

8 MOTORE

Dalla determinazione del punto di progetto avevamo ricavato una $P_{TO} = 161.1hp = 120kW$. Supponendo di adottare un motore con funzionamento a 5000 rpm(giri su min) e con un Rapporto di Riduzione $R=1/2$, avremo all'elica o equivalentemente all'albero, un numero di giri $n = n_m \cdot R = 2500rpm$.

8.1 DETERMINAZIONE DEL DIAMETRO DELL'ELICA

Il primo passo per la definizione dell'impianto propulsivo è la determinazione del diametro dell'elica e ciò viene fatto in relazione alla condizione di funzionamento di progetto ovvero imponendo che ,in tale condizione(solitamente la crociera), l'elica funzioni in modo ottimale.

Scegliamo come elica una CLARK-Y tripala 5868-9.

In condizioni di crociera la potenza all'albero è data da:

$$P^* = P_{TO} \cdot K_z \cdot P = 86.62hp = 64.59KW$$

$$rpm = \frac{60rad}{s}$$

$$z_{cr} = 9000ft = 2743m \quad \rho_{cr} = 0.9335 \frac{kg}{m^3}$$

Per quanto concerne la velocità, essa non va fissata ma discende dall'equilibrio tra spinta disponibile e necessaria ovvero la resistenza aerodinamica.

E' evidente che il processo sarà iterativo e come valore di inizio ciclo scegliamo la velocità di crociera:

$$V = 64.8 \frac{m}{s} = 233.28km/h$$

Si utilizza un coefficiente di scelta C_s in cui non compare il diametro D:

$$C_s = \sqrt[5]{\frac{\rho \cdot V^5}{P \cdot n^2}} \quad C_s = 1.57$$

Con questo valore entrando nel diagramma $C_s - \eta - \gamma$, del report Naca 640 relativo all'elica scelta in corrispondenza della curva di massimo rendimento ricaviamo il valore di γ e di β e il rendimento propulsivo η :

$$\gamma = 0.9 \quad \beta = 22.5^\circ \quad \eta = 0.84$$

otteniamo quindi una stima del diametro D: $D = \frac{V}{n \cdot \gamma} = 1.728m$

Dalle curve di funzionamento dell'elica otteniamo anche C_T : $C_T = 0.055$

A questo punto bisogna verificare se la velocità scelta è compatibile con l'equilibrio sopra descritto. Conoscendo V e ρ , si determina C_L e dalla polare in configurazione di crociera si determina il C_D .

$$C_L = \frac{2 \cdot W}{\rho \cdot V^2 \cdot S} \quad W = 963.1kgf \Rightarrow \begin{cases} C_L = 0.378 \\ C_D = 0.0269 \end{cases}$$

Imponendo che la spinta eguagli la resistenza (T=D) :

$$C_{Te}^* = \frac{T}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} = \frac{Drag}{\rho \cdot n^2 \cdot D^4} = C_D \frac{S \gamma^2}{2D^2}$$

$$C_{Te}^* = 0.06$$

Siccome C_{Te} è diverso da C_T è necessaria un'iterazione. Infatti lo scarto percentuale è:

$$\frac{\Delta C_T}{C_T} = \frac{8.5 \cdot 10^{-3}}{0.055} = 15.5\%$$

Dalla relazione di equilibrio si ottiene un nuovo valore di γ e della velocità:

$$\lambda' = \sqrt{\frac{2C_T D^2}{C_D S}} \quad \gamma = 0.979$$

$$V' = \gamma' n D = 70.506m/s = 253.82Km/h$$

Questi valori così ottenuti saranno da ingresso per la seconda iterazione:

$$V = 70.506 \frac{m}{s} \Rightarrow C_s = 1.707 \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \gamma = 1 \\ \beta = 25^\circ \end{array} \Rightarrow C_T = 0.06 \right.$$

$$D = 1.692m$$

$$C_L = 0.32$$

$$C_D = 0.0247 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_T^* = 0.055 \\ \gamma^* = 1.045 \\ V^* = 73.695m/s \end{array} \right.$$

$$\frac{\Delta C_T}{C_T} = 8.5\%$$

Anche se lo scarto di C_T rispetto al ciclo precedente si è ridotto di molto è necessaria un'altra iterazione.

Infine l'ultimo ciclo ci dà:

$$V = 74.394 \frac{m}{s} \Rightarrow C_s = 1.801 \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \gamma = 1.06 \\ \beta = 26^\circ \end{array} \Rightarrow C_T = 0.06 \right.$$

$$D = 1.684m$$

$$C_L = 0.287$$

$$C_D = 0.0237 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} C_T^* = 0.06 \\ \gamma^* = 1.062 \\ V^* = 74.546m/s \end{array} \right.$$

$$\frac{\Delta C_T}{C_T} = 0.4\%$$

8.2 POTENZA NECESSARIA E DISPONIBILE AL VARIARE DI V

Avendo scelto un'elica a passo variabile, ovvero un motore funzionante a giri costanti, per ottenere il diagramma della potenza disponibile ad ogni quota fissata, al variare della velocità è nota la potenza all'albero P e quindi anche il coefficiente di potenza

$$C_P = \frac{P}{\rho n^3 D^5}, \text{ oltre che il rapporto di funzionamento } \gamma = \frac{V}{nD}.$$

Entrando nel diagramma dell'elica con la coppia ($C_p - \gamma$) ricaviamo C_T e β da cui è possibile ricavare: $C_p = \frac{P}{\rho n^3 D^5}$

