

## Capitolo 1

# NOZIONI FONDAMENTALI SULL'ATMOSFERA TERRESTRE

### Esercizi proposti

Esercizio 1 : Determinare la Pressione, la Temperatura, e la Densità alle quote: Z1 = 7000 ft, Z2 = 9500 ft, Z3 = 4250 ft, Z4 = 22500 ft, Z5 = 12000 ft, in aria tipo.

Esercizio 2 : Tracciare il grafico di variazione della Pressione con la quota in aria tipo da quota zero fino al limite della Troposfera.

Esercizio 3 : In possesso dei seguenti dati dell'aria reale : Pressione  $P = 1003$  hPa, Temperatura  $t = 5^{\circ}\text{C}$ . Determinare la Densità e la corrispondente quota in aria tipo.

Esercizio 4 : Calcolare la densità relativa a quota  $Z = 10000$  ft in aria tipo.

Esercizio 5 : Calcolare la differenza di pressione tra interno ed esterno di un velivolo di linea in volo alla quota  $Z = 27000$  ft, che mantiene una quota di cabina  $Z_c = 2000$  m

Esercizio 6 : Sapendo che la differenza massima ammissibile tra interno ed esterno di un velivolo di linea con quota cabina  $Z_c = 2000$  m è  $d = 617,6$  hPa, calcolare la massima quota di volo raggiungibile.

Esercizio 7 : Un velivolo è autorizzato ad atterrare sulla pista 16 (orientamento  $160^{\circ}$ ) in presenza di un vento di intensità  $v' = 15$  Kts proveniente da Sud. Calcolare le componenti del vento parallela e perpendicolare all'asse pista.

Esercizio 8 : Un velivolo decolla da un aeroporto situato a 295 m sul livello del mare e si porta alla quota  $Z = 3000$  ft con l'altimetro regolato sul QFE. Determinare la quota letta sull'altimetro se il pilota lo regola sul QNH di 1022 hPa.

Esercizio 9 : Un pilota legge sul termometro dell'aria esterna una temperatura  $t = 23^{\circ}\text{F}$ . Sapendo che la temperatura di rugiada è  $t_r = -2^{\circ}\text{C}$  dovrà accendere o no l'impianto anti-icing ?

Esercizio 10 : Volando verso Est in presenza di vento di scirocco di intensità  $v' = 25$  Kts, quanto sarà la diminuzione della velocità rispetto al terreno mantenendo sempre la rotta verso Est.

# Capitolo 1

## NOZIONI FONDAMENTALI SULL'ATMOSFERA TERRESTRE

### 1.8 Soluzione esercizi proposti

*Es. 1 Determinare la Pressione, la Temperatura, e la Densità alle quote: Z1 = 7000 ft, Z2 = 9500 ft, Z3 = 4250 ft, Z4 = 22500 ft, Z5 = 12000 ft, in aria tipo.*

Soluzione:

prima di utilizzare le formule valide in aria tipo per determinare la Pressione, la Temperatura e la Densità, trasformiamo le quote in metri, sapendo che 1 ft = 0,3048 m moltiplichiamo le quote in piedi per 0,3048 ottenendo il valore in metri, arrotondando il risultato senza virgola.

$$Z1 = 7000 \cdot 0,3048 = 2134 \text{ m}, \quad Z2 = 9500 \cdot 0,3048 = 2896 \text{ m}, \quad Z3 = 4250 \cdot 0,3048 = 1295 \text{ m}$$

$$Z4 = 22500 \cdot 0,3048 = 6858 \text{ m}, \quad Z5 = 12000 \cdot 0,3048 = 3658 \text{ m}$$

Sapendo che i valori delle grandezze a quota zero in aria tipo sono:  $P_0 = 101325 \text{ N/m}^2$  ;  $T_0 = 288 \text{ K}$  ;  $\rho_0 = 1,225 \text{ kg/m}^3$  , utilizzando le seguenti formule impostiamo una tabella di calcolo.

$$P = 101325 (1 - 0,0000226 Z)^{5,256}$$

$$T = 288 - 0,0065 Z$$

$$\rho = 1,225 (1 - 0,0000226 Z)^{4,256}$$

Quote [m]	Pressione [N/m <sup>2</sup> ]	Temperatura [K]	Densità [Kg/m <sup>3</sup> ]
2134	78142	274,13	0,992
2896	70991	296,18	0,918
1295	86679	279,58	1,079
6858	41812	243,42	0,531
3658	64380	264,22	0,848

////////////////////////////////////

*Es. 2 Tracciare il grafico di variazione della Pressione con la quota in aria tipo da quota zero fino al limite della Troposfera.*

Soluzione : la pressione, in aria tipo, varia con la quota seguendo la seguente formula :

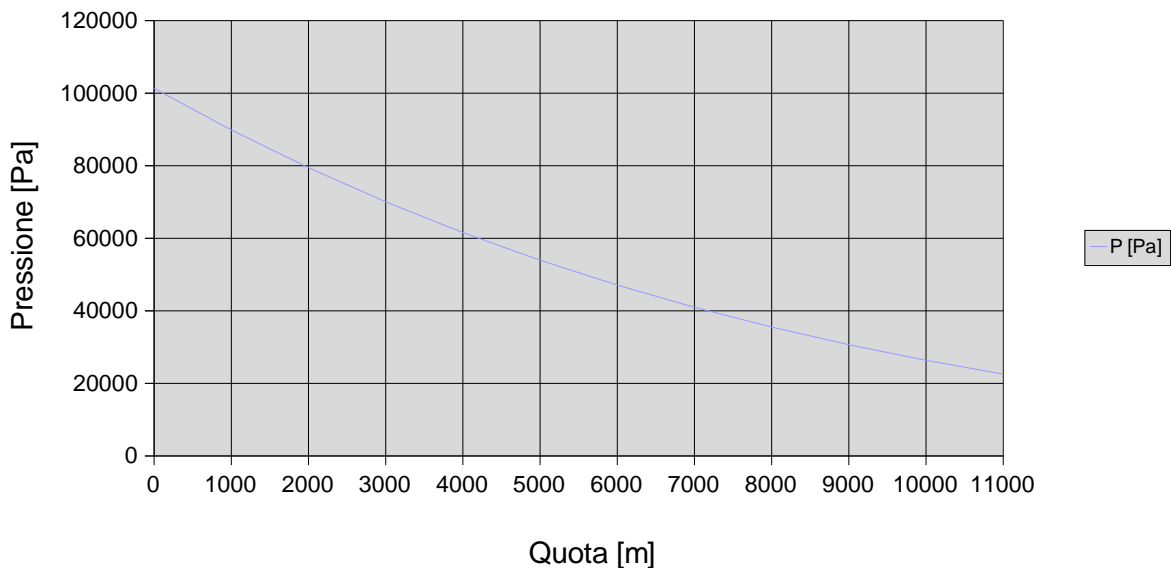
$P = P_0 (1 - 0,0000226 Z)^{5,256}$  dove  $P_0 = 101325 \text{ [N/m}^2\text{]}$ , quindi per tracciare il grafico imposto la seguente tabella per quote da 0 fino a 11000 m limite della Troposfera.

Quote [m]	Pressione [N/m <sup>2</sup> ]
0	101325
1000	89854
2000	79458
3000	70058
4000	61579
5000	53951
6000	47107
7000	40984

Quote [m]	Pressione [N/m <sup>2</sup> ]
8000	35522
9000	30664
10000	26360
11000	22558

Impostando sulle ascisse la quota e sulle ordinate la pressione disegno il grafico richiesto.

### Variatione della pressione con la quota



////////////////////////////////////

**Es. 3. In possesso dei seguenti dati dell'aria reale : Pressione  $P = 1003 \text{ hPa}$ , Temperatura  $t = 5^\circ\text{C}$ .  
Determinare la Densità e la corrispondente quota in aria tipo.**

**Soluzione :**

Trasformiamo la Pressione in Pascal,  $P = 1003 \times 100 = 100300 \text{ Pa}$ , la Temperatura in gradi Kelvin  $T = 5 + 273 = 278^\circ\text{K}$

La Densità la calcoliamo considerando l'aria come un gas perfetto, quindi utilizzando la seguente formula:

$$\rho = \frac{P}{g \cdot R \cdot T} = \frac{100300}{9,81 \cdot 29,27 \cdot 278} = 1,256 \text{ kg/m}^3$$

dove  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  rappresenta l'accelerazione di gravità,  $R = 29,27 \text{ m}^\circ\text{K}$  è la costante dell'aria considerata un miscuglio gassoso.

