

# Velivolo a getto

$$\begin{aligned}
 \underline{W} &:= 45000 \cdot \text{kgf} & \underline{S} &:= 93 \cdot \text{m}^2 & b &:= 28 \cdot \text{m} & \text{CD}_0 &:= 0.020 & \underline{e} &:= .80 & \text{CL}_{\text{max}} &:= 1.5 \\
 \underline{W}_F &:= 4000 \cdot \text{kgf} & & & \text{be} &:= b \cdot (e)^{0.5} & \text{be} &= 25.044 \text{ m} & & & \text{CL}_{\text{maxTO}} &:= 2.2 \\
 \text{M}_{\text{DD}} &:= .78 & & & \text{fpar} &:= \text{CD}_0 \cdot S & \text{fpar} &= 1.86 \text{ m}^2 & & & & \\
 \underline{T}_0 &:= 2 \cdot 7000 \cdot \text{kgf} & \text{SFCJ} &:= 0.6 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{lbf} \cdot \text{hr}} & \underline{T}_0 &= 14000 \cdot \text{kgf} & & & \frac{\underline{T}_0}{W} &= 0.311 \\
 \underline{z}_{\text{cr}} &:= 10000 \cdot \text{m} & \underline{z}_{\text{cl}} &:= 7000 \cdot \text{m} & & & & & & & \\
 \underline{z}_{\text{cr}} &= 32808 \cdot \text{ft} & \underline{z}_{\text{cl}} &= 22966 \cdot \text{ft} & & & & & & & 
 \end{aligned}$$

## Dati quota crociera

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

## 1) punti caratteristici della polare

$$\begin{aligned}
 \text{AR} &:= \frac{b^2}{S} & \text{AR} &= 8.43 \\
 \text{CL}_E &:= \sqrt{\text{CD}_0 \cdot \pi \cdot \text{AR} \cdot e} & \text{CL}_E &= 0.651 & \text{CD}_E &:= 2 \cdot \text{CD}_0 & \text{CD}_E &= 0.04 & E_E &:= \frac{\text{CL}_E}{\text{CD}_E} & E_E &= 16.274 \\
 \text{CL}_P &:= \sqrt{3} \cdot \text{CL}_E & \text{CL}_P &= 1.127 & \text{CD}_P &:= 4 \cdot \text{CD}_0 & \text{CD}_P &= 0.08 & E_P &:= \frac{\text{CL}_P}{\text{CD}_P} & E_P &= 14.094 \\
 \text{CL}_A &:= \frac{\text{CL}_E}{\sqrt{3}} & \text{CL}_A &= 0.376 & \text{CD}_A &:= \frac{4}{3} \cdot \text{CD}_0 & \text{CD}_A &= 0.027 & E_A &:= \frac{\text{CL}_A}{\text{CD}_A} & E_A &= 14.094 \\
 \text{CL}_S &:= \text{CL}_{\text{max}} & \text{CD}_S &:= \text{CD}_0 + \frac{\text{CL}_S^2}{\pi \cdot \text{AR} \cdot e} & \text{CD}_S &= 0.126 & E_S &:= \frac{\text{CL}_S}{\text{CD}_S} & E_S &= 11.886
 \end{aligned}$$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare a S/L

$$\begin{aligned}
 z &:= 0 & \underline{\sigma} &:= \frac{\rho(z)}{\rho_0} & \underline{\sigma} &= 1 \\
 \underline{T} &:= 288 \cdot \text{K} - 0.0065 \cdot \frac{\text{K}}{\text{m}} \cdot z & \underline{a} &:= \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} & \underline{a} &= 340.174 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\
 \underline{V}_E &:= \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \underline{\sigma}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{\text{CL}_E}} & \underline{V}_E &= 109.093 \frac{\text{m}}{\text{s}} & \underline{V}_E &= 392.734 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} & \text{ME} &:= \frac{\underline{V}_E}{a} & \text{ME} &= 0.321 \\
 \underline{V}_P &:= \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \underline{\sigma}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{\text{CL}_P}} & \underline{V}_P &= 82.893 \frac{\text{m}}{\text{s}} & \underline{V}_P &= 298.414 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} & \text{MP} &:= \frac{\underline{V}_P}{a} & \text{MP} &= 0.244
 \end{aligned}$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 143.574 \frac{m}{s} \quad V_A = 516.867 \cdot \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.422$$

$$V_S := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_{max}}} \quad V_S = 71.866 \frac{m}{s} \quad V_S = 258.719 \cdot \frac{km}{hr} \quad MS := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.211$$

