

## **ESEMPIO Esercizi relativi al calcolo delle prestazioni di un velivolo a getto**

Dato un velivolo a getto BIMOTORE da 160 posti caratterizzato dai seguenti dati

$W=70000 \text{ Kg}$      $S=120 \text{ m}^2$      $b=34 \text{ m}$   
 $C_{Do}=0.020$      $e=0.80$      $CL_{MAX}(\text{pulito}) = 1.40$      $CL_{MAX\_TO}=2.0$   
 $W_f(\text{peso combustibile}) = 16000 \text{ Kg}$

$T_o$  = (spinta massima al decollo di ogni motore turbofan)  $11000 \text{ Kg}$   
(assumere quindi  $T_{o\_TOT}= 22000 \text{ kgf}$ ) (cioè 22 tonnellate, quindi circa 1/3 del peso max al decollo)

$SFCJ=0.5 \text{ lb/(lb h)}$                       Mach di Divergenza della resistenza     $M_{DD}=0.82$

fattore di carico limite ( $n_{max} = 2.5$ ) (per la prestazione di virata)

- Valutare tutti i punti caratteristici della polare, sia a quota 0 che alla quota di crociera di 10000 m.
- Calcolare il massimo rateo di salita al livello del mare ed alla quota di 3000 m. Utilizzare, per la valutazione della spinta, anche il diagramma della spinta del turbofan al decollo, assumendo un fattore riduttivo pari a 0.90 (come indicato nel grafico). Si può far vedere, calcolando il rateo sia nel punto E che nel punto P, che il rateo è maggiore in E che in P.
- Valutare la massima autonomia di distanza alla quota di 10000 m. Usare la formula proposta negli appunti (con la radice) ed eventualmente quella con il logaritmo relativa al programma di volo ad assetto e velocità costanti (crociera in salita). Calcolare la velocità corrispondente della crociera ad inizio e fine crociera (cambia il peso) in termini di TAS, EAS e Mach alla quota di 10000 m.
- Valutare la massima autonomia di durata del velivolo, e la corrispondente velocità, alla quota di 10000 m.
- Valutare la velocità massima del velivolo (TAS, EAS e Mach) alla quota di 10000 m, considerando un Mach di divergenza della resistenza pari a 0.82
- Calcolare il raggio di virata minimo del velivolo al livello del mare ed alla quota di 6000 m, assumendo un fattore di carico limite ( $n_{max} = 2.5$ ). Calcolare anche la corrispondente velocità angolare del velivolo.
- Calcolare la corsa di decollo (corsa al suolo + involo) del velivolo considerando la spinta in corrispondenza di  $0.7 V_{LO}$  (con  $V_{LO}=1.1 V_{S\_TO}$ ) dal grafico e considerando tutte le forze agenti mediamente costanti e pari al loro valore in corrispondenza di  $V = 0.70 \cdot V_{LO}$ .

Si assumano i seguenti dati per il decollo :

$\Delta C_{Do}$  (carrelli + flap) = 0.018       $K_{ES}$  (riduzione resistenza indotta per effetto suolo) = 0.90

$\mu$  = coeff attrito volvente = 0.030       $CL_G$  (CL di rullaggio) = 0.70

Assumere, per la corsa di involo, una velocità media pari a  $1.15 V_{S\_TO}$  e un fattore di carico pari a 1.19.

Per la corsa al suolo partire dalla relazione :

$$S_G = \int_0^{V_{LO}} dS = \int_0^{V_{LO}} \frac{V dV}{a} \quad \text{e legare l'accelerazione a tutte le forze agenti}$$

Assumere l'integrando (accelerazione) costante (metodo 2 degli appunti) e pari al valore in corrispondenza di  $V=0.70 V_{LO}$ . Ai fini della stima del valore della spinta dei motori turbo fan alla velocità di riferimento ( $V=0.70 V_{LO}$ ) usare il grafico dato (SPINTA TURBOFAN IN DECOLLO).