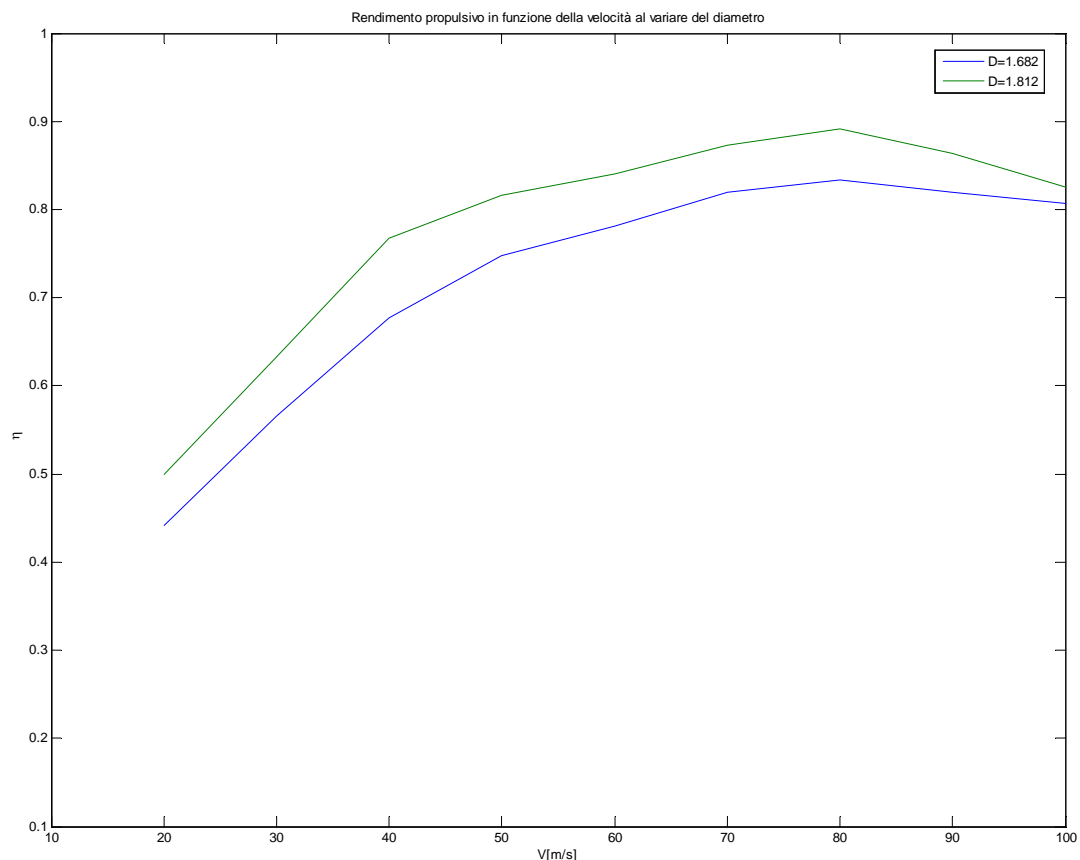
$$T = C_T \rho n^2 D^4$$

$$P_d = T \cdot V = \eta \cdot P$$

Ricavata la curva $P(V)$, la si analizza e notando che le potenze disponibili a basse velocità sono troppo basse si potrebbe pensare di aumentare il diametro, lasciando inalterata la quota, per migliorare tali prestazioni a patto di non aggravare il peso e le prestazioni veloci.

Come si evidenzia dai grafici nel nostro caso questa maggiorazione del diametro non risulta conveniente.

Rimane quindi come scelta $D = 1.682m$.



| z=0 | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
|-----|-------|--------|---------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|---------|---------|--------|
| | 1,682 | 41,667 | 20 | 72 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,285 | 0,164 | 22,5 | 0,463 | 74,557 | 55,607 | 2780,3 |
| | 1,682 | 41,667 | 30 | 108 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,428 | 0,14 | 23 | 0,593 | 95,470 | 71,204 | 2373,5 |
| | 1,682 | 41,667 | 40 | 144 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,571 | 0,13 | 24 | 0,735 | 118,201 | 88,157 | 2203,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 50 | 180 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,713 | 0,11 | 25 | 0,777 | 125,020 | 93,243 | 1864,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 60 | 216 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,856 | 0,095 | 26 | 0,805 | 129,566 | 96,633 | 1610,6 |
| | 1,682 | 41,667 | 70 | 252 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,999 | 0,085 | 27,5 | 0,841 | 135,249 | 100,872 | 1441,0 |
| | 1,682 | 41,667 | 80 | 288 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,141 | 0,075 | 30 | 0,848 | 136,385 | 101,719 | 1271,5 |
| | 1,682 | 41,667 | 90 | 324 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,284 | 0,066 | 32 | 0,839 | 135,021 | 100,702 | 1118,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 100 | 360 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,427 | 0,059 | 34 | 0,834 | 134,11 | 100,024 | 1000,2 |

| z=0 | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
|-----|-------|--------|---------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|------|-------|---------|---------|--------|
| | 1,850 | 41,667 | 20 | 72 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,259 | 0,137 | 13,0 | 0,573 | 92,247 | 68,800 | 3440,0 |
| | 1,850 | 41,667 | 30 | 108 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,389 | 0,100 | 14,0 | 0,628 | 101,000 | 75,328 | 2510,9 |
| | 1,850 | 41,667 | 40 | 144 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,519 | 0,085 | 16,0 | 0,711 | 114,467 | 85,372 | 2134,3 |
| | 1,850 | 41,667 | 50 | 180 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,649 | 0,070 | 18,0 | 0,732 | 117,833 | 87,883 | 1757,7 |
| | 1,850 | 41,667 | 60 | 216 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,778 | 0,061 | 19,0 | 0,766 | 123,220 | 91,900 | 1531,7 |
| | 1,850 | 41,667 | 70 | 252 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 0,908 | 0,055 | 21,0 | 0,806 | 129,617 | 96,671 | 1381,0 |
| | 1,850 | 41,667 | 80 | 288 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 1,038 | 0,048 | 24,0 | 0,803 | 129,280 | 96,420 | 1205,3 |
| | 1,850 | 41,667 | 90 | 324 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 1,168 | 0,041 | 26,0 | 0,772 | 124,230 | 92,654 | 1029,5 |
| | 1,850 | 41,667 | 100 | 360 | 160,9 | 120,0 | 0,062 | 1,297 | 0,036 | 28,0 | 0,753 | 121,200 | 90,394 | 903,9 |

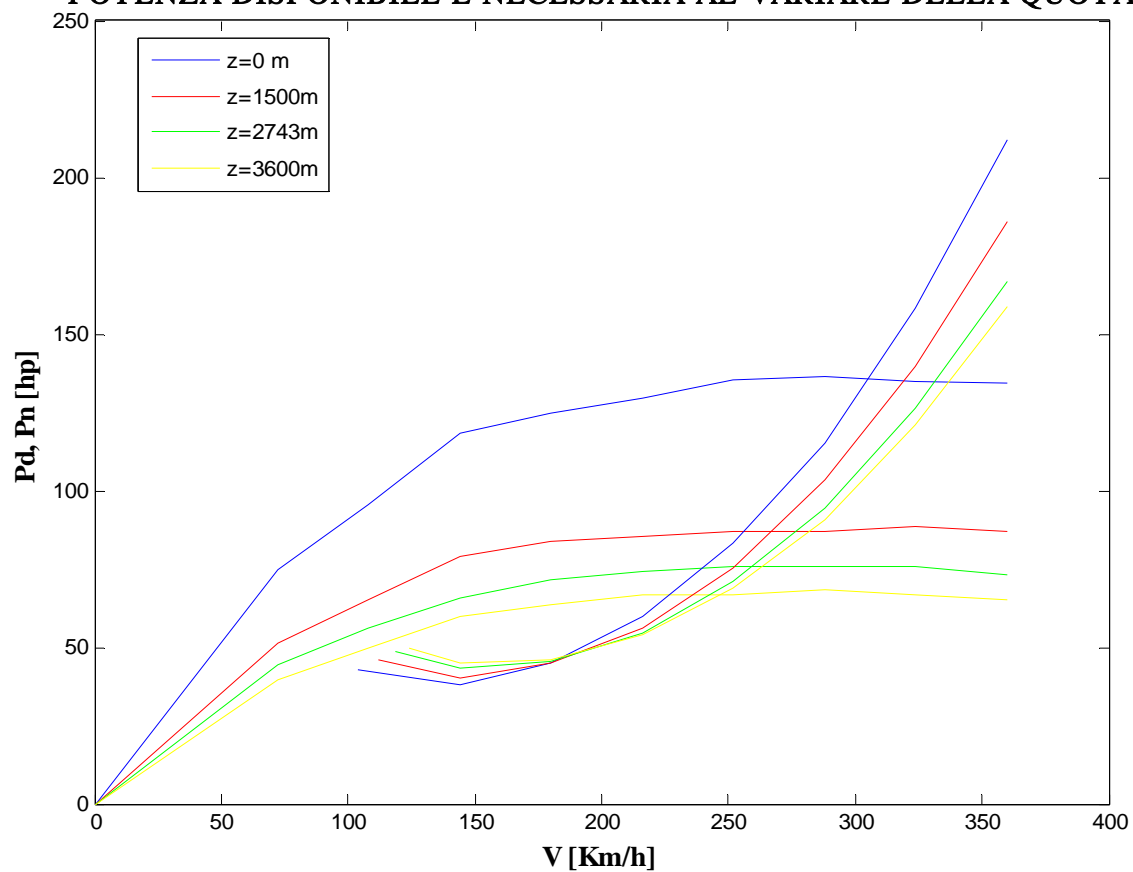
In quota il diagramma di P_D si abbassa in quanto $P_D = \eta P$ (η non è molto sensibile alla quota in quanto al suo interno ha il C_p , che a sua volta dipende dalla potenza all'albero P e dalla densità ρ al denominatore, che hanno in pratica la stessa variabilità in quota.