Dato che la densità ottenuta è maggiore di quella a quota zero in aria tipo, la corrispondente quota risulterà negativa e può essere ricavata con la seguente formula:

$$\rho = 1,225 (1 - 0,0000226 Z)^{4,256} \quad \text{da cui} \quad Z = \frac{1 - 4,256 \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}}{0,0000226} = \frac{1 - 4,256 \sqrt{\frac{1,256}{1,225}}}{0,0000226} = -261 \text{ m}$$

////////////////////////////////////



Es. 7. Un velivolo è autorizzato ad atterrare sulla pista 16 (orientamento 160°) in presenza di un vento di intensità  $v' = 15$  Kts proveniente da Sud. Calcolare le componenti del vento parallela e perpendicolare all'asse pista.

Soluzione :

trasformo l'intensità del vento in m/s :  $15 \times 1,852 = 27,78$  Km/h : 3,6 = 7,72 m/s

dato che l'orientamento pista è 160° e il vento proviene da Sud quindi da 180° , l'angolo tra l'asse pista e la direzione del vento risulta  $\alpha = 180^\circ - 160^\circ = 20^\circ$  quindi le componenti sono :

parallela all'asse pista  $V1 = v' \cos \alpha = 7,72 \cos 20^\circ = 7,25$  m/s

perpendicolare all'asse pista  $V2 = v' \sin \alpha = 7,72 \sin 20^\circ = 2,64$  m/s

////////////////////////////////////

Es. 8. Un velivolo decolla da un aeroporto situato a 295 m sul livello del mare e si porta alla quota  $Z = 3000$  ft con l'altimetro regolato sul QFE. Determinare la quota letta sull'altimetro se il pilota lo regola sul QNH di 1022 hPa.

Soluzione :

Trasformo la quota in metri  $Z = 3000 \times 0,3048 = 914$  m quindi il velivolo sta volando alla quota sul livello del mare di  $914 + 295 = 1209$  m

Dato che l'altimetro è regolato sul QNH (fornito dalla torre prima del decollo) il pilota leggerà 1209 m

////////////////////////////////////

Es. 9. Un pilota legge sul termometro dell'aria esterna una temperatura  $t = 23^\circ\text{F}$ . Sapendo che la temperatura di rugiada è  $t_r = -2^\circ\text{C}$  dovrà accendere o no l'impianto anti-icing ?

Soluzione :

Trasformo la temperatura in gradi centigradi sapendo che tra i gradi centigradi e i gradi Fahrenheit esiste la seguente relazione :  $^\circ\text{F} = 9/5 \text{ }^\circ\text{C} + 32$   $^\circ\text{C} = (\text{ }^\circ\text{F} - 32) 5/9 = (23 - 32) 5/9 = -5^\circ\text{C}$

Quindi dato che la temperatura esterna è minore della temperatura di rugiada ( $-5^\circ\text{C} < -2^\circ\text{C}$ ) il pilota dovrà accendere l'impianto anti-icing per prevenire la formazione di ghiaccio che può essere pericolosa per il volo.

////////////////////////////////////

Es. 10. Volando verso Est in presenza di vento di scirocco di intensità  $v' = 25$  Kts, quanto sarà la diminuzione della velocità rispetto al terreno mantenendo sempre la rotta verso Est.

Soluzione :

trasformo l'intensità del vento in m/s :  $25 \times 1,852 = 46,3$ Km/h : 3,6 = 12,86 m/s

Volando verso Est si procede in direzione  $90^\circ$ , il vento di scirocco proviene, per definizione, da Sud-Est quindi da  $135^\circ$ .

L'angolo tra la direzione di volo e la direzione del vento risulta uguale a  $135^\circ - 90^\circ = 45^\circ$  quindi la diminuzione di velocità rispetto al terreno risulta  $v' \cos 45^\circ = 12,86 \cos 45^\circ = 9,09$  m/s

////////////////////////////////////

## Capitolo 2

**SOSTENTAZIONE STATICA****Esercizi proposti**

Esercizio 1 : Calcolare a che temperatura in gradi centigradi bisogna riscaldare l'aria interna di una Mongolfiera per ottenere una portanza statica  $P_s = 8000 \text{ N}$  a quota  $Z = 0$  in aria tipo supponendo valida la condizione omobarica e conoscendo il raggio dell'involucro  $r = 8 \text{ m}$  considerandolo una sfera.

Esercizio 2 : Per un aerostato avente le seguenti caratteristiche:

Peso totale..... $Q = 10000 \text{ N}$

Volume a disposizione del gas..... $V = 1900 \text{ m}^3$

Gas di riempimento He al 95%

Calcolare a quota zero in aria tipo la Portanza Statica e l'accelerazione con cui si stacca da terra.

Esercizio 3 : Per un aerostato avente le seguenti caratteristiche:

Peso totale..... $Q = 1500 \text{ N}$

Volume a disposizione del gas..... $V = 200 \text{ m}^3$

Gas di riempimento He al 95%

Calcolare il peso che deve avere la zavorra affinché il pallone si stacchi da terra con un'accelerazione pari ad  $a = 1,8 \text{ m/s}^2$

Esercizio 4 : Supponendo che per riscaldare l'aria interna di una mongolfiera a  $Z = 0$  siano necessari  $115 \text{ }^\circ\text{C}$ , calcolare la Portanza Statica sviluppata in condizioni omobariche nell'ipotesi che l'ascensione avvenga in una giornata estiva con temperatura esterna a quota zero  $t = 30 \text{ }^\circ\text{C}$  e con pressione  $P = 1013 \text{ hPa}$

Raggio della mongolfiera  $r = 7 \text{ m}$

Esercizio 5 : Un aerostato riempito ad He al 95% ha un volume massimo  $V_{\max} = 2500 \text{ m}^3$  e peso  $Q = 20000 \text{ N}$ , sta compiendo un'ascensione in condizioni ideali (omobariche e omoterliche). Calcolare la quota di tangenza.

Esercizio 6 : Un aerostato ad idrogeno al 95% del peso  $Q = 20000 \text{ N}$ , volume minimo  $V_{\min} = 2400 \text{ m}^3$  sale in condizioni omobariche e omoterliche. Conoscendo il grado di riempimento a quota zero pari a 0,3. Determinare il peso della zavorra da sistemare a bordo per avere un'accelerazione al momento della partenza  $a = 1,5 \text{ m/s}^2$

Calcolare inoltre la quota di pienezza e la quota di tangenza sapendo che tra le due quote viene eliminata tutta la zavorra.