## FORMULE E GRAFICI DA CONSULTARE

Tabella Aria tipo

| Alt.         | Temp.     | Temp.<br>Ratio | Press.      | Press.<br>Ratio | Density      | Density<br>Ratio | Coeff. of<br>Viscosity                    | Speed<br>of<br>Sound      |
|--------------|-----------|----------------|-------------|-----------------|--------------|------------------|---|---------------------------|
| h<br>(m)     | T<br>(°K) | θ              | p<br>(N/m²) | δ               | ρ<br>(Kg/m³) | σ                | μ<br>(N - sec/m²)<br>(x10 <sup>-5</sup> ) | V <sub>a</sub><br>(m/sec) |
| Geopotential |           |                |             |                 |              |                  |   |                           |
| 0            | 288.2     | 1.0000         | 101,325     | 1.0000          | 1.2250       | 1.0000           | 1.789                                     | 340.3                     |
| 500          | 284.9     | 0.9888         | 95,460      | 0.9421          | 1.1673       | 0.9529           | 1.774                                     | 338.4                     |
| 1,000        | 281.7     | 0.9775         | 89,874      | 0.8870          | 1.1116       | 0.9075           | 1.758                                     | 336.4                     |
| 1,500        | 278.4     | 0.9662         | 84,555      | 0.8345          | 1.0581       | 0.8637           | 1.742                                     | 334.5                     |
| 2,000        | 275.2     | 0.9549         | 79,495      | 0.7846          | 1.0065       | 0.8216           | 1.726                                     | 332.5                     |
| 2,500        | 271.9     | 0.9436         | 74,682      | 0.7371          | 0.95686      | 0.7811           | 1.710                                     | 330.6                     |
| 3,000        | 268.7     | 0.9324         | 70,108      | 0.6919          | 0.90912      | 0.7421           | 1.694                                     | 328.6                     |
| 3,500        | 265.4     | 0.9211         | 65,764      | 0.6490          | 0.86323      | 0.7047           | 1.678                                     | 326.6                     |
| 4,000        | 262.2     | 0.9098         | 61,640      | 0.6083          | 0.81913      | 0.6687           | 1.661                                     | 324.6                     |
| 4,500        | 258.9     | 0.8985         | 57,728      | 0.5697          | 0.77677      | 0.6341           | 1.645                                     | 322.6                     |
| 5,000        | 255.7     | 0.8872         | 54,019      | 0.5331          | 0.73612      | 0.6009           | 1.628                                     | 320.5                     |
| 5,500        | 252.4     | 0.8760         | 50,506      | 0.4985          | 0.69711      | 0.5691           | 1.612                                     | 318.5                     |
| 6,000        | 249.2     | 0.8647         | 47,181      | 0.4656          | 0.65970      | 0.5385           | 1.595                                     | 316.4                     |
| 6,500        | 245.9     | 0.8534         | 44,034      | 0.4346          | 0.62384      | 0.5093           | 1.578                                     | 314.4                     |
| 7,000        | 242.7     | 0.8421         | 41,060      | 0.4052          | 0.58950      | 0.4812           | 1.561                                     | 312.4                     |
| 7,500        | 239.4     | 0.8309         | 38,251      | 0.3775          | 0.55662      | 0.4544           | 1.544                                     | 310.2                     |
| 8,000        | 236.2     | 0.8196         | 35,599      | 0.3513          | 0.52517      | 0.4287           | 1.527                                     | 308.1                     |
| 8,500        | 232.9     | 0.8083         | 33,099      | 0.3267          | 0.49509      | 0.4042           | 1.510                                     | 305.9                     |
| 9,000        | 229.7     | 0.7970         | 30,742      | 0.3034          | 0.46635      | 0.3807           | 1.492                                     | 303.8                     |
| 9,500        | 226.4     | 0.7857         | 28,523      | 0.2815          | 0.43890      | 0.3583           | 1.475                                     | 301.6                     |
| 10,000       | 223.2     | 0.7745         | 26,436      | 0.2609          | 0.41271      | 0.3369           | 1.457                                     | 299.5                     |
| 10,500       | 219.9     | 0.7632         | 24,474      | 0.2415          | 0.38773      | 0.3165           | 1.439                                     | 297.3                     |
| 11,000       | 216.7     | 0.7519         | 22,632      | 0.2234          | 0.36392      | 0.2971           | 1.422                                     | 295.1                     |
| 11,500       | 216.7     | 0.7519         | 20,916      | 0.2064          | 0.33633      | 0.2746           | 1.422                                     | 295.1                     |
| 12,000       | 216.7     | 0.7519         | 19,330      | 0.1908          | 0.31083      | 0.2537           | 1.422                                     | 295.1                     |

