.0567$$

Nella formula serve solo il calcolo di  $T_d$ , di  $W/S$  e della efficienza massima (punto E).

$$\frac{W}{S} = 7.355 \times 10^3 \text{ Pa} \quad \frac{W}{S} = 750 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$V_{\max} := \sqrt{\frac{T_d}{W} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot CD_0} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{T_d}{W}\right)^2 \cdot E_E^2}} \right]} \quad V_{\max} = 235.408 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ V_{\max} = 847.468 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

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

$$a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 299.335 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad M := \frac{V_{\max}}{a} \quad M = 0.786$$

ALTRO METODO (Metodo b)

Questo metodo e' piu' elegante e non necessita di ricavare o ricordare a memoria la formula precedente con la radice. Si basa su un processo logico e supportato da semplice considerazione grafica. (vedi appunti)

$$\frac{T_d}{W} = 0.0567 \quad E := \left(\frac{W}{T_d}\right) \quad E = 17.641 \quad K := \frac{1}{(\pi \cdot AR \cdot e)} \quad K = 0.0398$$

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

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

Il metodo si basa sul fatto che, nota la spinta disponibile  $T_d$ , e quindi  $T_d/W$ , e' nota l'efficienza aerodinamica in tale condizione di equilibrio. Di punti con questa efficienza sulla polare (o polare tecnica) ce ne sono ovviamente 2, ma va preso quello a CL minore (V maggiore). L'equazione di secondo grado in CL fornisce il risultato. Come si vede dopo va considerata la soluzione con il segno - prima della radice (soluzione equazione di secondo grado).

Soluzione Equazione di secondo grado con il segno -  
SEGNO -

$$C_{Lcr} = \frac{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot E^2 \cdot C_{D0}}}{2 \cdot K \cdot E}$$

$$CL_{cr} := \frac{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot K \cdot E^2 \cdot CD_0}}{2 \cdot K \cdot E} \quad CL_{cr} = 0.643$$

$$\sigma = 0.337$$

$$V_{cr} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{1}{S \cdot CL_{cr}}} \quad V_{cr} = 235.408 \frac{m}{s}$$

$$M := \frac{V_{cr}}{a} \quad M = 0.786$$

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.

$$M_{DD} = 0.84$$

$$V_{DD} := M_{DD} \cdot a \quad V_{DD} = 251.441 \frac{m}{s}$$

$$CL_{DD} := \frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{V_{DD}^2} \quad CL_{DD} = 0.564$$

$$CD_{DD} := CD_0 + \frac{CL_{DD}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD_{DD} = 3.265 \times 10^{-2}$$

$$D_{DD} := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot V_{DD}^2 \cdot CD_{DD} \quad D_{DD} = 1.533 \times 10^5 \text{ N}$$

$$D_{DD} = 15634.1 \cdot \text{kgf}$$

$$M := \frac{T_d - D_{DD} + 14 \cdot D_{DD} \cdot M_{DD}}{14 \cdot D_{DD}} \quad M = 0.838 \quad V_{maxDD} := M \cdot a$$

$$V_{maxDD} = 250.991 \frac{m}{s} \quad V_{maxDD} = 903.569 \cdot \frac{km}{hr} \quad V_{maxDD} = 487.888 \cdot \text{knot}$$

### Approccio grafico Velocità massima in quota

$$V_S := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{\max}}} \quad V_S = 154.168 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S = 555.004 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{\text{MAX}} := 1.2 \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_{\text{MAX}} = 354.147 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_{\text{MAX}} := a \quad V_{\text{MAX}} = 299.335 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$ii := 1..100$$

$$V_{v_{ii}} := V_S + (V_{\text{MAX}} - V_S) \cdot \frac{(ii - 1)}{99}$$

$$CL_{ii} := \frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{(V_{v_{ii}})^2} \quad CD_{ii} := CD_0 + \left[ \frac{1}{3.1415 \cdot AR \cdot e} (CL_{ii})^2 \right] \quad Ev_{ii} := \frac{(CL_{ii})}{CD_{ii}}$$

$$Dv_{ii} := \frac{W}{Ev_{ii}}$$

$$Tdv_{ii} := T_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot 0.8$$

$$Tdisp_{ii} := \left[ \left( \frac{1}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \cdot (Tdv_{ii}) \right] \quad Tnec_{ii} := \left[ \left( \frac{1}{9.81 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \cdot (Dv_{ii}) \right]$$