**Soluzione esercizi proposti**

*Es. 1 Calcolare a che temperatura in gradi centigradi bisogna riscaldare l'aria interna di una Mongolfiera per ottenere una portanza statica  $P_s = 8000 \text{ N}$  a quota  $Z = 0$  in aria tipo supponendo valida la condizione omobarica e conoscendo il raggio dell'involucro  $r = 8 \text{ m}$  considerandolo una sfera.*

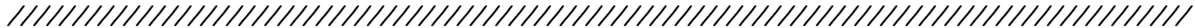
Soluzione :

le condizioni ambientali sono quelle di  $Z = 0$  aria tipo quindi Pressione  $P = 101325 \text{ N/m}^2$  e peso specifico  $\gamma_0 = 12,02 \text{ N/m}^3$

Calcolo il volume della mongolfiera (sfera)  $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \pi \cdot 8^3 = 2144,6 \text{ m}^3$

dato che la Portanza statica  $P_s = V(\gamma_e - \gamma_i)$  ricavo gamma interno  $\gamma_i = \gamma_e - \frac{P_s}{V} = 8,289 \text{ N/m}^3$

tramite l'equazione dei gas perfetti ricavo la temperatura interna  $T_i = \frac{P}{R\gamma_i} = 417,6 \text{ }^\circ\text{K} = 144,6 \text{ }^\circ\text{C}$



*Es. 2 Per un aerostato avente le seguenti caratteristiche:*

*Peso totale.....Q = 10000 N*

*Volume a disposizione del gas.....V = 1900 m<sup>3</sup>*

*Gas di riempimento He al 95%*

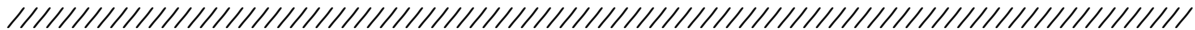
*Calcolare a quota zero in aria tipo la Portanza Statica e l'accelerazione con cui si stacca da terra.*

Soluzione :

le condizioni ambientali sono quelle di quota zero aria tipo, e il gas di riempimento è He al 95% quindi il suo peso specifico come evidenziato in tabella di pag.35 è  $\gamma' = 2,187 \text{ N/m}^3$  Calcolo la portanza statica

$$P_s = V(\gamma - \gamma') = 1900(12,02 - 2,187) = 18682,7 \text{ N}$$

l'accelerazione al momento della partenza è  $a = \frac{P_s - Q}{Q} g = \frac{18682,7 - 10000}{10000} 9,81 = 8,52 \text{ m/s}^2$



*Es. 3 Per un aerostato avente le seguenti caratteristiche:*

*Peso totale.....Q = 1500 N*

*Volume a disposizione del gas.....V = 200 m<sup>3</sup>*

*Gas di riempimento He al 95%*

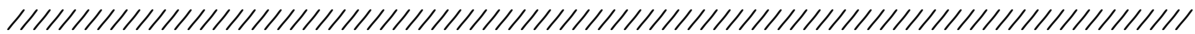
*Calcolare il peso che deve avere la zavorra affinché il pallone si stacchi da terra con un'accelerazione pari ad a = 1,8 m/s<sup>2</sup>*

Soluzione :

stesse condizioni dell'esercizio precedente, calcolo la portanza statica  $P_s = 1966,6 \text{ N}$  dato che conosciamo l'accelerazione al momento della partenza, determino il peso totale

$$Q_{Tot.} = \frac{P_s}{1 + \frac{a}{g}} = 1661,7 \text{ N}$$

e quindi il peso della zavorra sarà  $Q_{Zav.} = 1661,7 - 1500 = 161,7 \text{ N}$



*Es. 4 Supponendo che per riscaldare l'aria interna di una mongolfiera a Z = 0 siano necessari 115 °C, calcolare la Portanza Statica sviluppata in condizioni omobariche nell'ipotesi che l'ascensione avvenga in una giornata estiva con temperatura esterna a quota zero t = 30 °C e con pressione P = 1013 hPa  
Raggio della mongolfiera r = 7 m*

Soluzione :

calcolo il peso specifico dell'aria esterna  $\gamma_e = \frac{P_e}{RT_e} = \frac{101300}{29,27 \cdot 303} = 11,42 \text{ N/m}^3$

calcolo il peso specifico dell'aria interna  $\gamma_i = \frac{P_i}{RT_i} = \frac{101300}{29,27 \cdot 388} = 8,919 \text{ N/m}^3$

calcolo il volume della mongolfiera (sfera)  $V = 1436,75 \text{ m}^3$

quindi la portanza statica è  $P_s = V(\gamma_e - \gamma_i) = 3593 \text{ N}$

////////////////////////////////////

*Es. 5 Un aerostato riempito ad He al 95% ha un volume massimo  $V_{max} = 2500 \text{ m}^3$  e peso  $Q = 20000 \text{ N}$ , sta compiendo un'ascensione in condizioni ideali (omobariche e omotermiche). Calcolare la quota di tangenza.*

Soluzione :

dato che questo aerostato parte completamente pieno di gas, la quota di Pienezza corrisponde alla quota di decollo ( $Z = 0$ ) quindi la quota di Tangenza la determino imponendo l'equilibrio tra  $P_s$  e peso da cui ricavo il peso specifico dell'aria esterna e successivamente la quota  $Z_t$

$$\text{peso specifico aria } \gamma = \frac{Q}{V} + \gamma' = \frac{20000}{2500} + 2,187 = 10,187 \text{ N/m}^3$$

$$\text{quindi la quota di tangenza risulta } Z_t = \frac{1 - 4,256 \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma_o}}}{0,0000226} = 1687 \text{ m}$$

////////////////////////////////////

*Es. 6 Un aerostato ad idrogeno al 95% del peso  $Q = 20000 \text{ N}$ , volume minimo  $V_{min} = 2400 \text{ m}^3$  sale in condizioni omobariche e omotermiche. Conoscendo il grado di riempimento a quota zero pari a 0,3. Determinare il peso della zavorra da sistemare a bordo per avere un'accelerazione al momento della partenza  $a = 1,5 \text{ m/s}^2$ . Calcolare inoltre la quota di pienezza e la quota di tangenza sapendo che tra le due quote viene eliminata tutta la zavorra.*

Soluzione :

dato che la quota di Pienezza dipende solo dal grado di riempimento a quota  $Z = 0$  risulta  $Z_p = 10902 \text{ m}$  determino il peso totale per decollare con  $a = 1,5 \text{ m/s}^2$

La Portanza Statica al decollo è  $P_s = V_{min}(\gamma_o - \gamma') = 25411 \text{ N}$

$$Q_{Tot} = \frac{P_s}{1 + \frac{a}{g}} = 22041 \text{ N}$$

e quindi il peso della zavorra  $Q_{ZAV} = 22041 - 20000 = 2041 \text{ N}$

calcolo il peso specifico del gas alla quota di pienezza  $\gamma'_{Zp} = \gamma_o' \cdot (1 - 0,0000226 \cdot Z_p)^{4,256} = 0,429 \text{ N/m}^3$

il volume massimo  $V_{max} = V_{min}/0,3 = 8000 \text{ m}^3$

determino quindi la quota di tangenza con la formula di pag. 38  $Z_t = 12492 \text{ m}$



### Capitolo 3

## DINAMICA DEI FLUIDI

### Esercizi proposti

Esercizio 1 :Un tubo di Pitot è montato su un velivolo che vola a quota  $Z = 1500$  m. Il tubo è collegato ad un manometro differenziale contenente Mercurio e la differenza di livello rilevata  $h = 12,5$  cm. Calcolare la velocità del velivolo in Km/h relativa all'aria. Calcolare inoltre la pressione dinamica.

Esercizio 2 : In un condotto avente diametro  $D_1 = 200$  mm scorre dell'acqua. Nel condotto viene posto un tubo di venturi la cui strozzatura ha un diametro  $D_2 = 100$  mm. Sapendo che la pressione statica dell'acqua nel condotto è  $P_1 = 400$  mmHg e nella strozzatura è  $P_2 = 300$  mmHg determinare la velocità dell'acqua nel condotto.

Esercizio 3 : In un condotto del diametro  $D_1 = 150$  mm scorre dell'acqua alla velocità  $V_1 = 4$  m/s. Il condotto termina con una strozzatura, calcolare il diametro  $D_2$  della strozzatura in modo che l'acqua esca con la velocità  $V_2 = 15$  m/s. Se la pressione statica all'interno del condotto è  $P_1 = 900$  mmHg, calcolare la pressione statica  $P_2$ .

Esercizio 4 : Un tubo di Venturi, posto a quota zero in aria tipo, è investito da una corrente d'aria alla velocità  $V_1 = 21,91$  m/s. Calcolare la lunghezza del tratto convergente sapendo che nella sezione ristretta  $D_2 = 100$  mm  $P_2 = 100000$  N/m<sup>2</sup> e il dislivello  $h = 10$  cm. Calcolare inoltre la pressione statica  $P_1$ .

