

## 2 DETERMINAZIONE DEI PESI

In questo capitolo dalla specifica di progetto e dal profilo di missione effettueremo una valutazione dei pesi, per i quali useremo la seguente notazione:

$W_{TO}$  = Peso massimo al decollo

$W_E$  = Peso a vuoto

$W_{PL}$  = Peso del carico pagante

$W_F$  = Peso del combustibile

$W_{crew}$  = Peso dell'equipaggio

$W_{tfo}$  = Peso del lubrificante

Inoltre valgono le seguenti relazioni:

$$W_{OE} = W_E + W_{tfo} + W_{crew}$$

$$W_{TO} = W_{OE} + W_F + W_{PL}$$

### 2.1 DETERMINAZIONE DI $W_{PL}$

Si assume un peso di 175 lb per ogni passeggero più un peso complessivo per i bagagli imposta dalla specifica di progetto pari a 91 kg (200 lb):

$$W_{PL} = 4 \cdot 175 + 200 = 900lb$$

### 2.2 DETERMINAZIONE DEL $W_{tfo}$

Si impone un peso dei lubrificanti nullo essendo il nostro velivolo di peso sicuramente inferiore 100000 lb

### 2.3 DETERMINAZIONE DEL $W_{crew}$

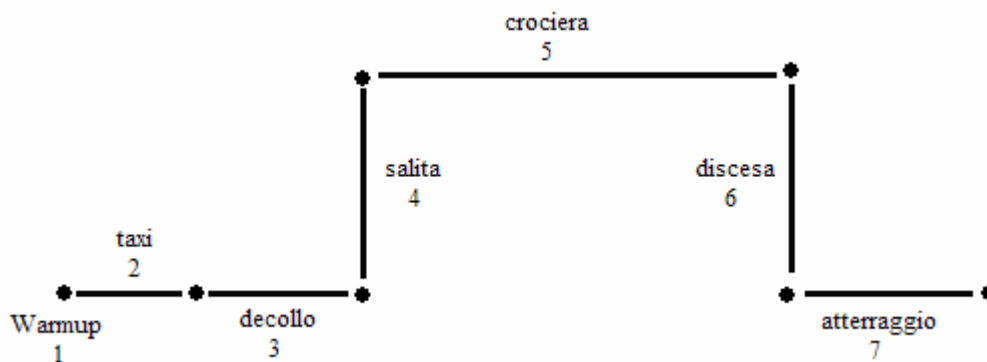
Anche il peso relativo all'equipaggio è nullo essendo stato il pilota già conteggiato nel carico pagante.

## 2.4 DETERMINAZIONE DI $W_F$

Per determinare la quantità totale di combustibile da imbarcare, somma di quello usato più quello di riserva utilizzeremo il “Fuel Fraction Method”

$$W_F = W_{Fused} + W_{Fres}$$

Dal profilo di missione del nostro velivolo si individuano le seguenti fasi:



Le frazioni di combustibile relative alle fasi 1, 2, 3, 4, 6 e 7 sono tipiche per ogni categoria di velivolo e sono riportati nella tabella (2.1) degli appunti del corso. Nel nostro caso avendo a che fare con un monomotore ad elica essi valgono:

$$\frac{W_1}{W_{TO}} = 0.995 \quad \frac{W_2}{W_1} = 0.997 \quad \frac{W_3}{W_2} = 0.998 \quad \frac{W_4}{W_3} = 0.992 \quad \frac{W_6}{W_5} = 0.993$$

$$\frac{W_7}{W_6} = 0.993$$

Per determinare la frazione di combustibile relativa alla crociera utilizzeremo la formula di Breguet dell'autonomia di percorso, che ci è data anche in questo caso dalla specifica.

$$R_{cr} = 375 \left( \frac{\eta_p}{C_P} \right)_{cr} \left( \frac{L}{D} \right)_{cr} \ln \left( \frac{W_4}{W_5} \right)$$

$$\text{Dove : } [R_{cr}] = [sm] \quad [C_P] = \left[ \frac{lbs}{hp \cdot h} \right]$$