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 27117 \text{ N} \quad D_E = 2765.2 \cdot \text{kgf}$$

$$D_P := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 31312 \text{ N} \quad D_P = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$D_A := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 31312 \text{ N} \quad D_A = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$D_S := \frac{W}{E_S} \quad D_S = 37127 \text{ N} \quad D_S = 3785.9 \cdot \text{kgf}$$

$$IIE := D_E \cdot V_E \quad IIE = 2958.3 \cdot \text{kW} \quad IIE = 3967.1 \cdot \text{hp}$$

$$IIA := D_A \cdot V_A \quad IIA = 4495.6 \cdot \text{kW} \quad IIA = 6028.7 \cdot \text{hp}$$

$$IIP := D_P \cdot V_P \quad IIP = 2595.5 \cdot \text{kW} \quad IIP = 3480.7 \cdot \text{hp}$$

$$IIS := D_S \cdot V_S \quad IIS = 2668.2 \cdot \text{kW} \quad IIS = 3578.1 \cdot \text{hp}$$

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

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

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

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

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

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

questo vale a

PUNTO E

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

$$D_E := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 27117 \text{ N} \quad D_E = 2765.2 \cdot \text{kgf}$$

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 187.974 \frac{m}{s} \quad V_E = 676.706 \cdot \frac{km}{hr} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.628$$

$$IIE := D_E \cdot V_E \quad IIE = 5097.3 \cdot \text{kW} \quad IIE = 6835.6 \cdot \text{hp}$$

PUNTO P

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

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad \text{o anche } DE \cdot (2/\text{rad}^3) \quad D_P = 3.131 \times 10^4 \text{ N} \quad D_P = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D_P} := \frac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}} \quad D_P = 31312 \text{ N} \quad D_P = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V_P} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 142.829 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P = 514.186 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MP} := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.477$$

$$V_{eP}(z) := \frac{V_E}{\sqrt{\sqrt{3}}} \quad V_{eP}(z) = 142.829 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{eP}(z) = 514.186 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\underline{IIP} := D_P \cdot V_P \quad IIP = 4472.3 \cdot \text{kW} \quad IIP = 5997.4 \cdot \text{hp}$$

PUNTO S

$$CL_S = 1.5 \quad CD_S = 0.126 \quad E_S = 11.886$$

$$D_S = 3.713 \times 10^4 \text{ N} \quad D_S = 3785.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V_S} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_S}} \quad V_S = 123.831 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S = 445.79 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MS} := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.414$$

$$\underline{IIS} := D_S \cdot V_S \quad IIS = 4597.4 \cdot \text{kW} \quad IIS = 6165.3 \cdot \text{hp}$$

PUNTO A

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

$$\underline{D_A} := \frac{W}{E_A} \quad \text{o anche } DE \cdot (2/\text{rad}^3) \quad D_A = 3.131 \times 10^4 \text{ N} \quad D_A = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D_A} := \frac{2 \cdot D_E}{\sqrt{3}} \quad D_A = 31312 \text{ N} \quad D_A = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 247.388 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 890.6 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.826$$

$$V_{eA}(z) := V_E \cdot \sqrt{\sqrt{3}} \quad V_{eA}(z) = 247.388 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{eA}(z) = 890.6 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$\underline{IIA} := D_A \cdot V_A \quad IIA = 7746.2 \cdot \text{kW} \quad IIA = 10387.8 \cdot \text{hp}$$

## RIEPILOGO PUNTI CARATT IN QUOTA

$$\underline{V_S} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_S}} \quad V_S = 123.831 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_S = 445.79 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MS} := \frac{V_S}{a} \quad MS = 0.414$$

$$\underline{V_E} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_E}} \quad V_E = 187.974 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 676.706 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{ME} := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.628$$

$$\underline{V_P} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_P}} \quad V_P = 142.829 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_P = 514.186 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MP} := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.477$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot 1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_A}} \quad V_A = 247.388 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 890.595 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.826$$

$$\underline{D_E} := \frac{W}{E_E} \quad D_S = 37127 \text{ N} \quad D_S = 3785.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad D_E = 27117 \text{ N} \quad D_E = 2765.2 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{D_A} := \frac{W}{E_A} \quad D_P = 31312 \text{ N} \quad D_P = 3192.9 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{IIS} := D_S \cdot V_S \quad IIS = 4597.4 \cdot \text{kW} \quad IIS = 6165.3 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{IIE} := D_E \cdot V_E \quad IIE = 5097.3 \cdot \text{kW} \quad IIE = 6835.6 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{IIA} := D_A \cdot V_A \quad IIA = 7746.2 \cdot \text{kW} \quad IIA = 10387.8 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{IIP} := D_P \cdot V_P \quad IIP = 4472.3 \cdot \text{kW} \quad IIP = 5997.4 \cdot \text{hp}$$