### CONVERSIONE

#### Lunghezze

1 nm = 1852 m = 1.852 Km

1 Km = 0.540 nm

1 inch = 2.54 cm

1 ft = 0.3048 m

1 m = 3.2808 ft

#### Velocita'

1 kts = (nm/hr) = 1.852 Km/hr

1 ft/sec = 1.09728 Km/hr

1 ft/sec = 0.5925 Kts

1 Kts = 1.688 ft/sec

1 ft/min = 0.009875 Kts

#### Pesi o forze

1 Kp = 9.81 N

1 lb = 0.45359 Kp

1 Kp = 2.2046 lbs

#### Pressione

1 psf = (lbs/ft²) = 4.8824 kp/m²

1 kg/m² = 0.20482 psf

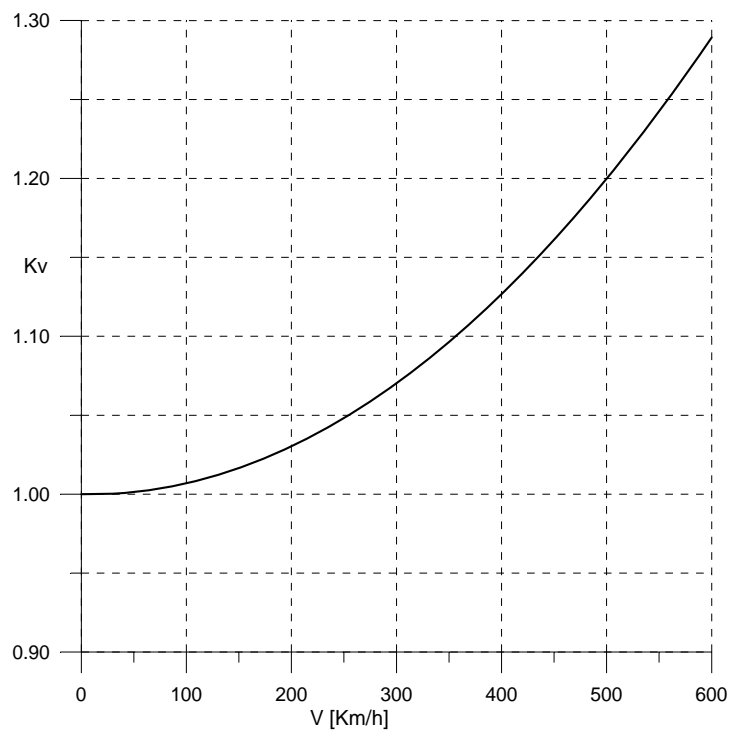
1 psf = 47.88 N/m²

1 Pa = 1 N/m² = 0.02088 psf

#### Potenze

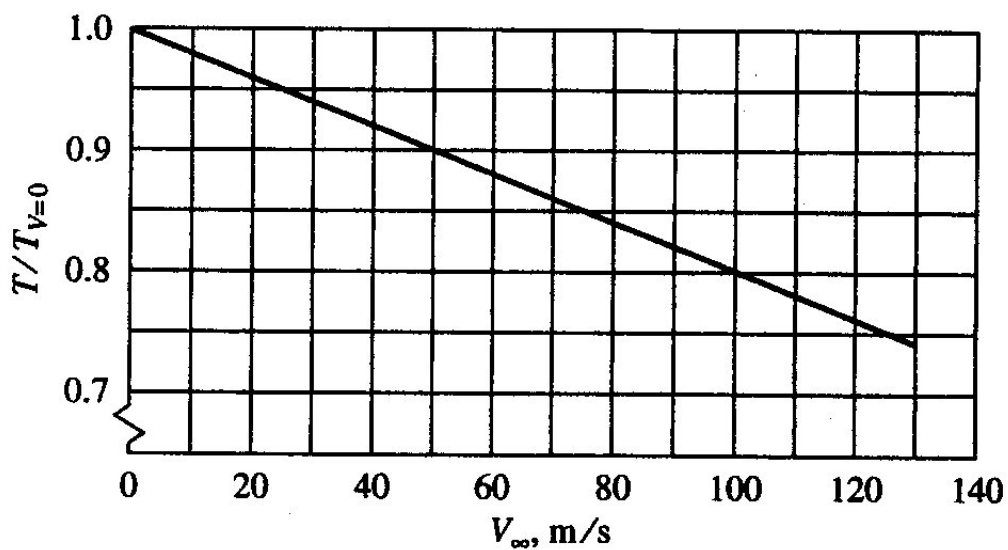
1 Hp = 746 W = 0.746 KW

1 KW = 1.34 Hp



### EFFETTO RAM MOTORE TURBOELICA

Leggere Valore  $K_v$  dal grafico



Fattore riduzione spinta TURBOFAN IN DECOLLO e SALITA (basse quote)  
 (per la salita moltiplicare per un ulteriore fattore riduttivo pari a 0.90)

# Velivolo a getto

$$\begin{aligned} W &:= 70000 \cdot \text{kgf} & S &:= 120 \cdot \text{m}^2 & b &:= 34 \cdot \text{m} & CD_0 &:= 0.020 & e &:= .8 & CL_{\max} &:= 1.4 \\ CL_{\max TO} &:= 2.0 & W_E &:= 16000 \cdot \text{kgf} & T_0 &:= 2 \cdot 11000 \cdot \text{kgf} & SFCJ &:= 0.5 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{lbf} \cdot \text{hr}} \\ M_{DD} &:= .82 & z_{cr} &:= 10000 \cdot \text{m} \end{aligned}$$

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

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

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

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

a) punti caratteristici della polare

$$AR := \frac{b^2}{S} \quad AR = 9.633$$

$$CL_E := \sqrt{CD_0 \cdot \pi \cdot AR \cdot e} \quad CL_E = 0.696 \quad CD_E := 2 \cdot CD_0 \quad CD_E = 0.04 \quad E_E := \frac{CL_E}{CD_E} \quad E_E = 17.397$$