### Soluzione esercizi proposti

*Es. 1 Un tubo di Pitot è montato su un velivolo che vola a quota  $Z = 1500$  m. Il tubo è collegato ad un manometro differenziale contenente Mercurio e la differenza di livello rilevata  $h = 12,5$  cm. Calcolare la velocità del velivolo in Km/h relativa all'aria. Calcolare inoltre la pressione dinamica.*

Soluzione :

alla quota  $Z = 1500$  m la densità è  $\rho = 1,058$  Kg/m<sup>3</sup>

il peso specifico del Mercurio lo considero  $\gamma_{Hg} = 13,32 \cdot 10^4$  N/m<sup>3</sup>

quindi con la formula ricavata per il tubo di Pitot ricavo la velocità :

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma_{Hg} \cdot h}{\rho}} = 177,41 \text{ m/s} = 639 \text{ Km/h}$$

la pressione dinamica è  $P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 = 16650 \text{ N/m}^2$

////////////////////////////////////

*Es. 2 In un condotto avente diametro  $D_1 = 200$  mm scorre dell'acqua. Nel condotto viene posto un tubo di venturi la cui strozzatura ha un diametro  $D_2 = 100$  mm. Sapendo che la pressione statica dell'acqua nel condotto è  $P_1 = 400$  mmHg e nella strozzatura è  $P_2 = 300$  mmHg determinare la velocità dell'acqua nel condotto.*

Soluzione :

la densità dell'acqua è  $\rho_{H2O} = 1000 \text{ Kg/m}^3$

calcolo l'area  $A_1 = 0,0314 \text{ m}^2$

calcolo l'area  $A_2 = 0,00785 \text{ m}^2$

trasformo le pressioni da mmHg a  $\text{N/m}^2$

$101325 : 760 = P_1 : 400$  da cui  $P_1 = 53329 \text{ N/m}^2$

$101325 : 760 = P_2 : 300$  da cui  $P_2 = 39997 \text{ N/m}^2$

con la formula del tubo di Venturi calcolo la velocità dell'acqua nel condotto :

$$V_1 = \frac{\sqrt{2(P_1 - P_2)}}{\sqrt{\rho_{H2O} \left[ \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]}} = 1,34 \text{ m/s}$$

Per la LEGGE DI CONTINUITA', mi calcolo la  $V_2$ :

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$V_2 = A_1 \cdot V_1 / A_2 = 5,36 \text{ m/s}$$

//

*Es. 3 In un condotto del diametro  $D_1 = 150 \text{ mm}$  scorre dell'acqua alla velocità  $V_1 = 4 \text{ m/s}$  Il condotto termina con una strozzatura, calcolare il diametro  $D_2$  della strozzatura in modo che l'acqua esca con la velocità  $V_2 = 15 \text{ m/s}$ . Se la pressione statica all'interno del condotto è  $P_1 = 900 \text{ mmHg}$ , calcolare la pressione statica  $P_2$ .*

Soluzione :

calcolo l'area  $A_1 = 0,0117 \text{ m}^2$

dalla legge della continuità  $A_1 V_1 = A_2 V_2$  ricavo  $A_2 = 0,00472 \text{ m}^2$  da cui il diametro  $D_2 = 0,0775 \text{ m} = 77,5 \text{ mm}$

trasformo la pressione  $P_1$  in  $\text{N/m}^2$   $101325 : 760 = P_1 : 900$  da cui  $P_1 = 119990 \text{ N/m}^2$

dal teorema di Bernoulli  $P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (V_2^2 - V_1^2)$  da cui ricavo  $P_2 = 15490 \text{ N/m}^2$

che trasformo in mmHg  $101325 : 760 = 15490 : P_2$   $P_2 = 116,18 \text{ mmHg}$

//

*Es. 4 Un tubo di Venturi, posto a quota zero in aria tipo, è investito da una corrente d'aria alla velocità  $V_1 = 21,91 \text{ m/s}$ . Calcolare la lunghezza del tratto convergente sapendo che nella sezione ristretta  $D_2 = 100 \text{ mm}$   $P_2 = 100000 \text{ N/m}^2$  e il dislivello  $h = 10 \text{ cm}$ . Calcolare inoltre la pressione statica  $P_1$ .*

Soluzione :

calcolo l'area  $A_2 = 0,00785 \text{ m}^2$

sapendo che  $P_1 - P_2 = \gamma_{Hg} \cdot h$  ricavo  $P_1 = 113320 \text{ N/m}^2$



## Capitolo 4

# RESISTENZA AERODINAMICA

### Esercizi proposti

Esercizio 1 : Calcolare il valore della resistenza di profilo dei corpi della fig. 4-3 conoscendo il diametro della sezione maestra  $d = 500$  mm, la velocità  $V = 80$  Km/h e le condizioni ambientali di quota zero in aria tipo.

Esercizio 2 : Calcolare la velocità di discesa a quota zero in aria tipo di un paracadute conoscendo i seguenti dati : peso complessivo paracadute più uomo  $Q = 1100$  N paracadute assimilabile ad una calotta sferica avente raggio  $r = 5$  m

Esercizio 3 : Una capsula spaziale rientrando nell'atmosfera apre il paracadute principale alla quota  $Z = 5000$  m. questo frena la capsula fino a farle raggiungere una velocità di impatto sul mare  $V = 20$  Km/h Conoscendo il peso della capsula più il paracadute  $Q = 10000$  N calcolare:

- a) la superficie in pianta del paracadute, assimilato ad una calotta sferica;
- b) il raggio della calotta sferica
- c) il diagramma che esprime la legge della velocità di caduta in funzione della quota;
- d) la decelerazione massima, tenendo conto che la velocità prima del paracadute principale è  $V_1 = 750$  Km/h nell'ipotesi che alla quota  $Z_1 = 6000$  m si apra un piccolo paracadute stabilizzatore avente superficie  $S = 12$  mq

Esercizio 4 : Una lamina piana è investita parallelamente da una corrente d'aria alla velocità  $V = 200$  Km/h nelle condizioni di quota zero in aria tipo. Conoscendo la corda  $l = 350$  mm e l'apertura  $b = 3,5$  m calcolare il punto di transizione tra il regime laminare e turbolento e la resistenza d'attrito.

### Soluzione esercizi proposti

*Es. 1 Calcolare il valore della resistenza di profilo dei corpi della fig. 4-3 conoscendo il diametro della sezione maestra  $d = 500$  mm, la velocità  $V = 80$  Km/h e le condizioni ambientali di quota zero in aria tipo.*

Soluzione : calcolo la superficie della sezione maestra  $S = 0,196$  m<sup>2</sup>  
 $V = 80$  Km/h = 22,23 m/s      condizioni quota zero aria tipo densità  $\rho_o = 1,225$  Kg/m<sup>3</sup>

la resistenza di profilo si calcola  $R_o = \frac{1}{2} \rho_o V^2 C_{ro} S = 59,32 C_{ro}$  in base alla tabella di fig. 4-3 ricavo i  $C_{ro}$  dei corpi e calcolo  $R_o$ :

LASTRA PIANA.....	$C_{ro} = 0,95$	$R_o = 56,36$ N
CILINDRO.....	$C_{ro} = 0,6$	$R_o = 35,60$ N
SFERA.....	$C_{ro} = 0,29$	$R_o = 17,20$ N
SEMISFERA CONCAVA.....	$C_{ro} = 1,15$	$R_o = 68,22$ N
SEMISFERA CONVESSA.....	$C_{ro} = 0,33$	$R_o = 19,58$ N
CORPO AFFUSOLATO.....	$C_{ro} = 0,055$	$R_o = 3,26$ N

////////////////////////////////////

*Es. 2 Calcolare la velocità di discesa a quota zero in aria tipo di un paracadute conoscendo i seguenti dati : peso complessivo paracadute più uomo  $Q = 1100$  N paracadute assimilabile ad una calotta sferica avente raggio  $r = 5$  m*

Soluzione : calcolo la superficie in pianta del paracadute  $S = 78,54$  m<sup>2</sup>  
 dalla condizione di equilibrio in discesa  $Q = R_0$  considerando la calotta sferica = emisfero concava ,  
 dalla fig. 4-3  $C_{r0} = 1,15$  ricavo la velocità