8.3 POTENZA DISPONIBILE E NECESSARIA A VARIE QUOTE

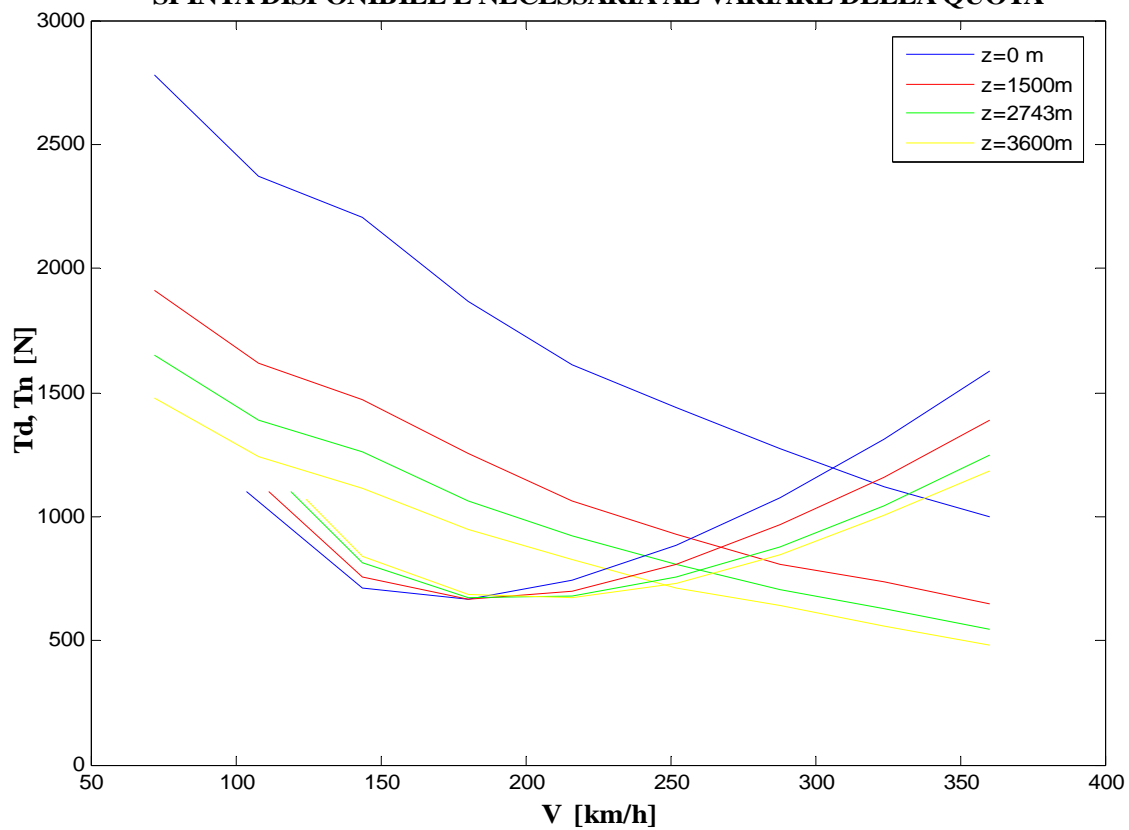
Con i dati in nostro possesso possiamo tracciare i diagrammi della potenza e della spinta necessaria e disponibile a varie quote significative.

$$z = 0m \quad z = 1500m \quad z = 2743m \quad z = 3600m$$

POTENZA DISPONIBILE E NECESSARIA AL VARIARE DELLA QUOTA



SPINTA DISPONIBILE E NECESSARIA AL VARIARE DELLA QUOTA



| | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--------------|---------------|----------------|------------------|---------------|---------------|-----------|--------------|-----------|-------------|------------|----------------|----------------|---------------|
| z=0 | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
| | 1,682 | 41,667 | 20 | 72 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,285 | 0,164 | 22,5 | 0,463 | 74,557 | 55,6 | 2780,3 |
| | 1,682 | 41,667 | 30 | 108 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,428 | 0,14 | 23 | 0,593 | 95,470 | 71,2 | 2373,5 |
| | 1,682 | 41,667 | 40 | 144 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,571 | 0,13 | 24 | 0,735 | 118,201 | 88,2 | 2203,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 50 | 180 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,713 | 0,11 | 25 | 0,777 | 125,020 | 93,2 | 1864,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 60 | 216 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,856 | 0,095 | 26 | 0,805 | 129,566 | 96,6 | 1610,6 |
| | 1,682 | 41,667 | 70 | 252 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 0,999 | 0,085 | 27,5 | 0,841 | 135,249 | 100,9 | 1441,0 |
| | 1,682 | 41,667 | 80 | 288 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,141 | 0,075 | 30 | 0,848 | 136,385 | 101,7 | 1271,5 |
| | 1,682 | 41,667 | 90 | 324 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,284 | 0,066 | 32 | 0,839 | 135,021 | 100,7 | 1118,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 100 | 360 | 160,9 | 120,0 | 0,101 | 1,427 | 0,059 | 34 | 0,834 | 134,112 | 100,0 | 1000,2 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| z=1500m | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
| | 1,682 | 41,667 | 20 | 72 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,285 | 0,130 | 17,5 | 0,508 | 51,287 | 38,3 | 1913,7 |
| | 1,682 | 41,667 | 30 | 108 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,428 | 0,110 | 19,0 | 0,645 | 65,095 | 48,6 | 1619,3 |
| | 1,682 | 41,667 | 40 | 144 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,571 | 0,100 | 20,0 | 0,782 | 78,903 | 58,9 | 1472,1 |
| | 1,682 | 41,667 | 50 | 180 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,713 | 0,085 | 21,0 | 0,831 | 83,835 | 62,6 | 1251,3 |
| | 1,682 | 41,667 | 60 | 216 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,856 | 0,072 | 23,0 | 0,844 | 85,216 | 63,6 | 1059,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 70 | 252 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 0,999 | 0,063 | 25,5 | 0,862 | 86,991 | 64,9 | 927,4 |
| | 1,682 | 41,667 | 80 | 288 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 1,141 | 0,055 | 27,5 | 0,860 | 86,794 | 64,8 | 809,6 |
| | 1,682 | 41,667 | 90 | 324 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 1,284 | 0,050 | 29,0 | 0,880 | 88,766 | 66,2 | 736,0 |
| | 1,682 | 41,667 | 100 | 360 | 100,9 | 75,3 | 0,073 | 1,427 | 0,044 | 32,0 | 0,860 | 86,794 | 64,8 | 647,7 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| z=2743m | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
| | 1,682 | 41,667 | 20 | 72 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,285 | 0,127 | 17,2 | 0,510 | 44,217 | 33,0 | 1649,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 30 | 108 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,428 | 0,107 | 18,5 | 0,645 | 55,881 | 41,7 | 1390,1 |
| | 1,682 | 41,667 | 40 | 144 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,571 | 0,097 | 19,5 | 0,780 | 67,544 | 50,4 | 1260,2 |
| | 1,682 | 41,667 | 50 | 180 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,713 | 0,082 | 21,0 | 0,824 | 71,374 | 53,3 | 1065,3 |
| | 1,682 | 41,667 | 60 | 216 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,856 | 0,071 | 23,0 | 0,856 | 74,159 | 55,3 | 922,4 |
| | 1,682 | 41,667 | 70 | 252 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 0,999 | 0,062 | 25,2 | 0,872 | 75,552 | 56,4 | 805,5 |
| | 1,682 | 41,667 | 80 | 288 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 1,141 | 0,055 | 27,2 | 0,876 | 75,900 | 56,6 | 708,0 |
| | 1,682 | 41,667 | 90 | 324 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 1,284 | 0,049 | 29,0 | 0,877 | 75,987 | 56,7 | 630,1 |
| | 1,682 | 41,667 | 100 | 360 | 86,6 | 64,6 | 0,071 | 1,427 | 0,042 | 31,5 | 0,844 | 73,115 | 54,6 | 545,6 |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| z=3600m | D [m] | n [Hz] | V [m/s] | V [km/hr] | P [hp] | P [kW] | Cp | gamma | Ct | beta | eta | Pd [hp] | Pd [kW] | Td [N] |
| | 1,682 | 41,667 | 20 | 72 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,285 | 0,125 | 17,0 | 0,510 | 39,622 | 29,6 | 1478,4 |
| | 1,682 | 41,667 | 30 | 108 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,428 | 0,105 | 18,0 | 0,642 | 49,924 | 37,3 | 1241,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 40 | 144 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,571 | 0,094 | 19,0 | 0,766 | 59,592 | 44,5 | 1111,8 |
| | 1,682 | 41,667 | 50 | 180 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,713 | 0,080 | 21,0 | 0,815 | 63,396 | 47,3 | 946,2 |
| | 1,682 | 41,667 | 60 | 216 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,856 | 0,070 | 23,0 | 0,856 | 66,566 | 49,7 | 827,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 70 | 252 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 0,999 | 0,060 | 25,0 | 0,856 | 66,566 | 49,7 | 709,7 |
| | 1,682 | 41,667 | 80 | 288 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 1,141 | 0,054 | 27,0 | 0,881 | 68,468 | 51,1 | 638,7 |
| | 1,682 | 41,667 | 90 | 324 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 1,284 | 0,047 | 29,0 | 0,862 | 67,041 | 50,0 | 555,9 |
| | 1,682 | 41,667 | 100 | 360 | 77,8 | 58,0 | 0,07 | 1,427 | 0,041 | 31 | 0,836 | 64,981 | 48,5 | 484,9 |