$$CL_P := \sqrt{3} \cdot CL_E \quad CL_P = 1.205 \quad CD_P := 4 \cdot CD_0 \quad CD_P = 0.08 \quad E_P := \frac{CL_P}{CD_P} \quad E_P = 15.066$$

$$CL_A := \frac{CL_E}{\sqrt{3}} \quad CL_A = 0.402 \quad CD_A := \frac{4}{3} \cdot CD_0 \quad CD_A = 0.027 \quad E_A := \frac{CL_A}{CD_A} \quad E_A = 15.066$$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare a S/L

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

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

$$V_E := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 115.852 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 417.068 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad ME := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.341$$

$$\underline{V_P} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 88.029 \frac{m}{s} \quad V_P = 316.903 \cdot \frac{km}{hr} \quad MP := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.259$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 152.47 \frac{m}{s} \quad V_A = 548.892 \cdot \frac{km}{hr} \quad MA := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.448$$

$$\underline{D_E} := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 3.946 \times 10^4 N \quad D_E = 4.024 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 4.556 \times 10^4 N \quad D_P = 4.646 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_A} := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 4.556 \times 10^4 N \quad D_A = 4.646 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$\Pi_E := D_E \cdot V_E \quad \Pi_E = 4.572 \times 10^6 W \quad \Pi_E = 6.13 \times 10^3 \cdot hp$$

$$\Pi_A := D_A \cdot V_A \quad \Pi_A = 6.947 \times 10^6 W \quad \Pi_A = 9.316 \times 10^3 \cdot hp$$

$$\Pi_P := D_P \cdot V_P \quad \Pi_P = 4.011 \times 10^6 W \quad \Pi_P = 5.379 \times 10^3 \cdot hp$$