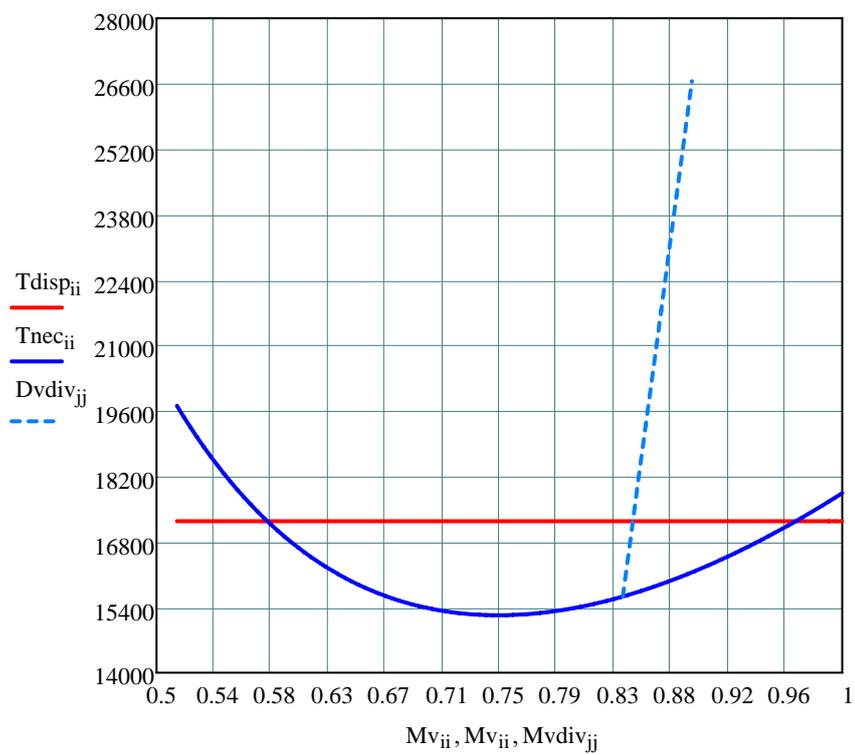
$$Vv\_kmh_{ii} := 3.6 V_{v_{ii}}$$

$$Mv_{ii} := \frac{V_{v_{ii}}}{a}$$

$$jj := 1..10$$

$$Mvdiv_{jj} := M_{DD} + (1.06M_{DD} - M_{DD}) \cdot \frac{(jj - 1)}{9}$$

$$DvdivN_{jj} := D_{DD} + 14 \cdot D_{DD} \cdot (Mvdiv_{jj} - M_{DD}) \quad Dvdiv_{jj} := \left( \frac{1}{9.81 \frac{m}{s^2}} DvdivN_{jj} \right)$$



$$T_{d\_turn} := T_0 \cdot \sigma \quad T_{d\_turn} = 337946 \text{ N}$$

Il massimo fattore di carico ed inclinazione compatibile con l'equilibrio longitudinale è:

$$n_{\max\_amm} := T_{d\_turn} \cdot \frac{E_S}{W} \quad n_{\max\_amm} = 1.748$$

$$\text{Bank\_amm} := \arccos\left(\frac{1}{n_{\max\_amm}}\right) \quad \text{Bank\_amm} = 55.105 \cdot \text{deg}$$

$$V_{\min\_amm} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot n_{\max\_amm}}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\max}}} \quad V_{\min\_amm} = 161.209 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{\min\_amm} = 580.353 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$R_{\min\_amm} := \frac{V_{\min\_amm}^2}{g \cdot \sqrt{n_{\max\_amm}^2 - 1}} \quad R_{\min\_amm} = 1848.4 \text{ m}$$

$$\omega_{\text{amm}} := \frac{\left(g \cdot \sqrt{n_{\max\_amm}^2 - 1}\right)}{V_{\min\_amm}} \quad \omega_{\text{amm}} = 0.087 \frac{1}{\text{s}} \quad \omega_{\text{amm}} = 4.997 \frac{1}{\text{s}} \cdot \text{deg}$$

## f) Distanza di decollo

$$W = 270000 \cdot \text{kgf} \quad CL_{\max TO} = 2.1 \quad S = 360 \text{ m}^2 \quad T_0 = 64000 \cdot \text{kgf}$$

$$K_{ES} := 0.8 \quad \Delta C_{Do} := 0.020 \quad \mu := 0.03 \quad CL_G := 0.7$$

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  $CL_{\max\_to}$ ) nella fase di involo

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

$$V_{STO} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{\max TO}}} \quad V_{STO} = 75.619 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{STO} = 272.227 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{LO} := 1.1 \cdot V_{STO} \quad V_{LO} = 83.18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{LO} = 299.449 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