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho_0 \cdot S \cdot C_{r0}}} = 4,46 \text{ m/s} = 16 \text{ km/h}$$

////////////////////////////////////

*Es. 3 Una capsula spaziale rientrando nell'atmosfera apre il paracadute principale alla quota  $Z = 5000$  m. questo frena la capsula fino a farle raggiungere una velocità di impatto sul mare  $V = 20$  Km/h. Conoscendo il peso della capsula più il paracadute  $Q = 10000$  N calcolare:*

- a) la superficie in pianta del paracadute, assimilato ad una calotta sferica;*
- b) il raggio della calotta sferica*
- c) il diagramma che esprime la legge della velocità di caduta in funzione della quota;*
- d) la decelerazione massima, tenendo conto che la velocità prima del paracadute principale è  $V_1 = 750$  Km/h nell'ipotesi che alla quota  $Z_1 = 6000$  m si apra un piccolo paracadute stabilizzatore avente superficie  $S = 12$  mq*

Soluzione :  
 $V = 20$  Km/h = 5,55 m/s quota zero in aria tipo  
 dalla condizione di equilibrio in discesa  $Q = R_0$  considerando il paracadute = emisfero concava , dalla  
 fig. 4-3  $C_{r0} = 1,15$  ricavo la superficie

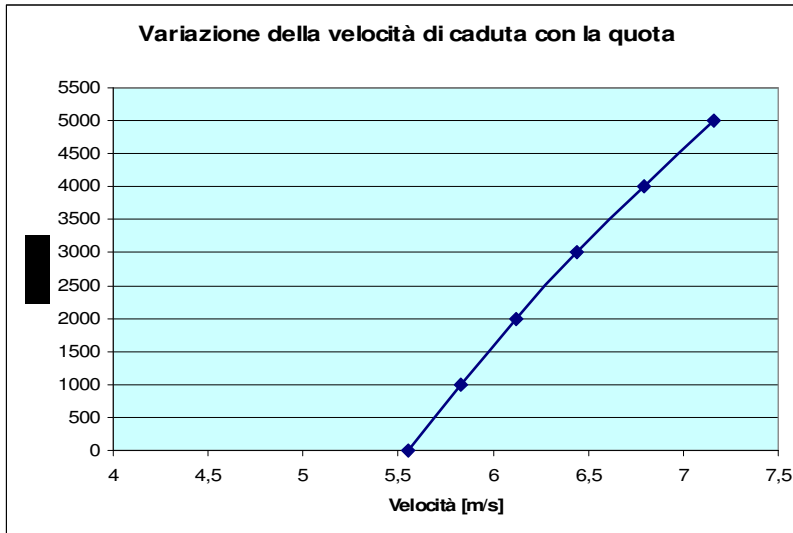
$$S = \frac{2 \cdot Q}{\rho_0 \cdot C_{r0} \cdot V^2} = 461 \text{ m}^2$$

e quindi il raggio della calotta sferica  $r = 12$  m

Per tracciare il diagramma che esprime la legge della velocità di caduta in funzione della quota compilo la seguente tabella ricavando la velocità dalla condizione di equilibrio in discesa  $Q = R_0$  considerando la calotta sferica = emisfero concava , dalla fig. 4-3  $C_{r0} = 1,15$

QUOTA Z [m]	DENSITA' $\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	VELOCITA' V [m/s]
5000	0,735	7,16
4000	0,818	6,79
3000	0,909	6,44
2000	1,006	6,12
1000	1,111	5,83
0	1,225	5,55

Il grafico è il seguente :



$V_1 = 750 \text{ Km/h} = 208,3 \text{ m/s}$  a  $Z_1 = 6000 \text{ m}$  senza paracadute  
 con paracadute di  $S = 12 \text{ m}^2$  la velocità risulta

$$V_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho_{6000} \cdot S \cdot C_{r_0}}} = 46,69 \text{ m/s}$$

ipotizzando un tempo di apertura paracadute  $t = 10 \text{ sec}$  ricavo la decelerazione

$$a = \frac{\Delta V}{t} = \frac{208,3 - 46,9}{10} = 16 \text{ m/s}^2 = 1,6 \text{ g}$$

////////////////////////////////////

*Es. 4 Una lamina piana è investita parallelamente da una corrente d'aria alla velocità  $V = 200 \text{ Km/h}$  nelle condizioni di quota zero in aria tipo. Conoscendo la corda  $l = 350 \text{ mm}$  e l'apertura  $b = 3,5 \text{ m}$  calcolare il punto di transizione tra il regime laminare e turbolento e la resistenza d'attrito.*

Soluzione :

$V = 200 \text{ Km/h} = 55,5 \text{ m/s}$  calcolo la superficie della lamina  $S = b \cdot l = 1,225 \text{ m}^2$   
 sapendo che il n° di Reynolds critico della lamina piana è  $Re_{cr} = 10^5$  e che il coefficiente di viscosità cinematica è  $\nu = 14,5 \cdot 10^{-6}$  (vedi fig.4-4) calcolo il punto di transizione

$$X_{tr} = \frac{\nu \cdot Re_{cr}}{V} = \frac{14,5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5}{55,5} = 0,0261 \text{ m} = 261 \text{ mm}$$

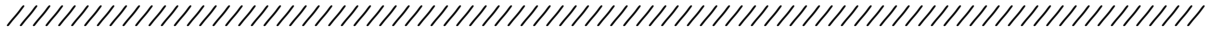
in percentuale della corda  $X_{tr}/l = 7,46\%$

calcolo ora il n° di Reynolds  $Re = \frac{V \cdot l}{\nu} = \frac{55,5 \cdot 0,35}{14,5 \cdot 10^{-6}} = 1,34 \cdot 10^6$

Dal grafico di pag. 75 entrando con  $Re = 1,34 \cdot 10^6$  in corrispondenza della linea di transizione  $7,46 \%$  ottengo  $C_{r_{att}} = 0,0045$

e quindi posso calcolare la resistenza d'attrito

$$R_{att} = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 \cdot V^2 \cdot C_{r_{att}} \cdot S = 10,4 \text{ N}$$



Capitolo 5

**SOSTENTAZIONE DINAMICA**

**Esercizi Proposti**

Esercizio 1 : Un ala avente profilo NACA 2412 vola alla quota  $Z = 2000$  m ad una velocità corrispondente a numero di Mach  $M = 0,285$  ed angolo di incidenza  $\alpha = 3^\circ$

DATI :

Apertura alare..... $b = 8,5$  m  
 Superficie alare ..... $S = 11$  mq  
 Coefficiente angolare di portanza del profilo..... $Cp'_\infty = 5,07$  1/rad  
 Angolo di portanza nulla..... $\alpha_0 = -2^\circ$   
 Coefficiente di resistenza di profilo..... $Cro = 0,009$   
 Coefficiente di momento focale..... $Cmo = -0,03$

CALCOLARE

La Portanza, la Resistenza, l'Efficienza e il momento Aerodinamico rispetto al bordo d'attacco.

Esercizio 2 : Conoscendo le caratteristiche aerodinamiche dell'ala del velivolo SIAI SF-260 (fig. 5-23), calcolare e tracciare il grafico polare dell'ala e il diagramma dell'efficienza in funzione del coefficiente di portanza.

DATI

Apertura alare..... $b = 8,35$  m  
 Superficie alare ..... $S = 10,1$  mq  
 Coefficiente di resistenza di profilo..... $Cro = 0,019$   
 Coefficiente di portanza massimo..... $Cp \text{ max} = 1,5$

Esercizio 3 : Un velivolo avente ala a pianta rettangolare vola alla quota  $Z = 1000$  m in aria tipo ad un assetto corrispondente a efficienza  $E = 10$

Conoscendo le caratteristiche aerodinamiche dell'ala, calcolare la portanza e la resistenza.