| z=0m | V [m/s] | V [km/h] | q | CL | CD | D=Tn [kg] | Pn [Kg*m/s] | Pn [kW] | Pn [hp] | Tn [N] |
|---------------|----------------|-----------------|----------|-----------|-----------|------------------|--------------------|----------------|----------------|---------------|
| | 28,813 | 103,727 | 51,887 | 1,584 | 0,1705 | 112,619 | 3244,877 | 31,813 | 42,6 | 1104,1 |
| | 40 | 144,000 | 100,000 | 0,822 | 0,0569 | 72,434 | 2897,348 | 28,405 | 38,1 | 710,1 |
| | 50 | 180,000 | 156,250 | 0,526 | 0,0343 | 68,225 | 3411,242 | 33,444 | 44,8 | 668,9 |
| | 60 | 216,000 | 225,000 | 0,365 | 0,0264 | 75,616 | 4536,972 | 44,480 | 59,6 | 741,3 |
| | 70 | 252,000 | 306,250 | 0,268 | 0,0232 | 90,447 | 6331,266 | 62,071 | 83,2 | 886,7 |
| | 80 | 288,000 | 400,000 | 0,205 | 0,0215 | 109,478 | 8758,240 | 85,865 | 115,1 | 1073,3 |
| | 90 | 324,000 | 506,250 | 0,162 | 0,0208 | 134,047 | 12064,221 | 118,277 | 158,5 | 1314,2 |
| | 100 | 360,000 | 625,000 | 0,131 | 0,0203 | 161,512 | 16151,188 | 158,345 | 212,2 | 1583,4 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| z=1500 | V [m/s] | V [km/h] | q | CL | CD | D=Tn [kg] | Pn [Kg*m/s] | Pn [kW] | Pn [hp] | Tn [N] |
| | 33,05 | 118,98 | 51,884 | 1,584 | 0,1705 | 112,613 | 3721,866 | 36,489 | 48,9 | 1104,1 |
| | 40 | 144 | 76,000 | 1,081 | 0,0855 | 82,720 | 3308,782 | 32,439 | 43,5 | 811,0 |
| | 50 | 180 | 118,750 | 0,692 | 0,0456 | 68,933 | 3446,648 | 33,791 | 45,3 | 675,8 |
| | 60 | 216 | 171,000 | 0,481 | 0,0318 | 69,223 | 4153,392 | 40,720 | 54,6 | 678,7 |
| | 70 | 252 | 232,750 | 0,353 | 0,026 | 77,036 | 5392,492 | 52,868 | 70,8 | 755,3 |
| | 80 | 288 | 304,000 | 0,270 | 0,0232 | 89,782 | 7182,572 | 70,417 | 94,4 | 880,2 |
| | 90 | 324 | 384,750 | 0,214 | 0,0218 | 106,774 | 9609,616 | 94,212 | 126,2 | 1046,8 |
| | 100 | 360 | 475,000 | 0,173 | 0,021 | 126,982 | 12698,175 | 124,492 | 166,8 | 1244,9 |
| | | | | | | | | | | |
| z=2743 | V [m/s] | V [km/h] | q | CL | CD | D=Tn [kg] | Pn [Kg*m/s] | Pn [kW] | Pn [hp] | Tn [N] |
| | 31 | 111,6 | 51,846 | 1,585 | 0,1705 | 112,530 | 3488,424 | 34,200 | 45,8 | 1103,2 |
| | 40 | 144 | 86,320 | 0,952 | 0,0700 | 76,920 | 3076,790 | 30,165 | 40,4 | 754,1 |
| | 50 | 180 | 134,875 | 0,609 | 0,0396 | 67,992 | 3399,578 | 33,329 | 44,7 | 666,6 |
| | 60 | 216 | 194,220 | 0,423 | 0,0288 | 71,206 | 4272,343 | 41,886 | 56,1 | 698,1 |
| | 70 | 252 | 264,355 | 0,311 | 0,0244 | 82,112 | 5747,828 | 56,351 | 75,5 | 805,0 |
| | 80 | 288 | 345,280 | 0,238 | 0,0224 | 98,457 | 7876,583 | 77,221 | 103,5 | 965,3 |
| | 90 | 324 | 436,995 | 0,188 | 0,0212 | 117,934 | 10614,102 | 104,060 | 139,4 | 1156,2 |
| | 100 | 360 | 539,500 | 0,152 | 0,0206 | 141,477 | 14147,740 | 138,703 | 185,9 | 1387,0 |
| | | | | | | | | | | |
| z=3600 | V [m/s] | V [km/h] | q | CL | CD | D=Tn [kg] | Pn [Kg*m/s] | Pn [kW] | Pn [hp] | Tn [N] |
| | 34,51 | 124,236 | 53,533 | 1,535 | 0,1602 | 109,172 | 3767,519 | 36,936 | 49,5 | 1070,3 |
| | 40 | 144 | 71,920 | 1,142 | 0,0932 | 85,328 | 3413,139 | 33,462 | 44,8 | 836,6 |
| | 50 | 180 | 112,375 | 0,731 | 0,0489 | 69,953 | 3497,655 | 34,291 | 45,9 | 685,8 |
| | 60 | 216 | 161,820 | 0,508 | 0,0332 | 68,391 | 4103,457 | 40,230 | 53,9 | 670,5 |
| | 70 | 252 | 220,255 | 0,373 | 0,0267 | 74,863 | 5240,388 | 51,376 | 68,8 | 733,9 |
| | 80 | 288 | 287,680 | 0,286 | 0,0236 | 86,427 | 6914,170 | 67,786 | 90,8 | 847,3 |
| | 90 | 324 | 364,095 | 0,226 | 0,0221 | 102,432 | 9218,874 | 90,381 | 121,1 | 1004,2 |
| | 100 | 360 | 449,500 | 0,183 | 0,0211 | 120,737 | 12073,705 | 118,370 | 158,6 | 1183,7 |