## 2.1) MAX Rateo di salita S/L

$$z_{rc} := 0 \cdot m \quad \phi_{rc} := 1$$

$$z_{rc} = 0 \cdot ft$$

$$\sigma_{rc} := \frac{\rho(z_{rc})}{\rho_0} \quad \sigma_{rc} = 1$$

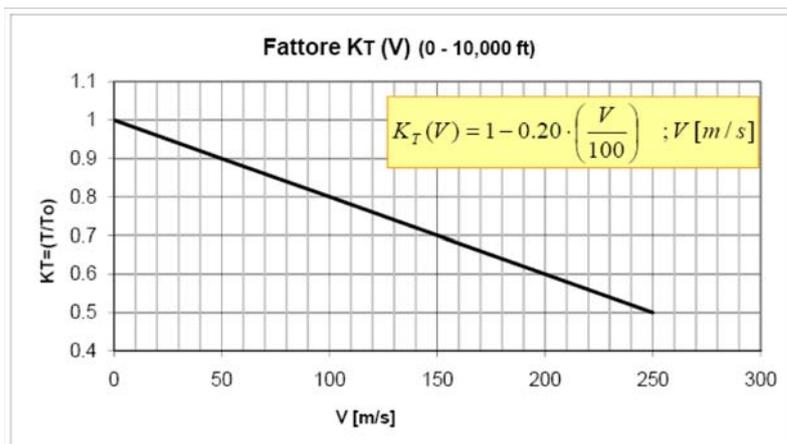
$$T := 288 \cdot K - 0.0065 \cdot \frac{K}{m} \cdot z_{rc} \quad a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 340.174 \frac{m}{s}$$

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.

$$V_{Erc} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{rc}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_{Erc} = 109.093 \frac{m}{s} \quad M_{Erc} := \frac{V_{Erc}}{a} \quad M_{Erc} = 0.321$$



Fattore KT ricavato dal grafico sopra per la salita.

Assumendo un'andamento lineare con V, il grafico per la salita mostra una riduzione data dall'equazione (con V espressa in m/s):

$$KT := 1.00 - 0.20 \cdot \frac{V_{Erc}}{100 \frac{m}{s}} \quad KT = 0.782$$

$$V_{Erc} = 109.093 \frac{m}{s}$$

$$\sigma_{rc} = 1 \quad \text{Quota S/L}$$

Condizione OEI

$$T_d := (0.50 \cdot 0.83 T_0 \cdot \sqrt{\sigma_{rc} \cdot \phi_{rc} \cdot KT}) \quad \phi_{rc} = 1 \quad (\text{Massima Ammissione per max RC})$$

$$T_d = 44545 \text{ N}$$

$$T_d = 4542 \cdot \text{kgf}$$

$$T_{d\_E} := T_d$$

$$\text{rappT} := \frac{T_d}{W} \quad \text{rappT} = 0.101$$

$$\begin{aligned}
RC1 &:= Td \cdot V_{Erc} & RC1 &= 4859.6 \cdot kW & RC1w &:= \frac{(Td \cdot V_{Erc})}{W} & RC1w &= 11.012 \frac{m}{s} \\
RC2 &:= D_E \cdot V_{Erc} & RC2 &= 2958.3 \cdot kW & RC2w &:= \frac{(D_E \cdot V_{Erc})}{W} & RC2w &= 6.704 \frac{m}{s} \\
RCmax &:= \frac{Td \cdot V_{Erc} - D_E \cdot V_{Erc}}{W} & RCmax &= 4.308 \frac{m}{s} & RCmax &= 848.1 \frac{ft}{min} \\
RCmax_E &:= RCmax & RCmax_{SL} &:= RCmax
\end{aligned}$$

Angolo di salita in corrispondenza del max RC

$$\text{angolo salita} \quad D_E = 27117 \text{ N} \quad D_E = 2765.2 \cdot \text{kgf} \quad Td = 4542 \cdot \text{kgf} \quad W = 45000 \cdot \text{kgf}$$

$$\text{teta} := \frac{Td - D_E}{W} \quad \text{teta} = 0.039 \cdot \text{rad} \quad \text{tetag} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 2.263 \text{ deg}$$

o anche

$$\text{teta} := \text{asin} \left( \frac{RCmax}{V_{Erc}} \right) \quad \text{teta} = 0.04$$

$$\text{teta} := \frac{RCmax}{V_{Erc}} \quad \text{teta} = 0.04 \quad \text{tetag} := \text{teta} \cdot 57.3 \quad \text{tetag} = 2.263 \text{ deg}$$

$$CLa := \frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{VaTAS^2} \quad CLa = 1.194$$

o anche , direttamente usando la EAS

$$CLa := \frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{Va^2} \quad CLa = 1.194$$