DATI

Velocità di volo..... $V = 250$  Km/h  
 Apertura alare..... $b = 15$  m  
 Corda alare..... $l = 1,2$  m  
 Coefficiente di resistenza di profilo..... $Cro = 0,015$   
 Coefficiente di portanza massimo..... $Cp \text{ max} = 1,6$

Esercizio 4 : Da una esperienza in galleria aerodinamica, su un modello d'ala a pianta trapezia dalle caratteristiche sottoriportate, si sono ricavati i valori di portanza e di resistenza in funzione dell'angolo di incidenza :

Alfa [°]	P [N]	R [N]
-2	1	8
-1	31	7,9
0	79	7,3
2	155	10,2



4	236	15,4
6	313	22,8
8	386	32,8
10	455	45,9
12	504	61,9
14	510	72,8
16	503	84,8

Dati del modello :

Apertura alare.....b = 2 m  
 Corda alla radice.....lo = 60 cm  
 Corda all'estremità.....le = 40 cm

Caratteristiche del fluido in camera di prova :

Temperatura.....t = 19 °C  
 Pressione.....P = 750 mmHg  
 Velocità.....V = 90 Km/h

Tracciare i diagrammi del coefficiente di portanza e del coefficiente di resistenza in funzione dell'angolo di incidenza, nonché la polare.

**Soluzione esercizi proposti**

*Es. 1 Un ala avente profilo NACA 2412 vola alla quota Z = 2000 m ad una velocità corrispondente a numero di Mach M = 0,285 ed angolo di incidenza  $\alpha = 3^\circ$*

*DATI :*

Apertura alare.....b = 8,5 m  
 Superficie alare .....S = 11 m<sup>2</sup>  
 Coefficiente angolare di portanza del profilo.....Cp'<sub>∞</sub> = 5,07 1/rad  
 Angolo di portanza nulla.....α<sub>0</sub> = -2°  
 Coefficiente di resistenza di profilo.....Cro = 0,009  
 Coefficiente di momento focale.....Cmo = -0,03

*CALCOLARE*

*La Portanza, la Resistenza, l'Efficienza e il momento Aerodinamico rispetto al bordo d'attacco.*

Soluzione :

alla quota Z = 2000 m   ρ = 1,006 Kg/m<sup>3</sup>   t = 2 °C   velocità del suono c = 332,49 m/s  
 sapendo che il numero di Mach M = 0,285   calcolo la velocità V = M c = 94,76 m/s

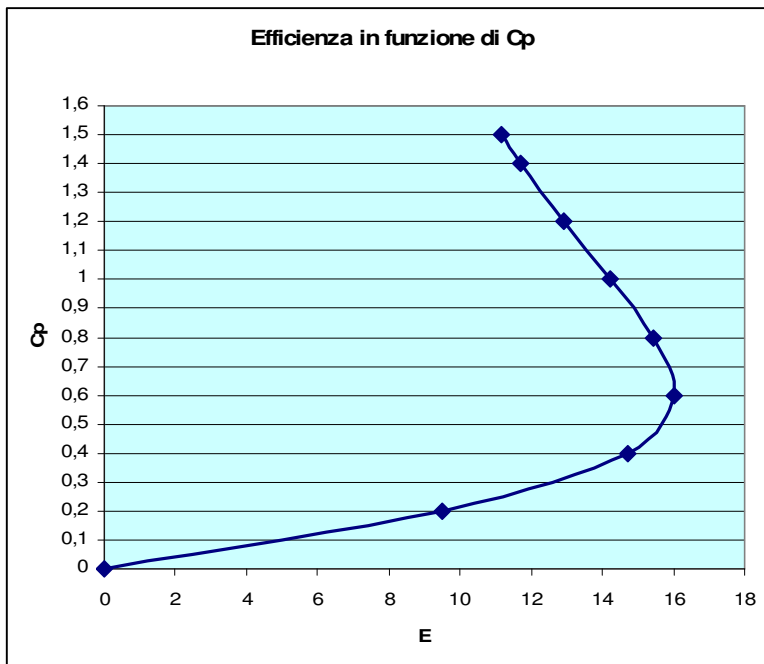
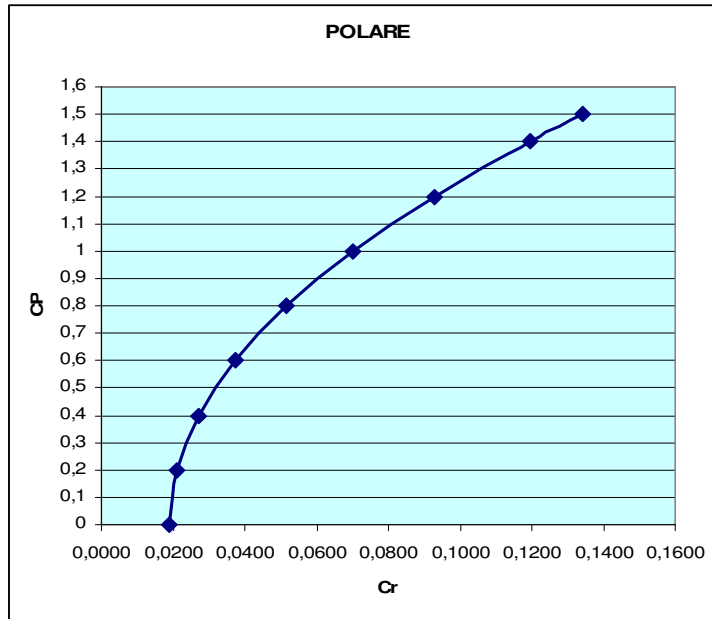
calcolo l'allungamento alare    $\lambda = \frac{b^2}{S} = 6,57$    e quindi il coefficiente angolare di portanza

dell'ala   
$$Cp' = \frac{Cp'_{\infty}}{1 + \frac{Cp'_{\infty}}{e \cdot \pi \cdot \lambda}} = 3,98 \text{ 1/rad}$$
   dove e = 0,9 coefficiente di Ostwald



1,4	0,1195	11,71
1,5	0,1344	11,16

Posso ora tracciare i grafici



Es. 3 Un velivolo avente ala a pianta rettangolare vola alla quota  $Z = 1000$  m in aria tipo ad un assetto corrispondente a efficienza  $E = 10$   
 Conoscendo le caratteristiche aerodinamiche dell'ala, calcolare la portanza e la resistenza.

**DATI**

- Velocità di volo.....  $V = 250$  Km/h
- Apertura alare.....  $b = 15$  m
- Corda alare.....  $l = 1,2$  m
- Coefficiente di resistenza di profilo.....  $C_{r0} = 0,015$
- Coefficiente di portanza massimo.....  $C_{p \max} = 1,6$

Soluzione :

alla quota  $Z = 1000$  m  $\rho = 1,111$  Kg/m<sup>3</sup>  $V = 250$  Km/h =  $69,44$  m/s

calcolo l'allungamento alare  $\lambda = \frac{b^2}{S} = 12,5$

per calcolare  $C_p$  imposto il seguente sistema

$$C_r = C_{r0} + \frac{C_p^2}{e \cdot \pi \cdot \lambda}$$

$$E = \frac{C_p}{C_r}$$

da cui ricavo due valori di  $C_p$  e precisamente  $C_{p1} = 35,15$  (da scartare perchè  $> C_{p \max}$ ) e  $C_{p2} = 0,176$

quindi PORTANZA  $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_p \cdot S = 8486$  N

il relativo  $C_r = C_p/E = 0,176/10 = 0,0176$

quindi RESISTENZA  $R = P/E = 8486/10 = 848,6$  N

////////////////////////////////////

Es. 4 Da una esperienza in galleria aerodinamica, su un modello d'ala a pianta trapezia dalle caratteristiche sottoriportate, si sono ricavati i valori di portanza e di resistenza in funzione dell'angolo di incidenza :

Alfa [°]	P [N]	R [N]
-2	1	8
-1	31	7,9
0	79	7,3
2	155	10,2
4	236	15,4
6	313	22,8
8	386	32,8
10	455	45,9

12	504	61,9
14	510	72,8
16	503	84,8

Dati del modello :

Apertura alare..... $b = 2 \text{ m}$   
 Corda alla radice..... $l_o = 60 \text{ cm}$   
 Corda all'estremità..... $l_e = 40 \text{ cm}$

Caratteristiche del fluido in camera di prova :

Temperatura..... $t = 19 \text{ }^\circ\text{C}$   
 Pressione..... $P = 750 \text{ mmHg}$   
 Velocità..... $V = 90 \text{ Km/h}$

Tracciare i diagrammi del coefficiente di portanza e del coefficiente di resistenza in funzione dell'angolo di incidenza, nonché la polare.