Risultati calcoli punti caratteristici della polare in quota

$$z_{cr} = 10000 m$$

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

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

$$\underline{V_E} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 199.621 \frac{m}{s} \quad V_E = 718.634 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{ME} := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.667$$

$$\underline{V_P} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_P = 151.679 \frac{m}{s} \quad V_P = 546.044 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{MP} := \frac{V_P}{a} \quad MP = 0.507$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 262.716 \frac{m}{s} \quad V_A = 945.776 \cdot \frac{km}{hr} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.878$$

$$\underline{D_E} := \frac{W}{E_E} \quad D_E = 3.946 \times 10^4 N \quad D_E = 4.024 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_P} := \frac{W}{E_P} \quad D_P = 4.556 \times 10^4 N \quad D_P = 4.646 \times 10^3 \cdot kgf$$

$$\underline{D_A} := \frac{W}{E_A} \quad D_A = 4.556 \times 10^4 \text{ N} \quad D_A = 4.646 \times 10^3 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{IIE} := D_E \cdot V_E \quad IIE = 7.877 \times 10^6 \text{ W} \quad IIE = 1.056 \times 10^4 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{IIA} := D_A \cdot V_A \quad IIA = 1.197 \times 10^7 \text{ W} \quad IIA = 1.605 \times 10^4 \cdot \text{hp}$$

$$\underline{IIP} := D_P \cdot V_P \quad IIP = 6.911 \times 10^6 \text{ W} \quad IIP = 9.268 \times 10^3 \cdot \text{hp}$$

#### Rateo di salita S/L

$$V_{\text{ref}} := 100 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

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

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

$$V_{\text{Erc}} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{rc}}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_E}}} \quad V_{\text{Erc}} = 115.852 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_{\text{Erc}}}{V_{\text{ref}}} \quad K_T = 0.768$$

$$T_d := T_0 \cdot \sigma_{\text{rc}} \cdot \phi_{\text{rc}} \cdot K_T \cdot 9 \quad T_d = 1.492 \times 10^5 \text{ N} \quad T_d = 1.521 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$RC1 := T_d \cdot V_{\text{Erc}} \quad RC1 = 1.728 \times 10^7 \text{ W} \quad RC1_w := \frac{(T_d \cdot V_{\text{Erc}})}{W} \quad RC1_w = 25.177 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RC2 := D_E \cdot V_{\text{Erc}} \quad RC2 = 4.572 \times 10^6 \text{ W} \quad RC2_w := \frac{(D_E \cdot V_{\text{Erc}})}{W} \quad RC2_w = 6.659 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$RC_{\text{max}} := \frac{T_d \cdot V_{\text{Erc}} - D_E \cdot V_{\text{Erc}}}{W} \quad RC_{\text{max}} = 18.517 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RC_{\text{max}} = 3645.1 \cdot \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Rateo di salita S/L - punto P - si può vedere che il rateo massimo è inferiore a quello valutato nel punto E

$$V_{\text{Prc}} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{rc}}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{C_{L_P}}} \quad V_{\text{Prc}} = 88.029 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{K_T} := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_{\text{Prc}}}{V_{\text{ref}}} \quad K_T = 0.824$$

$$\underline{Td} := T_0 \cdot \sigma_{rc} \cdot \phi_{rc} \cdot KT \cdot 9$$

$$Td = 1.6 \times 10^5 \text{ N} \quad Td = 1.631 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{RC1} := Td \cdot V_{Prc} \quad RC1 = 1.408 \times 10^7 \text{ W} \quad \underline{RC1w} := \frac{(Td \cdot V_{Prc})}{W} \quad RC1w = 20.516 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{RC2} := D_P \cdot V_{Prc} \quad RC2 = 4.011 \times 10^6 \text{ W} \quad \underline{RC2w} := \frac{(D_P \cdot V_{Prc})}{W} \quad RC2w = 5.843 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{RCmax} := \frac{Td \cdot V_{Prc} - D_P \cdot V_{Prc}}{W} \quad RCmax = 14.673 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RCmax = 2888.4 \cdot \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