Calcolo l'efficienza aerodinamica

$$AR = 8.43 \quad e = 0.8$$

$$CDa := CD_0 + \frac{CLa^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CDa = 0.087 \quad Ea := \frac{CLa}{CDa} \quad Ea = 13.68$$

$$Da := \frac{W}{Ea} \quad Da = 3.226 \times 10^4 \text{ N} \quad Da = 3.29 \times 10^3 \text{ kgf} \quad \frac{Da}{W} = 0.073$$

CALCOLO ANGOLO DISCESA

$$Teta\_a := \frac{(Td - Da)}{W} \quad Teta\_a = -0.033 \quad Teta\_a = -1.907 \cdot \text{deg}$$

In caso di volo librato (motori OFF)

$$Teta\_a := \frac{(-Da)}{W} \quad Teta\_a = -0.073 \quad Teta\_a = -4.188 \cdot \text{deg}$$

## f) Distanza di decollo

$$W = 45000 \cdot \text{kgf} \quad CL_{\max TO} = 2.2 \quad S = 93 \text{ m}^2 \quad T_0 = 14000 \cdot \text{kgf} \quad e = 0.8$$

$$K_{ES} := 0.8 \quad \Delta CDo := 0.030 \quad \mu := 0.03 \quad CL_G := 0.7$$

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 CLmax\_to) nella fase di involo

$$K_{VLO} := 1.15 \quad K_{V2} := 1.20 \quad K_{CL_{air}} := 0.90$$

$$V_{STO} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{\max TO}}} \quad V_{STO} = 59.342 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{STO} = 213.63 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{LO} := K_{VLO} \cdot V_{STO} \quad V_{LO} = 68.243 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{LO} = 245.675 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Calcolo della corsa al suolo

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

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

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

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

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

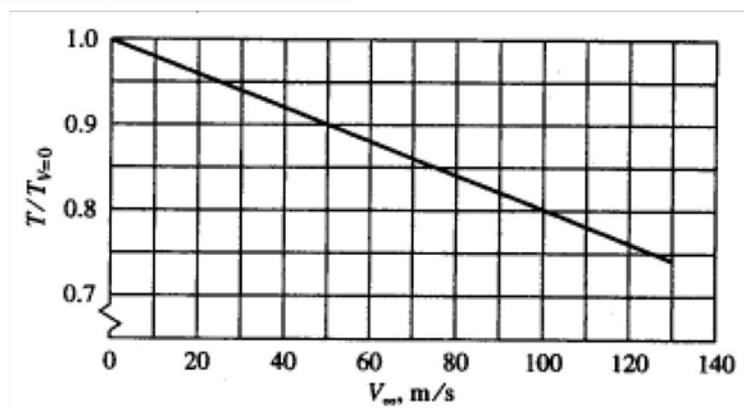
Velocità media (metodo 2) assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di lift-off perchè l'integrale è nella variabile indipendente V<sup>2</sup> e quindi 0.70 è quel numero tale che elevato al quadrato fa 0.50, cioè e' :

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

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

$$\overset{www}{V}_m := 0.7 \cdot V_{LO} \quad V = 47.77 \frac{m}{s} \quad V = 171.973 \frac{km}{hr}$$

### Calcolo spinta media motori:



$$\overset{www}{KT} := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad KT = 0.904 \quad \text{Fattore di riduzione spinta in decollo motore turbofan}$$

Calcolo spinta media durante la corsa di decollo:

$$\overset{www}{T}_m := (KT) \cdot T_0 \quad \frac{T}{T_0} = 0.904 \quad T = 1.242 \times 10^5 \text{ N} \quad T = 12662 \cdot \text{kgf}$$

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

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

$$CD_G := CD_0 + \Delta CD_0 + \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES} \quad CD_G = 0.069$$

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_G \quad D = 8904.4 \text{ N} \quad D = 908 \cdot \text{kgf}$$

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

$$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_G \quad L = 9.099 \times 10^4 \text{ N} \quad L = 9279 \cdot \text{kgf}$$

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

$$Fa := \mu \cdot (W - L) \quad Fa = 1.051 \times 10^4 \text{ N} \quad Fa = 1072 \cdot \text{kgf} \text{ forza attrito}$$