Soluzione :

conoscendo le caratteristiche geometriche del modello, calcolo la sua superficie alare  $S_m = 1 \text{ m}^2$

conoscendo le caratteristiche fisiche del fluido, calcolo la densità  $\rho = \frac{P}{g \cdot R \cdot T} = 1,192 \text{ Kg/m}^3$

$V = 90 \text{ Km/h} = 25 \text{ m/s}$  quindi posso ora ricavare il coefficiente di portanza

$$C_p = \frac{2 \cdot P}{\rho \cdot S \cdot V^2} = 0,00268 P$$

e il coefficiente di resistenza  $C_r = \frac{2 \cdot R}{\rho \cdot S \cdot V^2} = 0,00268 R$

ad ogni valore di P e di R nella tabella ricavo il relativo Cp e Cr e posso quindi ricavare i grafici richiesti.

Alfa [°]	P [N]	R [N]	Cp	Cr
-2	1	8		
-1	31	7,9		
0	79	7,3		
2	155	10,2		
4	236	15,4		
6	313	22,8		
8	386	32,8		
10	455	45,9		
12	504	61,9		
14	510	72,8		

16	503	84,8		
----	-----	------	--	--

////////////////////////////////////

Capitolo 6

**TEORIA CIRCOLATORIA DELLA PORTANZA**

**Esercizi Proposti**

Esercizio 1 : Calcolare e tracciare il diagramma polare secondo la formula di Prandtl, e il diagramma dell'efficienza in funzione del coefficiente di portanza, per un ala avente allungamento  $\lambda = 5,7$  coefficiente di resistenza di profilo  $C_{ro} = 0,0018$

Esercizio 2 : Calcolare e tracciare il diagramma polare secondo la formula di Prandtl, e il diagramma dell'efficienza in funzione del coefficiente di portanza, per un ala a pianta trapezia avente le seguenti caratteristiche: rapporto di rastremazione  $r = 0,6$ , corda alla radice alare  $l_0 = 2,3$  m, apertura alare  $b = 14,5$  m, allungamento alare effettivo  $\lambda_e = m, 0,92 \lambda$ , coefficiente di resistenza di profilo  $C_{ro} = 0,009$ , coefficiente di portanza massimo  $C_{pmax} = 1,6$

Esercizio 3 : In un'esperienza in galleria aerodinamica si sono ricavati, in funzione dell'angolo di incidenza, i seguenti valori (riportati in tabella) di portanza e resistenza per un modello di ala rettangolare avente apertura alare  $b_{modello} = 21$  cm e corda  $l_{modello} = 6,5$  cm. Calcolare e tracciare il diagramma polare sapendo che durante l'esperienza la pressione nella camera di prova è  $P = 720$  mmHg, la temperatura  $t = 18$  °C, e la velocità dell'aria  $V = 80$  Km/h

<b>P [N]</b>	0,28	0,75	1,5	2,29	3,05	3,76	4,44	4,92	4,98	4,92
<b>R [N]</b>	0,07	0,063	0,092	0,143	0,215	0,313	0,44	0,59	0,706	0,82
<b><math>\alpha</math> [°]</b>	-5	-3	0	3	6	9	12	14	16	18

Esercizio 4 : Un'ala trapezia avente le caratteristiche sotto riportate è investita dall'aria ad una velocità  $V = 590$  Km/h, ad un'incidenza  $\alpha = 4^\circ$ , mentre le condizioni ambientali sono : pressione  $P = 715$  mmHg, temperatura  $t = 10^\circ\text{C}$

**DATI**

Apertura alare..... $b = 22$  m  
 Corda alla radice..... $l_0 = 2,5$  m  
 Corda all'estremità..... $l_e = 1,3$  m  
 Coefficiente angolare di portanza del profilo..... $C_{p' \infty} = 5,1 \text{ 1/rad}$   
 Angolo di portanza nulla..... $\alpha_0 = -2^\circ$   
 Distanza interfocale ala - impennaggio..... $d = 5$  m

**CALCOLARE**

- a) la portanza sviluppata dall'ala
- b) la resistenza
- c) l'efficienza
- d) l'angolo di incidenza dell'impennaggio orizzontale.

Esercizio 5 : Determinare l'aumento di portanza in effetto suolo su un'ala che presenta le seguenti caratteristiche:

Apertura alare..... $b = 9,77$  m  
 Superficie alare..... $S = 11,9$  m<sup>2</sup>  
 Altezza da terra..... $h = 2$  m  
 Velocità di stallo..... $V_{st} = 58$  Kts  
 Peso del velivolo..... $Q = 10398$  N

## Capitolo 6 TEORIA CIRCOLATORIA DELLA PORTANZA

### 6.10 Soluzione esercizi proposti

Es. 1 .....

Soluzione :

Ipotizzo  $C_{p_{max}} = 1,6$  imposto la seguente tabella:

$C_p$	$C_r$
0	0,018
0,2	
0,4	
0,6	
0,8	
1	
1,2	
1,4	
1,6	

Calcolando il coefficiente di resistenza con la seguente formula  $C_r = C_{r_0} + \frac{C_p^2}{e \cdot \pi \cdot \lambda}$

Posso quindi tracciare il diagramma ( $C_p ; C_r$ )

////////////////////////////////////

Es. 2 .....

Soluzione :

Calcolo la superficie alare  $S = (l_o + l_e) b / 2 = 26,68 \text{ m}^2$  quindi posso calcolare

l'allungamento alare  $\lambda = \frac{b^2}{S} = 7,88$  e imposto la seguente tabella assumendo  $C_p$  variabile da 0 a

$C_{p_{max}}$  e calcolando i relativi  $C_r$  e la relativa Efficienza

$C_p$	$C_r$	$E$
0	0,009	0
0,2		
0,4		
0,6		
0,8		
1		
1,2		
1,4		
1,6		

Posso ora tracciare i grafici ( $C_p ; C_r$ ) e ( $C_p ; E$ )





Es. 3 .....

Soluzione:

Calcolo la superficie alare  $S = b l = 136,5 \text{ cm}^2 = 0,01365 \text{ m}^2$

calcolo la densità  $\rho = \frac{P}{g \cdot R \cdot T} = 1,149 \text{ Kg/m}^3$

$V = 80 \text{ Km/h} = 22,22 \text{ m/s}$  quindi posso ora ricavare il coefficiente di portanza

$$Cp = \frac{2 \cdot P}{\rho \cdot S \cdot V^2} = 0,258$$

e il coefficiente di resistenza  $Cr = \frac{2 \cdot R}{\rho \cdot S \cdot V^2} = 0,258$

ricavo quindi tutti i Cp e tutti i Cr e traccio il grafico (Cp ; Cr)



Es. 4 .....

Soluzione :

conoscendo le caratteristiche fisiche del fluido, calcolo la densità  $\rho = \frac{P}{g \cdot R \cdot T} = 1,173 \text{ Kg/m}^3$

$V = 590 \text{ Km/h} = 163,89 \text{ m/s}$  calcolo  $S = (l_o + l_e) b/2 = 41,8 \text{ m}^2$  l'allungamento alare  $\lambda = \frac{b^2}{S} = 11,58$

Calcolo ora il coefficiente angolare di portanza del profilo  $Cp' = \frac{Cp'_\infty}{1 + \frac{Cp'_\infty}{e\pi\lambda}} = 4,41 \text{ rad}^{-1}$

Calcolo il coefficiente di portanza  $Cp = Cp'(\alpha + |\alpha|) = 0,462$   $Cr = 0,0165$

Portanza  $P = \frac{1}{2} \rho V^2 Cp S = 304222 \text{ N}$  Resistenza  $R = \frac{1}{2} \rho V^2 Cr S = 10865 \text{ N}$

Efficienza  $E = 28$  Intensità vortice  $Iv = \frac{P}{\rho V} = 1582 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocità indotta  $Vi = \frac{Iv}{2\pi d^2} = 10,07 \text{ m/s}$  Incidenza indotta  $\alpha_i = \arctg \frac{Vi}{V} = 3,52^\circ$

e infine l'angolo di incidenza dell'impennaggio orizzontale  $\alpha_c = \alpha_{ala} - \alpha_i = 0,48^\circ$



Es. 5 .....