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

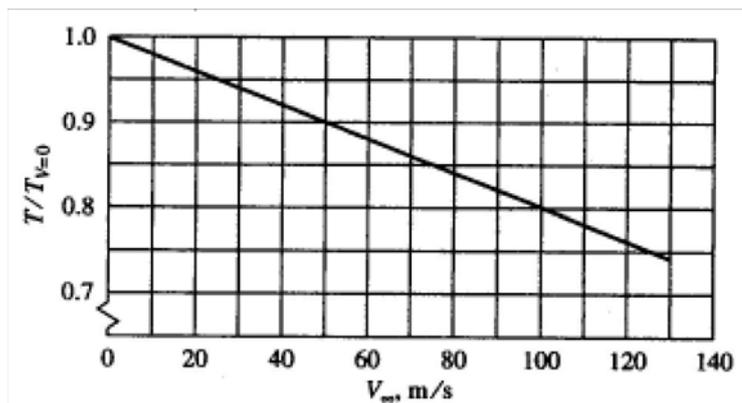
Velocità media (metodo 2) assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di lift-off perchè l'integrale è nella variabile indipendente V<sup>2</sup> e quindi 0.70 è quel numero tale che elevato al quarto fa 0.50, cioè e' :

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

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

$$V_m := 0.7 \cdot V_{LO} \quad V = 58.226 \frac{m}{s} \quad V = 209.615 \frac{km}{hr}$$

### Calcolo spinta media motori:



$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad K_T = 0.884 \quad \text{Fattore di riduzione spinta in decollo motore turbofan}$$

Calcolo spinta media durante la corsa di decollo:

$$T_m := (K_T) \cdot T_0 \quad \frac{T}{T_0} = 0.884 \quad T = 5.545 \times 10^5 N \quad T = 56547 \cdot \text{kgf}$$

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

$$CD_{ind\_TO} := \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES} \quad CD_{ind\_TO} = 0.016$$

$$CD_G := CD_0 + \Delta CD_0 + \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES} \quad CD_G = 0.056$$

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_G \quad D = 41562.3 \text{ N} \quad D = 4238 \cdot \text{kgf}$$

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

$$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_G \quad L = 5.233 \times 10^5 \text{ N} \quad L = 53361 \cdot \text{kgf}$$

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

$$Fa := \mu \cdot (W - L) \quad Fa = 6.374 \times 10^4 \text{ N} \quad Fa = 6499 \cdot \text{kgf} \text{ forza attrito}$$

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=56547 Kgf spinta media

D=4238 Kgf resistenza aerodinamica media

Fa=6499 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= 45810 Kgf forza tot media

### **FORZA TOTALE MEDIA**

$$F_{xtot} := T - D - \mu \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 4.492 \times 10^5 \text{ N} \quad F_{xtot} = 45810 \cdot \text{kgf}$$

calcolo accelerazione media con peso

$$W = 270000 \cdot \text{kgf}$$

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 1.664 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad ac\_g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

accelerazione adimensionale (in g)

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

$$ac\_ad := \frac{ac}{ac\_g} \quad ac\_ad = 0.17 \quad ac\_ad\_approx := \frac{T}{W} \quad ac\_ad\_approx = 0.209$$

Risolviendo l'integrale (metodo 2 appunti):

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

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot a_c} \quad S_G = 2079 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO (metodo 2 appunti)}$$

### 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  $K_{CLair}$  sotto

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

$K_{V2}$  è il rapporto assegnato tra la V2 (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

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

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

$$K_{air} := \frac{(K_{LO} + K_2)}{2} \quad K_{air} = 1.15 \quad \text{Velocità nella fase di involo come media tra la V lift-off e la V di passaggio sull'ostacolo.}$$

Frazione della velocità di stallo in decollo

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \quad V_R = 86.961 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$n = \frac{L}{W} = \frac{\frac{1}{2} \rho \cdot (K_{air} \cdot V_{S\_TO})^2 \cdot S \cdot (K_{CLair} \cdot CL_{MAX\_TO})}{W} \quad \text{Che per la definizione di velocità di stallo diventa:}$$

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

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

$$V_R := 1.15 \cdot V_{STO} \quad V_R = 86.961 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_R = 313.061 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{calcolo vel media durante involo}$$

$$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)} \quad R = 4053 \text{ m} \quad \text{FORMULA raggio traiettoria della richiamata (pull-up man)}$$

$$H := 35 \cdot \text{ft} \quad H = 10.668 \text{ m}$$

$$\theta := \arccos\left(1 - \frac{H}{R}\right) \quad \theta = 0.073 \quad \theta = 4.158 \cdot \text{deg} \quad \text{angolo salita su ostacolo}$$

$$S_A := R \cdot \sin(\theta) \quad S_A = 293.883 \text{ m} \quad \text{calcolo corsa di INVOLO (AIRBORNE distance)}$$

$$S_{TO} := S_G + S_A \quad S_{TO} = 2373 \text{ m} \quad \text{CORSA TOTALE DI DECOLLO}$$