$$[q] = [kg / m^2 \cdot s^2]$$

8.4 VELOCITA' DI SALITA, RC

La velocità di salita è data da: $RC = \frac{\Pi_d - \Pi_{no}}{W}$

La potenza necessaria al volo orizzontale Π_{no} , ad una data quota e per $V > V_s$, è data da:

$$\Pi_{no} = T_n \cdot V \quad T_n = D = q \cdot S \cdot C_D$$

Ad ogni velocità si ricava il C_L e dalla polare il rispettivo C_D .

E' utile rappresentare anche il diagramma $z - RC_{max}$ linearizzata che ci permette di determinare la Quota di Tangenza Teorica, intersezione tra RC_{max} e $z=0$ m, e quella di Tangenza Pratica, definita come quella quota alla quale $RC_{max} = 0.5$ m/s

$$\begin{cases} z_{t_{teorica}} = 4190m \\ z_{t_{pratica}} = 3825m \end{cases}$$

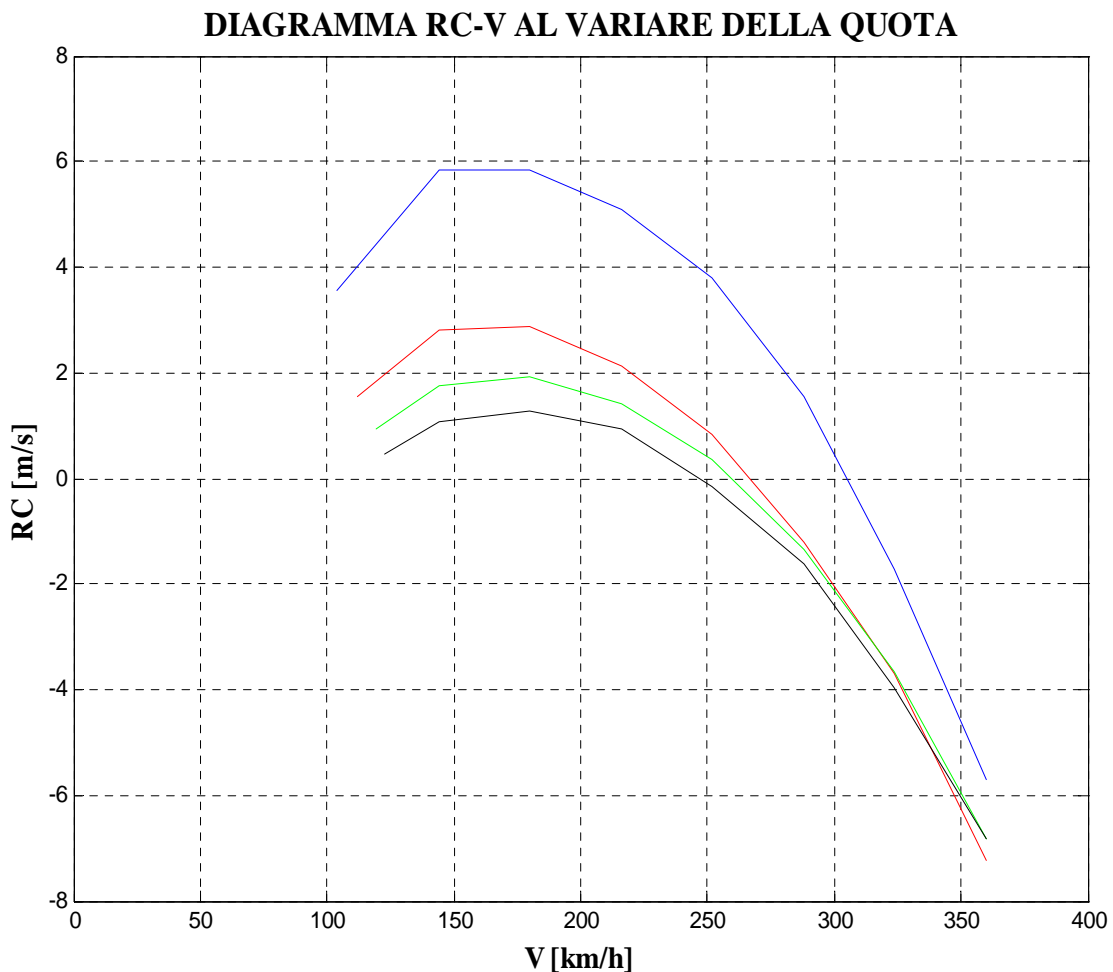


DIAGRAMMA DEL RATEO MASSIMO DI SALITA

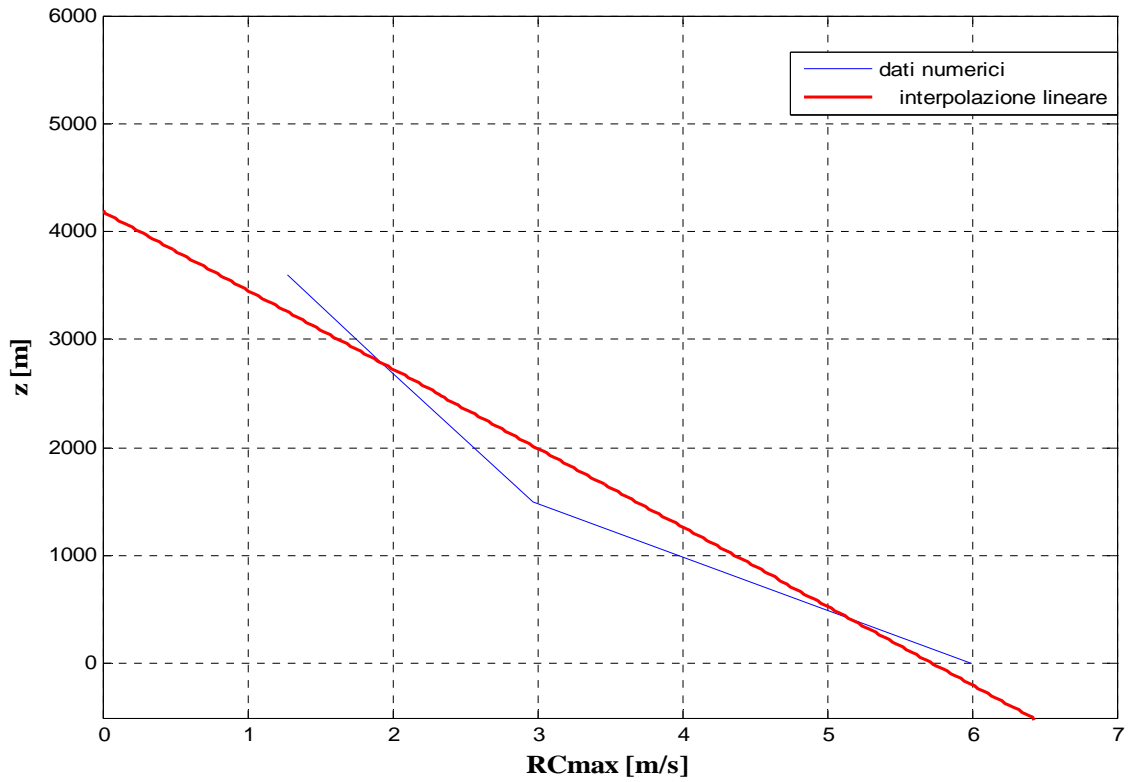
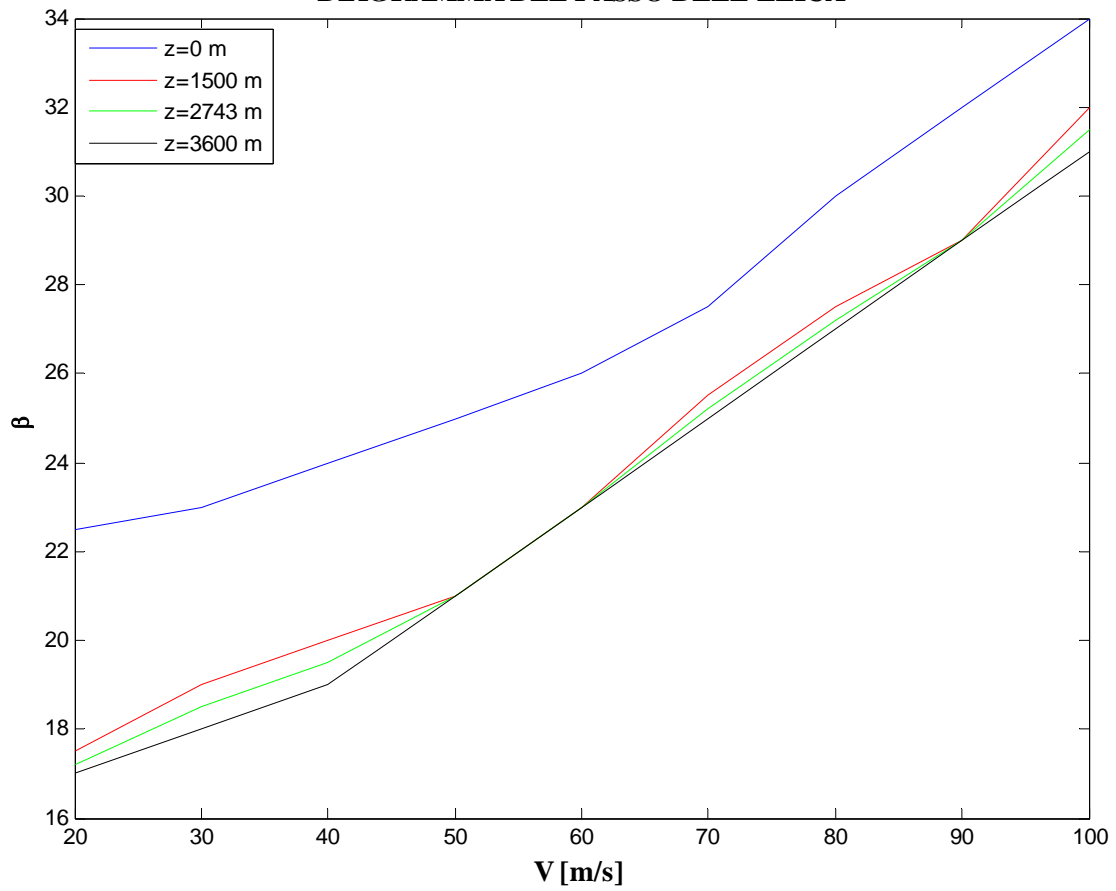


DIAGRAMMA DEL PASSO DELL'ELICA



| z=0m | V [m/s] | Pd [kW] | Pn [kW] | W [N] | RC [m/s] | z=2743 | V [m/s] | Pd [kW] | Pn [kW] | W [N] | RC [m/s] |
|--------|---------|---------|---------|---------|----------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | 28,8 | 68,4 | 31,8 | 10231,8 | 3,57 | | 33,1 | 45,9 | 36,5 | 10231,8 | 0,92 |
| | 40,0 | 88,2 | 28,4 | 10231,8 | 5,84 | | 40,0 | 50,4 | 32,4 | 10231,8 | 1,76 |