Soluzione :

$$V = 58 \text{ Kts} = 29,84 \text{ m/s} \quad \text{calcolo } C_p = \frac{2Q}{\rho S V^2} = 1,6 \quad \text{l'allungamento alare } \lambda = \frac{b^2}{S} = 8,02$$

$$\text{Corda media } l_m = \frac{S}{b} = 1,218 \text{ m} \quad \text{l'aumento di } C_p \text{ in effetto suolo è } \Delta C_p = \frac{C_p}{4\lambda} \left(1 + \frac{l}{2h}\right)^2 = 0,0848$$

$$\text{Quindi l'aumento di portanza in effetto suolo è } \Delta P = \frac{1}{2} \rho V^2 \Delta C_p S = 550,359 \text{ N}$$

## Capitolo 7

**DISPOSITIVI IPERSOSTENTATORI****Esercizi proposti**

Esercizio 1 : Conoscendo i dati del velivolo Boeing 707, determinare, a quota zero in aria tipo, la velocità di stallo con e senza ipersostentatori.

## DATI

Peso massimo all'atterraggio..... $Q = 1098720 \text{ N}$   
 Superficie alare..... $S = 280 \text{ m}^2$   
 Coefficiente di portanza massimo senza flap..... $C_p \text{ max} = 1,4$   
 Coefficiente di portanza massimo con flap completamente aperti..... $C_p \text{ max flap} = 2,4$

Esercizio 2 : Determinare l'aumento di resistenza provocato dalla deflessione dei flap tipo Fowler (angolo di deflessione =  $40^\circ$ ) sul velivolo dell'esercizio n° 1

Esercizio 3 : Conoscendo i dati del velivolo SIAI SF 260, determinare, a quota 2500 ft in aria tipo, la velocità di stallo in nodi con e senza ipersostentatori.

## DATI

Peso massimo all'atterraggio..... $Q = 11700 \text{ N}$   
 Superficie alare..... $S = 10,1 \text{ m}^2$   
 Coefficiente di portanza massimo senza flap..... $C_p \text{ max} = 1,5$   
 Coefficiente di portanza massimo con flap completamente aperti..... $C_p \text{ max flap} = 2,4$

Esercizio 4 : Conoscendo le caratteristiche del velivolo Aermacchi MB 326 : peso  $Q = 45350 \text{ N}$ , superficie alare  $S = 19,35 \text{ m}^2$ , apertura alare  $b = 10,56 \text{ m}$ , flap di tipo aletta di curvatura a fessura che si abbassano in decollo con  $\epsilon = 28^\circ$  e in atterraggio con  $\epsilon = 64^\circ$

Le caratteristiche aerodinamiche sono le seguenti :

Flap chiusi..... $C_p' = 4 \text{ 1/rad}$ ..... $\alpha_0 = -2^\circ$ ..... $C_{p\text{max}} = 1,5$   
 Flap in decollo (.....=  $28^\circ$ )..... $C_p' = 4,3 \text{ 1/rad}$ ..... $\alpha_0 = -2,2^\circ$   
 Flap in atterraggio (.....=  $64^\circ$ )..... $C_p' = 5 \text{ 1/rad}$ ..... $\alpha_0 = -3^\circ$ ..... $V_{st} = 146 \text{ Km/h}$   
 Sapendo inoltre che la velocità di decollo  $V_{dec} = 1,2 V_{st}(28^\circ) = 55,32 \text{ m/s}$  e che la velocità di avvicinamento per l'atterraggio è  $V_{ref} = 1,3 V_{st}(64^\circ)$  :

## CALCOLARE

- il coefficiente di portanza massimo con flap a  $28^\circ$
- il coefficiente di portanza massimo con flap a  $64^\circ$
- l'aumento di resistenza in decollo con flap a  $28^\circ$
- l'aumento di resistenza in atterraggio con flap a  $64^\circ$
- Tracciare il grafico ( $C_p$  ;  $\alpha$ ) con flap chiusi, con flap a  $28^\circ$  e con flap a  $64^\circ$

**Soluzione esercizi proposti**

*Es. 1 Conoscendo i dati del velivolo Boeing 707.....*

Soluzione :

senza Flap 
$$V_{st} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot C_{p_{\text{max}}}}} = 67,64 \text{ m/s} = 243 \text{ Km/h}$$

con Flap  $V_{st_{ip}} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot C_{p_{max_{ip}}}}} = 51,66 \text{ m/s} = 186 \text{ Km/h}$

////////////////////////////////////

**Es. 2 Determinare l'aumento di resistenza.....**

Soluzione:

ipotizzo  $c/l = 0,25$  quindi  $\Delta C_r = 0,0075 \cdot 0,25 \cdot 40/57,3 = 0,0013$

$$\Delta R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \Delta C_r \cdot S = 100,67 \text{ N}$$

////////////////////////////////////

**Es. 3**

**Conoscendo i dati del velivolo SF 260.....**

Soluzione :

quota  $Z = 2500 \text{ ft} = 762 \text{ m}$  densità  $\rho = 1,137 \text{ Kg/mc}$

senza Flap  $V_{st} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot C_{p_{max}}}} = 36,86 \text{ m/s} = 133 \text{ Km/h} = 72 \text{ Kts}$

con Flap  $V_{st_{ip}} = \sqrt{\frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot C_{p_{max_{ip}}}}} = 29,14 \text{ m/s} = 105 \text{ Km/h} = 57 \text{ Kts}$

////////////////////////////////////

**Es. 4**

**Conoscendo le caratteristiche del velivolo Aermacchi MB 326 .....**

Soluzione :

$V_{st_{(28^\circ)}} = V_{dec}/1,2 = 46,1 \text{ m/s}$  quindi  $C_{p_{max_{(28^\circ)}}} = \frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot V_{st}^2} = 1,8$

$V_{st_{(64^\circ)}} = 146 \text{ Km/h} = 40,55 \text{ m/s}$  quindi  $C_{p_{max_{(64^\circ)}}} = \frac{2 \cdot Q}{\rho \cdot S \cdot V_{st}^2} = 2,33$

ipotizzando  $c/l = 0,25$   $\Delta C_r = 0,0075 \cdot 0,25 \cdot 28/57,3 = 0,00092$

$$\Delta R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \Delta C_r \cdot S = 23 \text{ N}$$

con flap a 64°

$$\Delta C_r = 0,0075 \cdot 0,25 \cdot 64/57,3 = 0,0021$$

$$\Delta R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot \Delta C_r \cdot S = 41 \text{ N}$$

Per tracciare il grafico ( $C_p$ ; alfa) con flap chiusi determino alfa critico =  $\frac{C_{p_{\max}}}{C_{p'}} - |\alpha_0| = 19,48^\circ$

il  $C_p$  al variare di alfa si ricava in questo modo  $C_p = C_{p'} \cdot (\alpha - |\alpha_0|)$

Per tracciare il grafico ( $C_p$ ; alfa) con flap a 28° determino alfa critico =  $\frac{C_{p_{\max ip.}}}{C_{p'}} - |\alpha_0| = 21,78^\circ$

il  $C_p$  al variare di alfa si ricava in questo modo  $C_p = C_{p'} \cdot (\alpha - |\alpha_0|)$

Per tracciare il grafico ( $C_p$ ; alfa) con flap a 64° determino alfa critico =  $\frac{C_{p_{\max ip.}}}{C_{p'}} - |\alpha_0| = 23,70^\circ$

il  $C_p$  al variare di alfa si ricava in questo modo  $C_p = C_{p'} \cdot (\alpha - |\alpha_0|)$

////////////////////////////////////