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=3681 Kgf	spinta media	Si vede, come noto, che la spinta è
D=157 Kgf	resistenza aerodinamica media	abastanza maggiore delle altre forze.
Fa=246 Kgf	forza attrito media	Praticamente la forza totale è il 90%
		della spinta.
Fx_tot= 3278 Kgf	forza tot media	

### **FORZA TOTALE MEDIA**

$$F_{xtot} := T - D - \mu \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 1.048 \times 10^5 \text{ N} \quad F_{xtot} = 10683 \cdot \text{kgf}$$

calcolo accelerazione media con peso  $W = 45000 \cdot \text{kgf}$

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 2.328 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad ac\_g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

accelerazione adimensionale (in g)

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

$$ac\_ad := \frac{ac}{ac\_g} \quad ac\_ad = 0.237 \quad ac\_ad\_approx := \frac{T}{W} \quad ac\_ad\_approx = 0.281$$

$$ac\_approx := ac\_ad\_approx \cdot ac\_g \quad ac\_approx = 2.76 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Risolvendo l'integrale (metodo 2 appunti):

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

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot a_c} \quad S_G = 1000 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO (metodo 2 appunti)}$$

$$S_{G\_approx} := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot a_{c\_approx}} \quad S_{G\_approx} = 844 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO approssimata (metodo 3 appunti) (cioè senza altre forze su asse x (cioè senza resistenza aerod e resistenza di attrito))}$$

### CORSA INVOLTO

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

$$K_{VLO} = 1.15 \quad K_{V2} = 1.2 \quad K_{CLair} = 0.9$$

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

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

$$K_{air} := \frac{(K_{VLO} + K_{V2})}{2} \quad K_{air} = 1.175 \quad \text{Velocità nella fase di involo come media tra la } V \text{ lift-off e la } V \text{ di passaggio sull'ostacolo.}$$

Frazione della velocità di stallo in decollo

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \quad V_R = 69.727 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

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

$$n_R := (K_{air})^2 \cdot K_{CLair} \quad n_R = 1.243 \quad \text{calcolo fattore di carico durante involo}$$

$$V_R := K_{air} \cdot V_{STO} \quad V_R = 69.727 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_R = 251.016 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{calcolo vel media durante involo}$$

$$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)} \quad R = 2044 \text{ m} \quad \text{FORMULA raggio traiettoria della richiamata (pull-up man)}$$

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

$$\theta := \arccos\left(1 - \frac{h_o}{R}\right) \quad \theta = 0.102 \quad \theta = 5.857 \cdot \text{deg} \quad \text{angolo salita su ostacolo}$$

$$S_A := R \cdot \sin(\theta) \quad S_A = 208.553 \text{ m} \quad \text{calcolo corsa di INVOLO (AIRBORNE distance)}$$

$$S_{TO} := S_G + S_A \quad S_{TO} = 1209 \text{ m} \quad \text{CORSA TOTALE DI DECOLLO}$$

### g) Distanza di atterraggio (si può considerare un peso minore del decollo)

$$W_L := 40000 \cdot \text{kgf} \quad CD_0 = 0.02 \quad e = 0.8$$

$$W := W_L \quad S = 93 \text{ m}^2 \quad T_0 = 14000 \cdot \text{kgf}$$

$$CL_{\max L} := 2.8$$

$$K_{ES\_a} := 0.8 \quad \text{Effetto suolo approccio}$$

$$\Delta CD_{oL} := 0.050$$

$$K_{ES} := 0.8 \quad \text{Effetto suolo roll}$$

$$eL := 0.70$$

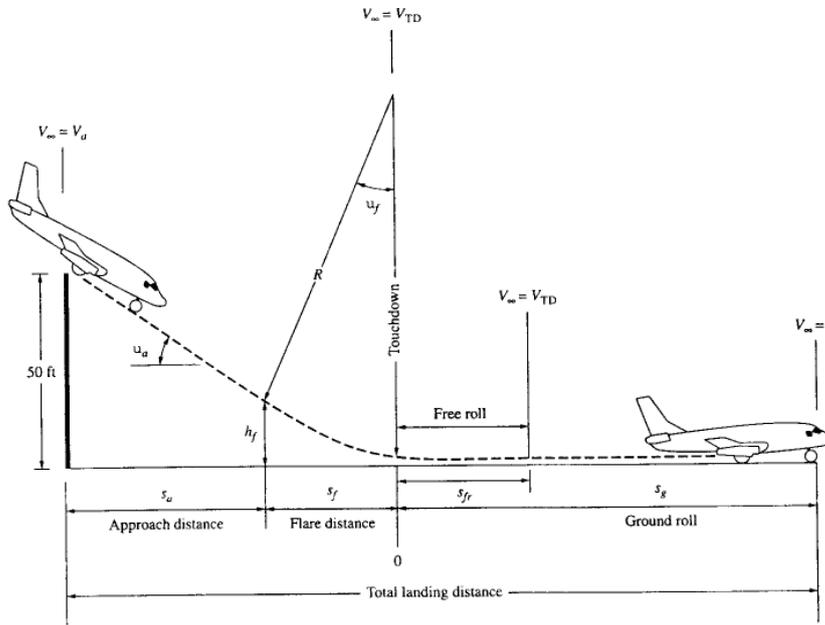
$$CL_{Groll} := 1.20 \quad \text{CL rullaggio (CL ground config atterraggio)}$$