| | 50,0 | 93,2 | 33,4 | 10231,8 | 5,84 | | 50,0 | 53,3 | 33,8 | 10231,8 | 1,91 |
| | 60,0 | 96,6 | 44,5 | 10231,8 | 5,09 | | 60,0 | 55,3 | 40,7 | 10231,8 | 1,42 |
| | 70,0 | 100,9 | 62,1 | 10231,8 | 3,79 | | 70,0 | 56,4 | 52,9 | 10231,8 | 0,35 |
| | 80,0 | 101,7 | 85,9 | 10231,8 | 1,55 | | 80,0 | 56,6 | 70,4 | 10231,8 | -1,35 |
| | 90,0 | 100,7 | 118,3 | 10231,8 | -1,72 | | 90,0 | 56,7 | 94,2 | 10231,8 | -3,67 |
| | 100,0 | 100,0 | 158,3 | 10231,8 | -5,70 | | 100,0 | 54,6 | 124,5 | 10231,8 | -6,83 |
| | | | | | | | | | | | |
| z=1500 | V [m/s] | Pd [kW] | Pn [kW] | W [N] | RC [m/s] | z=3300 | V [m/s] | Pd [kW] | Pn [kW] | W [N] | RC [m/s] |
| | 31,0 | 50,2 | 34,2 | 10231,8 | 1,56 | | 34,0 | 42,3 | 37,5 | 10231,8 | 0,47 |
| | 40,0 | 58,9 | 30,2 | 10231,8 | 2,81 | | 40,0 | 44,5 | 33,6 | 10231,8 | 1,07 |
| | 50,0 | 62,6 | 33,3 | 10231,8 | 2,86 | | 50,0 | 47,3 | 34,3 | 10231,8 | 1,27 |
| | 60,0 | 63,6 | 41,9 | 10231,8 | 2,12 | | 60,0 | 49,7 | 40,2 | 10231,8 | 0,93 |
| | 70,0 | 64,9 | 56,4 | 10231,8 | 0,84 | | 70,0 | 49,7 | 51,4 | 10231,8 | -0,16 |
| | 80,0 | 64,8 | 77,2 | 10231,8 | -1,21 | | 80,0 | 51,1 | 67,8 | 10231,8 | -1,63 |
| | 90,0 | 66,2 | 104,1 | 10231,8 | -3,70 | | 90,0 | 50,0 | 90,4 | 10231,8 | -3,95 |
| | 100,0 | 64,8 | 138,7 | 10231,8 | -7,22 | | 100,0 | 48,5 | 118,4 | 10231,8 | -6,83 |