I valori di  $\eta_p$ ,  $C_P$  e di  $\frac{L}{D}$  sono riportati in tav.(2.2):

$$\left(\frac{L}{D}\right)_{cr} = 9 \quad \eta_p = 0.8 \quad C_p = 0.6$$

$$R_{cr} = 525nm = 603.8sm$$

$$\ln\left(\frac{W_4}{W_5}\right) = \frac{603.8}{375} \cdot \frac{0.6}{0.8} \cdot \frac{1}{9} = 0.134$$

$$\left(\frac{W_4}{W_5}\right) = e^{0.134} = 1.14 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{W_5}{W_4}\right) = 0.877$$

A questo punto è possibile ottenere il rapporto tra il peso a fine missione e quello all'inizio:

$$\frac{W_7}{W_{TO}} = \frac{W_1}{W_{TO}} \cdot \frac{W_2}{W_1} \cdot \frac{W_3}{W_2} \cdot \frac{W_4}{W_3} \cdot \frac{W_5}{W_4} \cdot \frac{W_6}{W_5} \cdot \frac{W_7}{W_6} = 0.849 = M_{ff}$$

$$W_{Fused} = W_{TO} - W_7 = W_{TO}(1 - M_{ff}) \quad W_7 = M_{ff} W_{TO}$$

$$W_{Fused} = 0.151W_{TO}$$

Sapendo dalla specifica di progetto che il combustibile di riserva deve essere pari al 5% di quello totale avremo:

$$W_F = W_{Fused} + W_{Fres}$$

$$W_F = W_{Fused} + 0.05W_F$$

$$W_F = \frac{W_{Fused}}{0.95} = 0.158W_{TO}$$

## 2.5 DETERMINAZIONE DI $W_{TO}$ E $W_E$

Sommando tutti i termini otteniamo:

$$W_{TO} = W_E + W_{PL} + W_{crew} + W_F + W_{tfo}$$

$$W_{TO} = 900 + 0.158W_{TO} + W_E$$

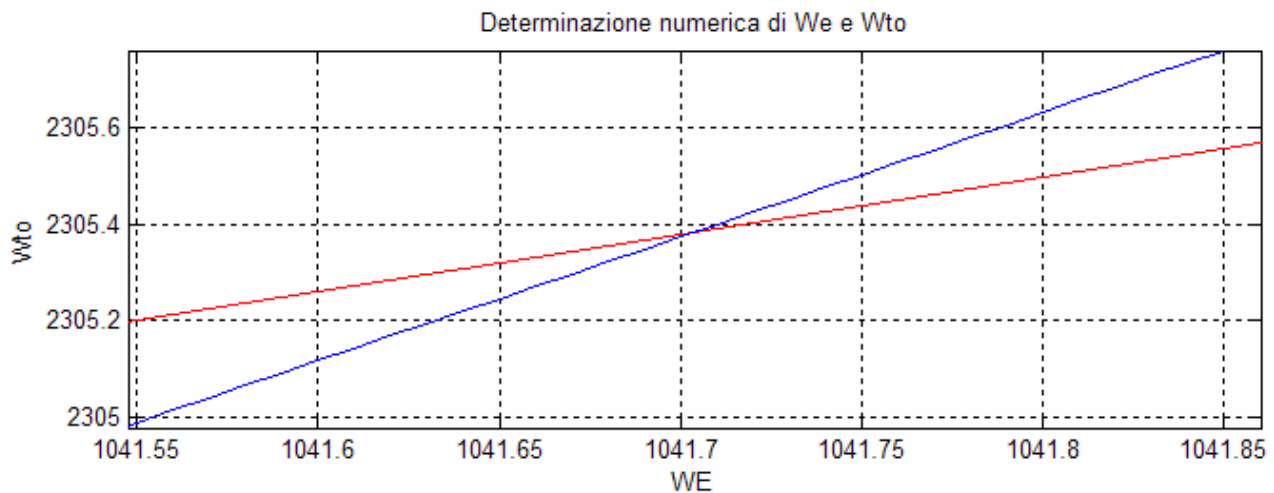
$$W_{TO} = 1.187W_E + 1068.88$$

Per determinare  $W_{TO}$  e  $W_E$  ci avvaleremo di una legge statistica:

$$\log_{10} W_{TO} = A + B \log_{10} W_E$$

Dove  $A=-0.144$  e  $B=1.1162$  dalla tab.(2.15).

Tracciando graficamente le due funzioni possiamo trovarne la soluzione:



I valori dei pesi sono:

$W_{TO} = 2305.37lb$
$W_E = 1041.7lb$
$W_F = 364.2lb$

## 2.6 ANALISI DELLA MUTUA INFLUENZA DEI VARI PARAMETRI ( Studio della sensitività e dei fattori di crescita)

Come sappiamo il peso massimo al decollo  $W_{TO}$ , è funzione dei seguenti parametri :

- $W_{PL}$  = Carico pagante
- $W_E$  = Peso a vuoto
- $R$  = Autonomia di percorso
- $E$  = Autonomia di durata
- $L/D$  = Efficienza aerodinamica
- $c_p$  = Consumo del combustibile
- $\eta_p$  = Rendimento delle eliche

A valle del dimensionamento preliminare lo studio della sensitività e dei fattori di crescita è particolarmente indicativo dei parametri che “guidano” il progetto, utile per definire gli eventuali cambiamenti tecnologici che devono essere attuati per migliorare le prestazioni, per effettuare una stima della qualità della scelta dei parametri di progetto (ottimistica o pessimistica), e l’impatto di tale scelta sul progetto stesso.

Per fare ciò ci sono due metodi:

- Metodo numerico: consistente nel far variare di un 5%-10% i parametri di progetto e valutarne l’impatto su  $W_{TO}$ .
- Metodo analitico : basato su i fattori di crescita.

Noi sceglieremo questa seconda strada.

Partendo da queste tre relazioni già viste all’interno di questo capitolo:

$$W_E = W_{TO} [1 - (1 + M_{res})(1 - M_{ff}) - M_{tfo}] - (W_{PL} + W_{crew})$$

$$W_E = CW_{TO} - D$$

$$\log_{10} W_{TO} = A + B \log_{10} W_E$$

Manipolandole opportunamente otteniamo:

$$\frac{\partial W_{TO}}{\partial y} = \frac{\left[ BW_{TO}^2 \frac{\partial C}{\partial y} - BW_{TO} \frac{\partial D}{\partial y} \right]}{[C(1 - B)W_{TO} - D]}$$

Dove ad y di volta in volta vanno sostituiti i parametri di progetto rispetto al quale si vogliono determinare i fattori di crescita.

A, B, C e D sono le costanti già determinate e valgono:

$$A = -0.144$$

$$B = 1.1162$$

$$C = 0.842$$

$$D = 900.5$$

### 2.6.1 Influenza del carico pagante

$$y = W_{PL}$$

$$\frac{\partial W_{TO}}{\partial y} = \frac{BW_{TO}}{[D - C(1 - B)W_{TO}]} \quad \text{Fattore di crescita dovuto al carico pagante}$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial W_{PL}} = 2.28}$$

Ciò significa che per un aumento del carico pagante di 1 lb avremo un aumento del peso al decollo di soltanto 2.28 lbs.