$$\mu_r := 0.30 \quad \text{Coeff attrito "radente"} \\ \text{(con frenatura delle ruote, che però non si bloccano, quindi non è)}$$

effettivamente RADENTE)

$$\phi_a := 0.20 \quad T_a := T_0 \cdot \phi_a \cdot KT$$

In approccio tipicamente usato il 20% della spinta disponibile



$$K_{V_a} := 1.3$$

$$K_{V_{td}} := 1.15$$

$$K_{V_{fl}} := \frac{(K_{V_a} + K_{V_{td}})}{2}$$

$$K_{V_{fl}} = 1.225$$

$$n_{fl} := 1.2$$

$$h_a := 50 \cdot \text{ft}$$

$$h_a = 15.24 \text{ m}$$

$$t_{free} := 2 \cdot \text{s}$$

2 secondi free roll

$$\phi_{rev} := 0.40$$

Percentuale spinta invertita in fase di rullaggio

### Fase Approccio

Calcoliamo prima velocità di stallo in configurazione atterraggio e velocità di approccio

$$V_{SL} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{maxL}}} \quad V_{SL} = 49.593 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{SL} = 178.533 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

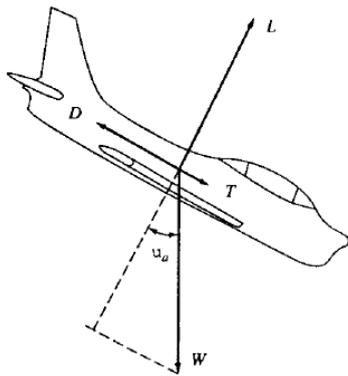
$$V_a := K_{V_a} \cdot V_{SL} \quad K_{V_a} = 1.3 \quad V_a = 64.47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_a = 232.093 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Calcolo CL in approccio

$$CL_a := \frac{CL_{maxL}}{(K_{V_a})^2} \quad CL_a = 1.657$$

Dalla polare in configurazione di atterraggio calcolo CD in approccio ed efficienza aerodin.

$$CD_a := CD_0 + \Delta CD_{oL} + \frac{CL_a^2}{\pi \cdot AR \cdot eL} \cdot K_{ES\_a} \quad CD_a = 0.188 \quad E_a := \frac{CL_a}{CD_a} \quad E_a = 8.792$$



Calcolo angolo di approccio

$$\sin \theta_a = \frac{1}{E_a} - \frac{T_a}{W}$$

Per il calcolo della spinta in approccio siamo quasi vicini al minimo, assumiamo il valore di manetta assegnato (20%) ed usiamo sempre il fattore KT del turbofan  $\phi_a = 0.2$

$$KT := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_a}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad KT = 0.871 \quad \text{Fattore di riduzione spinta motore turbofan}$$

Calcolo spinta fase approccio:  $T_{a_{max}} := (\phi_a) \cdot T_0 \cdot (KT)$

$$T_a = 2.392 \times 10^4 \text{ N} \quad T_a = 2439 \cdot \text{kgf} \quad \frac{T_a}{T_0} = 0.174 \quad \frac{T_a}{W} = 0.061$$

$$\theta_a := \arcsin \left( \frac{1}{E_a} - \frac{T_a}{W} \right) \quad \theta_a = 3.025 \cdot \text{deg}$$

con angolo piccolo si può anche approssimare

$$\theta_a := \left( \frac{1}{E_a} - \frac{T_a}{W} \right) \quad \theta_a = 0.053 \quad \text{in radianti} \quad \theta_a = 3.024 \cdot \text{deg}$$

In condizione di puro volo librato (cioè senza motore al minimo) avrei un angolo pari a:

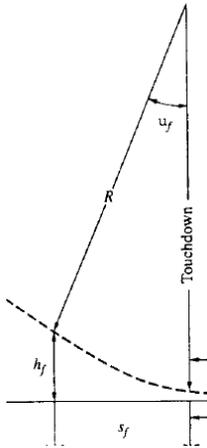
$$\theta_{a\_glide} := \left( \frac{1}{E_a} \right) \quad \theta_{a\_glide} = 0.114 \quad \theta_{a\_glide} = 6.517 \cdot \text{deg}$$

che sarebbe un pò troppo elevato per atterrare in sicurezza

In definitiva calcolato (o eventualmente assegnato, tipicamente fra i 3 ed i 4 gradi) l'angolo di approccio, per calcolare la distanza di approccio va prima calcolata l'altezza da cui parte il flare

$$h_f = R - R \cos \theta_f \quad \theta_f = \theta_a$$

$$h_f = R(1 - \cos \theta_a) \quad R = \frac{V_\infty^2}{g(n-1)} \quad \text{richiamata}$$



Assumendo una  $V$  media per la fase di flare tra la  $V$  di approccio e quella di touch-down ed assumendo un fattore di carico in flare pari ad 1.2 si ha

$$n_{fl} = 1.2$$

$$V_{fl} := K_{Vfl} \cdot V_{SL} \quad V_{fl} = 60.751 \frac{m}{s}$$

$$R_{fl} := \frac{V_{fl}^2}{g \cdot (n_{fl} - 1)} \quad R_{fl} = 1882 \text{ m}$$

$$h_{fl} := R_{fl} \cdot (1 - \cos(\theta_a)) \quad h_{fl} = 2.62 \text{ m}$$

E si può quindi calcolare la distanza di approccio

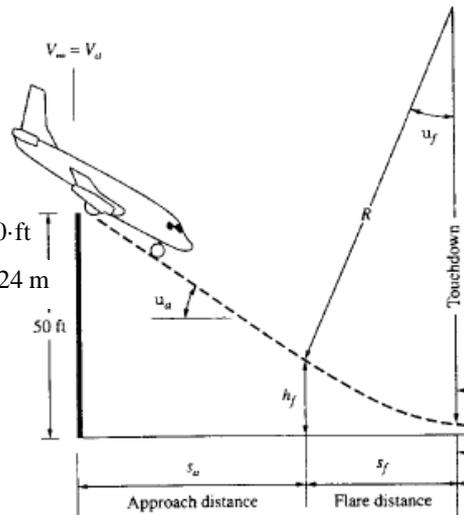
$$s_a = \frac{50 - h_f}{\tan \theta_a} \quad S_a := \frac{h_a - h_{fl}}{\tan(\theta_a)}$$

$$S_a = 238.93 \text{ m}$$

o anche (essendo l'angolo piccolo)

$$S_a := \frac{h_a - h_{fl}}{(\theta_a)}$$

$$S_a = 239.152 \text{ m}$$



### Fase Flare

$$s_f = R \sin \theta_a \quad S_{fl} := R_{fl} \cdot (\sin(\theta_a)) \quad S_{fl} = 99.255 \text{ m}$$

o anche (angolo piccolo)

$$S_{fl} := R_{fl} \cdot (\theta_a) \quad S_{fl} = 99.301 \text{ m}$$

### Free Roll dopo touch down

Il velivolo procede per  $n$  secondi alla velocità di touch down

$$V_{td} := K_{Vtd} \cdot V_{SL} \quad V_{td} = 57.031 \frac{m}{s} \quad V_{td} = 205.313 \cdot \frac{km}{hr}$$

$$S_{free} := t_{free} \cdot V_{td} \quad S_{free} = 114.063 \text{ m}$$

### Corsa di rullaggio in frenata

E' praticamente l'inverso del decollo. Assumeremo sempre un metodo approssimato che risolve l'integrale assumendo tutte le forze calcolate ad una velocità media pari a 0.70 di quella di

touch down.

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

Con decelerazione ( $a < 0$ ) funzione della velocità :

$$S_g = \frac{1}{2} \int_{V_{TD}}^0 \frac{dV^2}{a(V)}$$

Durante il rullaggio le forze agenti sono:

- La spinta invertita (Reverse thrust) se da considerare (generalmente pari a 0.4-0.5 To)
- La portanza aerodinamica con coefficiente CL al suolo in configurazione di atterraggio
- La resistenza aerodinamica corrispondente, sempre con il CLg, config atterraggio e in effetto suolo
- La resistenza di attrito (questa volta non volvente ma corrispondente alla frenata sulle ruote), assumere un valore di  $\mu$  tra 0.20 e 0.30 (10 volte quello volvente).