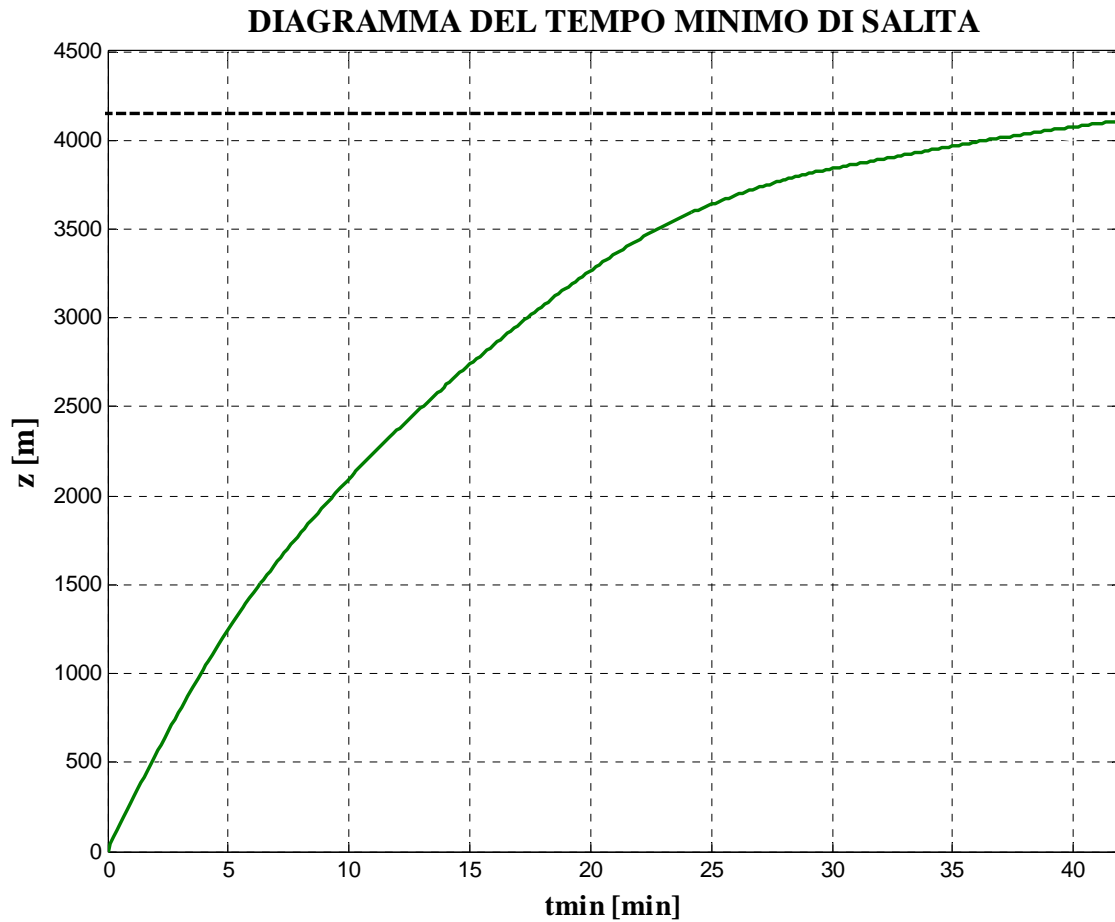
8.5 INVILUPPO DI VOLO

Determiniamo innanzitutto t_{\min} , tempo minimo di salito dato da:

$$RC = \frac{dz}{dt} \Rightarrow dt_{\min} = \frac{dz}{RC_{\max}}$$

$$t_{\min} = \int_0^{z_H} \frac{dz}{RC_{\max}}$$

da una semplice integrazione otteniamo l'andamento desiderato. Ztt



Dal grafico $RC(V)$, congiungendo tutti i massimi e tutti i punti di tangenza alle semirette uscenti dall'origine, otteniamo rispettivamente le Velocità di salita Rapida e di salita Ripida.

VELOCITA' DI SALITA RAPIDA $V_{RC_{\max}}$

$$RC_{1\max} \rightarrow spline \rightarrow 5.99 \Rightarrow V_{z1\max} = 44.56 \frac{m}{s}$$

$$RC_{2\max} \rightarrow spline \rightarrow 2.97 \Rightarrow V_{z2\max} = 45.2 \frac{m}{s}$$

$$RC_{3\max} \rightarrow spline \rightarrow 1.96 \Rightarrow V_{z3\max} = 46.3 \frac{m}{s}$$

$$RC_{4\max} \rightarrow spline \rightarrow 1.28 \Rightarrow V_{z1\max} = 47.9 \frac{m}{s}$$

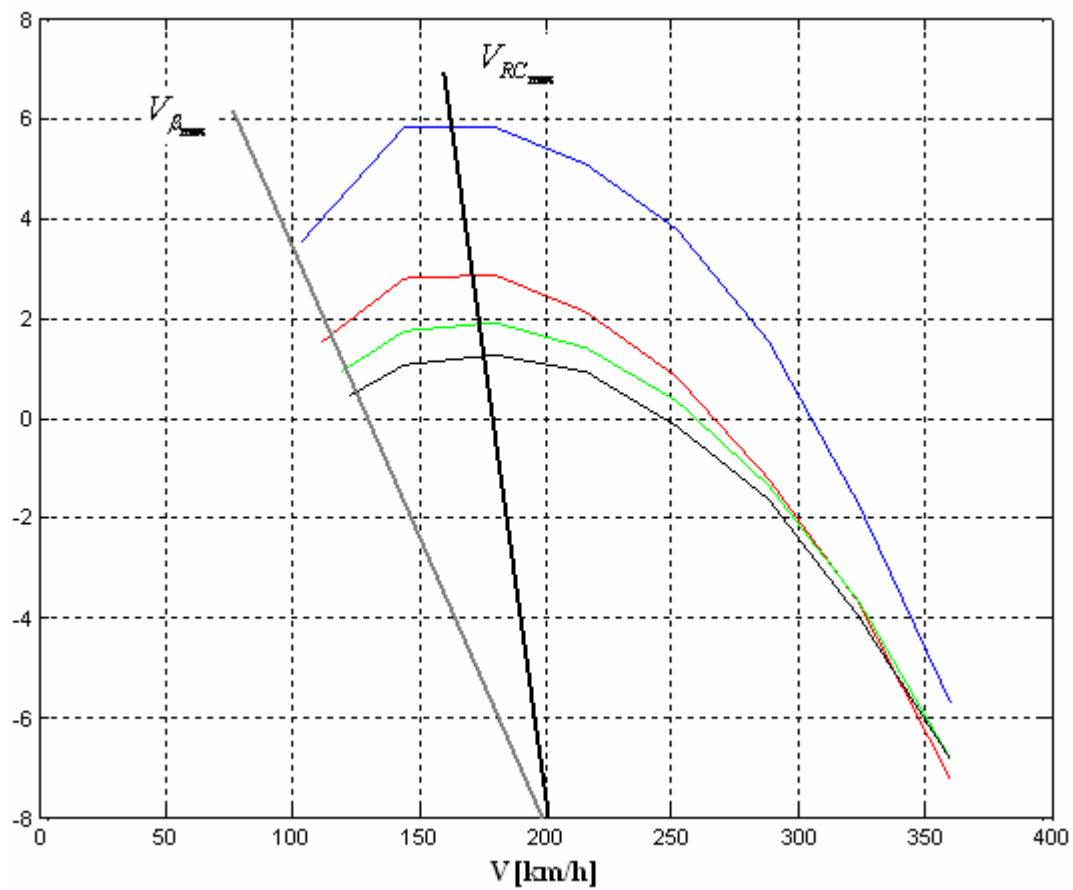
VELOCITA' DI SALITA RIPIDA $V_{\beta_{\max}}$