### 2.6.2 Influenza del peso a vuoto

Per tale scopo usiamo una formula da noi derivata; Partendo da:

$$\log_{10} W_{TO} = A + B \log_{10} W_E$$

Ponendo  $y = W_E$  e derivando avremo:

$$W_{TO} = 10^A \cdot y^B$$

$$\frac{\partial W_{TO}}{\partial y} = B \cdot 10^A \cdot y^{B-1} \quad \text{Fattore di crescita dovuto al peso a vuoto}$$

$$W_E = 1042lb \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial W_E} = 1.8}$$

### 2.6.3 Sensitività ad R e ad E

Valgono le seguenti:

$$\frac{\partial W_{TO}}{\partial y} = F \frac{\partial \bar{R}}{\partial y} \quad \frac{\partial W_{TO}}{\partial y} = F \frac{\partial \bar{E}}{\partial y}$$

$$F = -BW_{TO}^2 [CW_{TO}(1-B) - D]^{-1} (1 + M_{res})M_{ff}$$

Da cui otteniamo :

$$\boxed{\begin{aligned} \frac{\partial W_{TO}}{\partial R} &= Fc_p \left( 375\eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} \\ \frac{\partial W_{TO}}{\partial E} &= FVc_p \left( 375\eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} \end{aligned}}$$

$$[R]=[sm] \quad [V]=[mph]$$

Dai seguenti dati :

$$M_{ff} = 0.849 \quad ; \quad c_p = 0.6 \quad ; \quad \eta_p = 0.8 \quad ; \quad L/D = 9$$

$$W_{res} = 0.05W_F = 18.2lb \quad ; \quad M_{res} = 0.05 \quad ; \quad F = 4695$$

$$V_{cr} = 126kts = 145mph$$

Otteniamo:

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial R} = 1.043} \quad \text{Fattore di crescita dovuto all'autonomia di percorso}$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial E} = 151.1} \quad \text{Fattore di crescita dovuto all'autonomia di durata}$$

#### 2.6.4 Sensitività ad i parametri $c_p, \eta_p, V, L/D$

Dalle derivate parziali di Breguet si ricavano i seguenti fattori di crescita:

$$y = c_p$$

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial y} = R \left( 375 \eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} = 0.22 \quad ; \quad \frac{\partial \bar{E}}{\partial y} = FR \left( 375 \eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} = 0.27$$

$$R = 525 nm = 603.8 sm$$

$$E = 375 \left( \frac{1}{V} \right) \left( \frac{\eta_p}{c_p} \right) \left( \frac{L}{D} \right) \ln \left( \frac{W_i}{W_f} \right) = 5.1 hr$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial c_p} = FR \left( 375 \eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} = 1050}$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial c_p} = FVE \left( 375 \eta_p \frac{L}{D} \right)^{-1} = 1267.6}$$

*Fattore di crescita dovuto al consumo specifico*

Il fatto che abbiamo due risultati diversi ma comunque prossimi è dovuto alla natura statistica delle formule di Breguet. Noi li intenderemo come estremi della forbice.

$$y = \eta_p$$

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial y} = -R c_p \left( 375 \eta_p^2 \frac{L}{D} \right)^{-1} = -0.17 \quad ; \quad \frac{\partial \bar{E}}{\partial y} = -E V c_p \left( 375 \eta_p^2 \frac{L}{D} \right)^{-1} = -0.21$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial \eta_p} = -798.15} \quad ; \quad \boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial \eta_p} = -962.48}$$

*Fattore di crescita dovuto al rendimento delle eliche*



$$y = V$$

$$\frac{\partial \bar{R}}{\partial y} = -Ec_p \left( 375\eta_p \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right)^{-1} = 1.26 \cdot 10^{-4}$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial V} = 0.6}$$

*Fattore di crescita dovuto alla velocità*

$$y = L / D$$

$$\frac{\partial \bar{E}}{\partial y} = -EVc_p \left( 375\eta_p \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right)^{-1} = 0.018$$

$$\boxed{\frac{\partial W_{TO}}{\partial (L / D)} = 85.73}$$

*Fattore di crescita dovuto all'efficienza aerodinamica*