**Rateo di salita quota**

$$\underline{V_{ref}} := 100 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{z_{rc}} := 3000 \cdot \text{m} \quad \underline{\phi_{rc}} := 1$$

$$\underline{\sigma_{rc}} := \frac{\rho(z_{rc})}{\rho_0} \quad \sigma_{rc} = 0.742$$

Rateo di salita in quota- punto E

$$\underline{V_{Erc}} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{rc}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_{Erc} = 134.486 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{KT} := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_{Erc}}{V_{ref}} \quad KT = 0.731$$

$$\underline{Td} := T_0 \cdot \sigma_{rc} \cdot \phi_{rc} \cdot KT \cdot 9$$

$$Td = 1.053 \times 10^5 \text{ N} \quad Td = 1.074 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{RC1} := Td \cdot V_{Erc} \quad RC1 = 1.417 \times 10^7 \text{ W} \quad \underline{RC1w} := \frac{(Td \cdot V_{Erc})}{W} \quad RC1w = 20.636 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{RC2} := D_E \cdot V_{Erc} \quad RC2 = 5.307 \times 10^6 \text{ W} \quad \underline{RC2w} := \frac{(D_E \cdot V_{Erc})}{W} \quad RC2w = 7.731 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\underline{RCmax} := \frac{Td \cdot V_{Erc} - D_E \cdot V_{Erc}}{W} \quad RCmax = 12.906 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad RCmax = 2540.5 \cdot \frac{\text{ft}}{\text{min}}$$

Rateo di salita in quota - punto P

$$V_{Pr} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0} \cdot \frac{W}{\sigma_{rc}} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{CL_P}} \quad V_{Pr} = 102.187 \frac{m}{s}$$

$$KT := 1 - 0.20 \cdot \frac{V_{Pr}}{V_{ref}} \quad KT = 0.796$$

$$T_d := T_0 \cdot \sigma_{rc} \cdot \phi_{rc} \cdot KT \cdot 9$$

$$T_d = 1.146 \times 10^5 N \quad T_d = 1.169 \times 10^4 \cdot kgf$$

$$RC1 := T_d \cdot V_{Pr} \quad RC1 = 1.172 \times 10^7 W \quad RC1_w := \frac{(T_d \cdot V_{Pr})}{W} \quad RC1_w = 17.066 \frac{m}{s}$$

$$RC2 := D_P \cdot V_{Pr} \quad RC2 = 4.656 \times 10^6 W \quad RC2_w := \frac{(D_P \cdot V_{Pr})}{W} \quad RC2_w = 6.783 \frac{m}{s}$$

$$RC_{max} := \frac{T_d \cdot V_{Pr} - D_P \cdot V_{Pr}}{W} \quad RC_{max} = 10.283 \frac{m}{s} \quad RC_{max} = 2024.2 \cdot \frac{ft}{min}$$

#### Massima autonomia di distanza

$$z\_range := 10000 \cdot m$$

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

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

$$R_{max} := \frac{2}{SFCJ} \cdot \frac{CL_A}{CD_A} \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S}} \cdot (\sqrt{W} - \sqrt{W - W_F}) \quad R_{max} = 6936 \cdot km$$

$$V_A := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma\_range} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}}$$

$$R_{max\_Breguet} := \frac{V_A}{SFCJ} \cdot E_A \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \quad R_{max\_Breguet} = 7396 \cdot km$$