$$V_{\beta_{1\max}} = 36.5 \frac{m}{s}$$

$$V_{\beta_{2\max}} = 40 \frac{m}{s}$$

$$V_{\beta_{3\max}} = 42 \frac{m}{s}$$

$$V_{\beta_{4\max}} = 42.5 \frac{m}{s}$$



Per determinare la velocità di stallo operiamo come già fatto più volte:

$$V_s = \sqrt{\frac{2 W}{\rho S C_{L_{\max}}}}$$

$$C_{L_{\max}} = 1.6$$

| | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| z [m] | 0 | 1500 | 2743 | 3600 |
| $\rho [kg \cdot s^2 / m^4]$ | 0.125 | 0.108 | 0.095 | 0.087 |
| Vs [m/s] | 27.5 | 29.59 | 31.55 | 32.97 |

N.B:

$$\frac{lb \cdot s^2}{ft^4} = \frac{slug}{ft^3} = 52.554 \frac{kg \cdot s^2}{m^4}$$

Infine per determinare la velocità massima al variare della quota in volo orizzontale, dobbiamo imporre l'uguaglianza tra la potenza necessaria e quella disponibile:

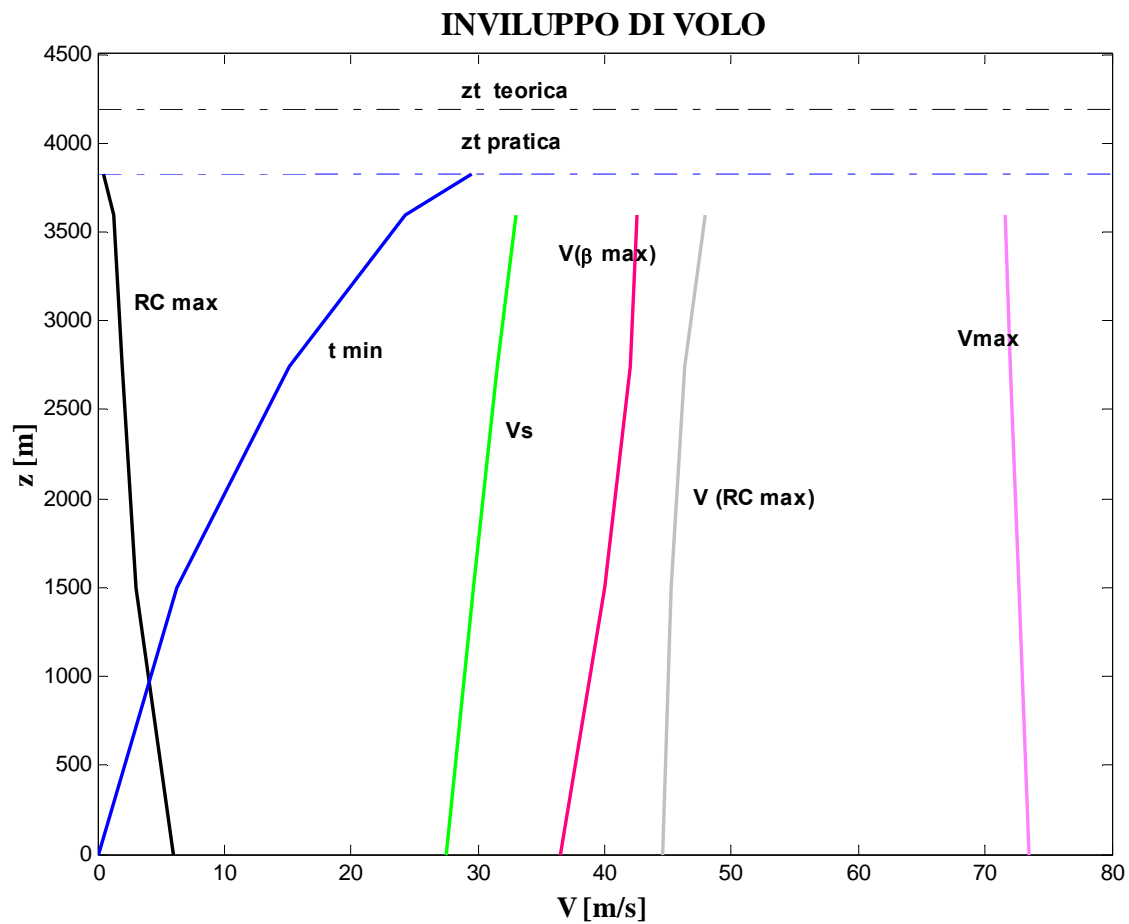
$$C_L S \frac{1}{2} \rho V^3 = \eta_P P(z)$$

Imponendo che $C_L = 1.1 C_{D_0}$, e ricordando che P è la potenza all'albero avremo:

$$V_{\max} = \sqrt[3]{\frac{2\eta_P P(z)}{1.1 C_{D_0} S \rho}}$$

| z[m] | σ | η_p | φ | Kz | $\rho[kg/m^3]$ | S [m^2] | Cd=1.1*Cdo | Pto [W] | Pomax [W] | V [m/s] |
|-------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------|----------------------------------|----------------|-------------------|----------------|------------------|----------------|
| 0 | 1 | 0,8 | 0,75 | 1,000 | 1,225 | 12,73 | 0,02328 | 120000 | 90000 | 73,47 |
| 1500 | 0,8637 | 0,8 | 0,75 | 0,836 | 1,058 | 12,73 | 0,02328 | 120000 | 75267,1153 | 72,69 |
| 2743 | 0,762 | 0,8 | 0,75 | 0,718 | 0,9335 | 12,73 | 0,02328 | 120000 | 64599,2647 | 72,02 |
| 3600 | 0,6975 | 0,8 | 0,75 | 0,644 | 0,854 | 12,73 | 0,02328 | 120000 | 57991,7812 | 71,57 |

Possiamo così tracciare tutte le grandezze fin qui determinate su di unico grafico notando che per t_{\min} vale la scala dei tempi e che per RC_{\max} per chiarezza è stata adottata una scala più ingrandita.



Il grafico viene completato imponendo che tutte le curve, tranne t_{min} e RC_{max} , passino per il punto di intersezione tra $V_{RC_{max}}$, e la quota di tangenza teorica ovvero il punto di coordinate:

$$V = 48.175 \text{ m/s}$$

$$z = 4190 \text{ m}$$

INVILUPPO DI VOLO