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

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

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

con

$$\left(\frac{W}{g}\right)a_m = F_{x\_tot\_m} = [T_{rev} + D + \mu_r \cdot (W - L)]_m = [T_{rev} + D + \mu_r \cdot (W - L)]_{V=0.70V_{TD}}$$

Velocità media assunta per il calcolo delle grandezze di forza medie durante la corsa. Si assume 0.70 della V di touch down perchè l'integrale è nella variabile indipendente  $V^2$  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:

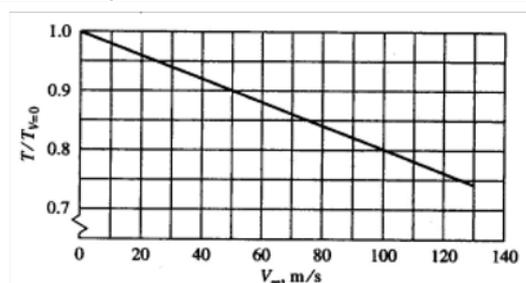
$$V_{td} = 57.031 \frac{m}{s}$$

$$V_m := 0.7 \cdot V_{td}$$

$$V = 39.922 \frac{m}{s}$$

$$V = 143.719 \frac{km}{hr}$$

Calcolo spinta media motori in condizioni reversed:



$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{100 \cdot \frac{m}{s}} \quad K_T = 0.92 \quad \text{Fattore di riduzione spinta basse V motore turbofan}$$

Calcolo spinta media invertita durante la corsa di rullaggio:  $\phi_{rev} = 0.4$

$$T_{rev} := (K_T) \cdot \phi_{rev} \cdot T_0 \quad \frac{T_{rev}}{T_0} = 0.368 \quad T_{rev} = 50532 \text{ N} \quad T_{rev} = 5153 \cdot \text{kgf}$$

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

$$CD_{ind\_roll} := \frac{CL_{Groll}^2}{\pi \cdot AR \cdot eL} \cdot K_{ES} \quad CD_{ind\_roll} = 0.062 \quad CL_{Groll} = 1.2$$

$$CD_{roll} := CD_0 + \Delta CD_{oL} + \frac{CL_{Groll}^2}{\pi \cdot AR \cdot eL} \cdot K_{ES} \quad CD_{roll} = 0.132 \quad CD_0 = 0.02$$

$$\Delta CD_{oL} = 0.05 \quad eL = 0.7 \quad K_{ES} = 0.8$$

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_{roll} \quad D = 11996.3 \text{ N} \quad D = 1223 \cdot \text{kgf}$$

Si noti che la resistenza aerodinamica è piccola

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

$$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_{Groll} \quad L = 1.089 \times 10^5 \text{ N} \quad L = 11109 \cdot \text{kgf}$$

### Calcolo forza attrito media (durante corsa al suolo): $\mu_r = 0.3$

$$F_a := \mu_r \cdot (W - L) \quad F_a = 84997 \text{ N} \quad F_a = 8667 \cdot \text{kgf}$$

forza attrito (maggiore e paragonabile alla spinta invertita)

Qui riassumo le forze medie in gioco:

T=5153 Kgf spinta media invertita

D=1223 Kgf resistenza aerodinamica media

Fa=8667 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= 15044 Kgf forza tot media

### **FORZA TOTALE MEDIA**

$$F_{xtot} := T_{rev} + D + \mu_r \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 147526 \text{ N} \quad F_{xtot} = 15043 \cdot \text{kgf}$$

calcolo decelerazione media con peso  $W = 40000 \cdot \text{kgf}$

$$ac := \frac{T_{rev} + D + \mu_r \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 3.688 \frac{m}{s^2} \quad ac_g := 9.81 \frac{m}{s^2}$$

accelerazione adimensionale (in g)

$$ac_{ad} := \frac{ac}{ac_g} \quad ac_{ad} = 0.376$$

Risolvendo l'integrale (metodo 2 appunti):

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

$$S_g := \frac{V_{td}^2}{2 \cdot ac} \quad S_g = 441 \text{ m} \quad \text{CORSA AL SUOLO rullaggio in frenata}$$

Si può notare che senza applicare l'inversione di spinta ho:

$$ac_{noT} := \frac{D + \mu r \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac_{noT} = 2.425 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

e la corsa risulta invece

$$S_{g\_noT} := \frac{V_{td}^2}{2 \cdot ac_{noT}} \quad S_{g\_noT} = 671 \text{ m}$$

### CORSA TOTALE

$$V_{td} = 57.031 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{td} = 205.313 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$S_{Land} := S_a + S_{fl} + S_{free} + S_g$$

$$S_a = 239.2 \text{ m}$$

$$S_{fl} = 99.3 \text{ m}$$

$$S_{free} = 114.1 \text{ m}$$

$$S_g = 441 \text{ m}$$

$$S_{Land} = 893 \text{ m}$$