#### Velocità crociera RANGE

$$W_{cr} := W \quad W_{cr} = 7 \times 10^4 \cdot kgf$$



$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{range}}} \cdot \frac{W_{\text{cr}}}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 262.716 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 945.776 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.878$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot 1} \cdot \frac{W_{\text{cr}}}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 152.47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 548.892 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \text{CAS}$$

#### Velocità inizio crociera RANGE

$$\underline{W_{\text{cr}}} := W \quad W_{\text{cr}} = 7 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{range}}} \cdot \frac{W_{\text{cr}}}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 262.716 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 945.776 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.878$$

#### Velocità fine crociera RANGE

$$\underline{W_{\text{cr}}} := W - W_F \quad W_{\text{cr}} = 5.4 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$\underline{V_A} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{range}}} \cdot \frac{W_{\text{cr}}}{S} \cdot \frac{1}{CL_A}} \quad V_A = 230.746 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_A = 830.684 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{MA} := \frac{V_A}{a} \quad MA = 0.771$$

#### Massima autonomia di durata

$$E_{\text{max}} := \frac{1}{\text{SFCJ}} \cdot \frac{CL_E}{CD_E} \cdot \ln\left(\frac{W}{W - W_F}\right) \quad E_{\text{max}} = 9.029 \cdot \text{hr}$$

$$\underline{V_E} := \sqrt{\frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma_{\text{range}}} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{CL_E}} \quad V_E = 199.621 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_E = 718.634 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}} \quad \underline{ME} := \frac{V_E}{a} \quad ME = 0.667$$

#### Velocità massima

$$\underline{z} := 10000 \cdot \text{m}$$

$$\underline{\phi} := 1$$

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

$$\underline{T_d} := T_0 \cdot \sigma \cdot \phi \cdot 0.8 \quad T_d = 5.813 \times 10^4 \text{ N} \quad T_d = 5.928 \times 10^3 \cdot \text{kgf}$$

$$\frac{T_d}{W} = 0.085$$

$$\frac{W}{S} = 5.721 \times 10^3 \text{ Pa} \quad \frac{W}{S} = 583.333 \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$V_{\max} := \sqrt{\frac{T_d \cdot W}{W} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{1}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot CD_0} \cdot \left[ 1 + \sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{T_d}{W}\right)^2 \cdot E_E^2}} \right]} \quad V_{\max} = 319.088 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_{\max} = 1.149 \times 10^3 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

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

$$a := \sqrt{1.4 \cdot R \cdot T} \quad a = 299.335 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad M := \frac{V_{\max}}{a} \quad M = 1.066$$

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.

$$M_{DD} = 0.82$$

$$V_{DD} := M_{DD} \cdot a \quad V_{DD} = 245.455 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$CL_{DD} := \frac{2}{\rho_0 \cdot \sigma} \cdot \frac{W}{S} \cdot \frac{1}{V_{DD}^2} \quad CL_{DD} = 0.46$$

$$CD_{DD} := CD_0 + \frac{CL_{DD}^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \quad CD_{DD} = 2.875 \times 10^{-2}$$

$$D_{DD} := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot V_{DD}^2 \cdot CD_{DD} \quad D_{DD} = 4.288 \times 10^4 \text{ N}$$

$$D_{DD} = 4.373 \times 10^3 \cdot \text{kgf}$$

$$M := \frac{T_d - D_{DD} + 14 \cdot D_{DD} \cdot M_{DD}}{14 \cdot D_{DD}} \quad M = 0.845$$

### Raggio di virata minimo

$$n_{\max} := 2.5 \quad S = 120 \text{ m}^2 \quad W = 6.865 \times 10^5 \text{ N} \quad CL_{\max} = 1.4$$

$$V_{\min} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot n_{\max}}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{\max}}} \quad V_{\min} = 129.143 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_{\min} = 464.916 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$R_{\min} := \frac{V_{\min}^2}{g \cdot \sqrt{n_{\max}^2 - 1}} \quad R_{\min} = 742.2 \text{ m}$$

$$\omega := \frac{\left(g \cdot \sqrt{n_{\max}^2 - 1}\right)}{V_{\min}}$$

$$\omega = 0.174 \frac{1}{s}$$

$$\omega = 9.969 \frac{1}{s} \cdot \text{deg}$$

in quota

$$z := 6000 \cdot \text{m}$$

$$\sigma := \frac{\rho(z)}{\rho_0} \quad \sigma = 0.538$$

$$V_{\min} := \sqrt{\frac{2 \cdot W \cdot n_{\max}}{\rho_0 \cdot \sigma \cdot S \cdot CL_{\max}}}$$

$$V_{\min} = 175.994 \frac{\text{m}}{s}$$

$$V_{\min} = 633.579 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

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

$$R_{\min} = 1378.5 \text{ m}$$

$$\omega := \frac{\left(g \cdot \sqrt{n_{\max}^2 - 1}\right)}{V_{\min}}$$

$$\omega = 0.128 \frac{1}{s}$$

$$\omega = 7.315 \frac{1}{s} \cdot \text{deg}$$

### Distanza di decollo

$$W = 70000 \cdot \text{kgf} \quad CL_{\max TO} = 2 \quad S = 120 \text{ m}^2 \quad T_0 = 22000 \text{ kgf}$$

$$K_{ES} := 0.9 \quad \Delta C_{Do} := 0.018 \quad \mu := 0.03 \quad CL_G := 0.7 \quad n_R := 1.19$$

$$V_{STO} := \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho_0 \cdot S \cdot CL_{\max TO}}} \quad V_{STO} = 68.336 \frac{\text{m}}{s} \quad V_{STO} = 246.01 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{LO} := 1.1 \cdot V_{STO} \quad V_{LO} = 75.17 \frac{\text{m}}{s} \quad V_{LO} = 270.611 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V := 0.7 \cdot V_{LO} \quad V = 52.619 \frac{\text{m}}{s} \quad V = 189.428 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$V_{\text{ref}} = 100 \frac{\text{m}}{s}$$

$$K_T := 1 - 0.20 \cdot \frac{V}{V_{\text{ref}}} \quad K_T = 0.895$$

$$T := (K_T) \cdot T_0$$

$$\frac{T}{T_0} = 0.895$$

$$T = 1.93 \times 10^5 \text{ N}$$

$$T = 1.968 \times 10^4 \cdot \text{kgf}$$

$$CD_{ind\_TO} := \frac{CL_G^2}{\pi \cdot AR \cdot e} \cdot K_{ES} \quad CD_{ind\_TO} = 0.018$$

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

$$D := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CD_G \quad D = 11439.8 \text{ N} \quad D = 1167 \cdot \text{kgf}$$

$$L := \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot S \cdot V^2 \cdot CL_G \quad L = 1.425 \times 10^5 \text{ N} \quad L = 14526 \cdot \text{kgf}$$

$$F_{xtot} := T - D - \mu \cdot (W - L) \quad F_{xtot} = 1.653 \times 10^5 \text{ N} \quad F_{xtot} = 16854 \text{ kgf}$$

calcolo accelerazione

$$ac := \frac{T - D - \mu \cdot (W - L)}{\frac{W}{g}} \quad ac = 2.361 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad ac_g := 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$ac_{ad} := \frac{ac}{ac_g} \quad ac_{ad} = 0.241$$

$$S_G := \frac{V_{LO}^2}{2 \cdot ac} \quad S_G = 1197 \text{ m}$$

$$V_R := 1.15 \cdot V_{STO} \quad V_R = 78.587 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad V_R = 282.912 \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

$$R := \frac{V_R^2}{g \cdot (n_R - 1)} \quad R = 3315 \text{ m}$$

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

$$\theta := \arccos\left(1 - \frac{h_o}{R}\right) \quad \theta = 0.095 \quad \theta = 5.453 \cdot \text{deg}$$

$$S_R := R \cdot \sin(\theta) \quad S_R = 314.978 \text{ m}$$

$$S_L := S_R + S_G \quad S_L = 1512 \text{ m}$$