PROGETTO PRESA D'ARIA SUPERSONICA

Si deve progettare una presa d'aria convergente-divergente supersonica.
I dati di progetto sono:

$$M = 1.5 \qquad T = 270 \cdot K \qquad p = 0.75 \cdot atm$$

con una portata pari a : $\dot{m} = 7.0 \cdot \frac{kg}{s}$

Determinare:

a) i parametri caratteristici dell'ugello (p_0 , T_0 , A^* , A)

b) il minimo valore di M necessario per portare l'ugello ad un funzionamento corretto.

(a) Dalle tabelle **ISO** si possono ricavare i rapporti:

$$\frac{A}{A^*} = 1.176 \qquad \frac{p}{p_0} = 0.272 \qquad \frac{T}{T_0} = 0.690$$

da cui si ottengono:

$$p_0 = \frac{p_0}{p} p = \frac{0.75 \cdot 1.013 \cdot 10^5}{0.272} = 2.75 \cdot 10^5 \ Pa \qquad T_0 = \frac{T_o}{T} T = \frac{270}{0.690} = 392 \cdot K$$

Dalla formula della portata $\dot{m} = \frac{p_0 A^* \Psi^*}{\sqrt{\gamma R T_0}}$, si ottengono:

$$A^* = \frac{\dot{m}}{p_0 \Psi^*} \sqrt{\gamma R T_0} = \frac{7.0}{2.75 \cdot 10^5 \cdot 0.810} \sqrt{1.4 \cdot 287 \cdot 392} = 0.01229 \cdot \ m^2$$

$$A = \frac{A}{A^*} A^* = 1.176 \cdot 0.0123 = 0.01445 \cdot m^2$$

$$\begin{cases} \gamma = 1.4 \\ R = 287 \dfrac{J}{Kg \cdot K} \\ \Psi^* = 0.810 \end{cases}$$

(b) Per determinare il minimo valore del numero di Mach, M_O, necessario per portare l'ugello ad un funzionamento corretto si parte dal rapporto delle aree e, dalle tabelle (**ISO**), si ricava il numero di Mach subsonico:

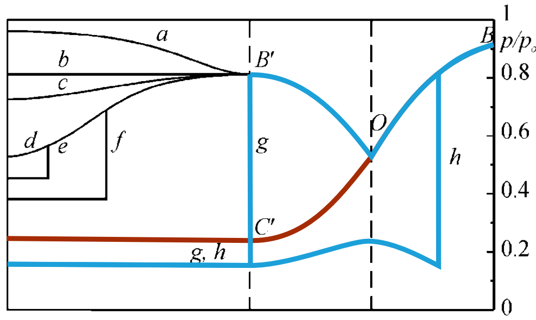
$$M_{B'} = 0.610$$

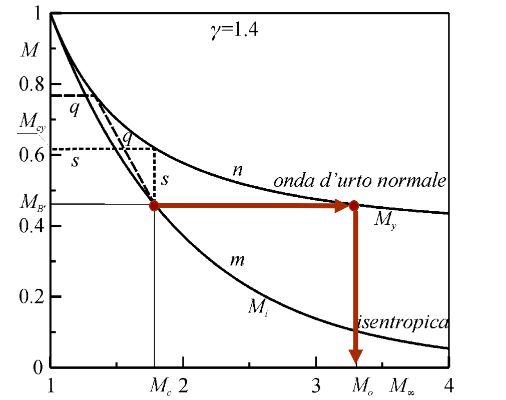
Con questo valore, si entra nelle tabelle **NSW** e si trova il Mach di overspeeding M_O:

$$M_O = 1.828$$

E' interessante notare che allo stesso numero di Mach ($M = 1.5$) una presa d'aria semplicemente divergente realizzerebbe una caduta di pressione di ristagno solo del 7%, infatti dalle tabelle (**NSW**) partendo da $M = 1.5$ si trova:

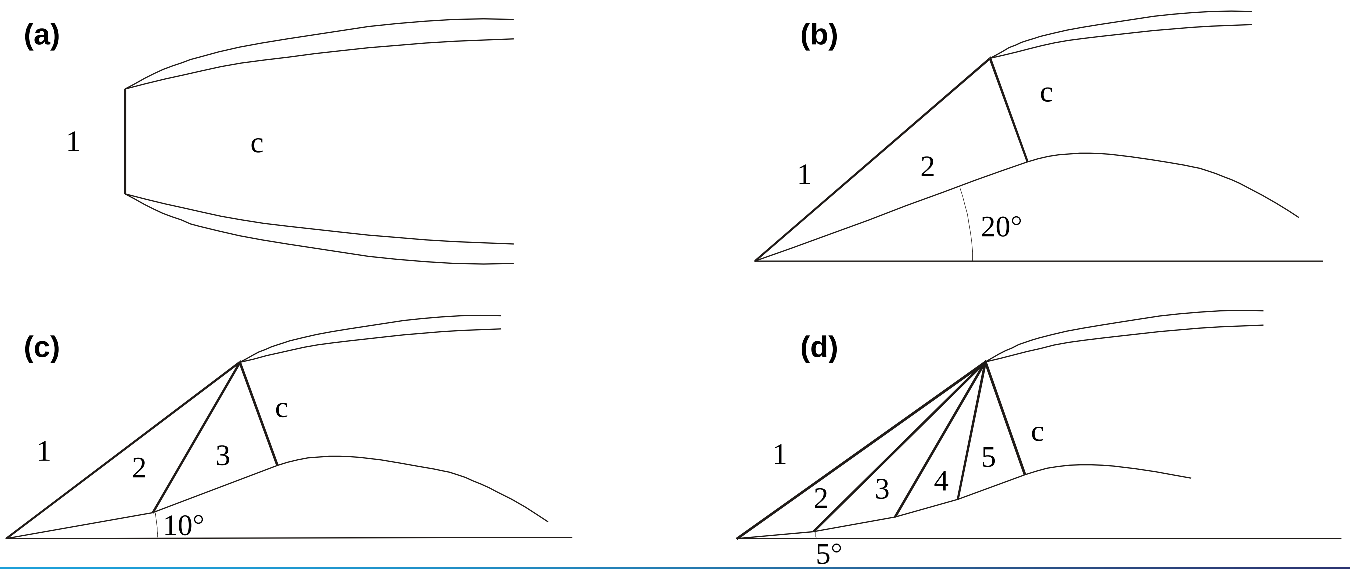
$$\frac{p_{0_{valle}}}{p_{0_{monte}}} = 0.930$$



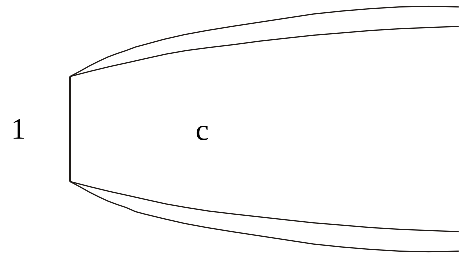


PRESE D'ARIA

Per una corrente con $M_1 = 3.5$ confrontare le perdite di pressione di ristagno per una presa d'aria semplicemente divergente e tre prese d'aria esterne con deviazione totale della corrente di 20°, rispettivamente con 1, 2 o 4 onde oblique, a cui segue un'onda normale.



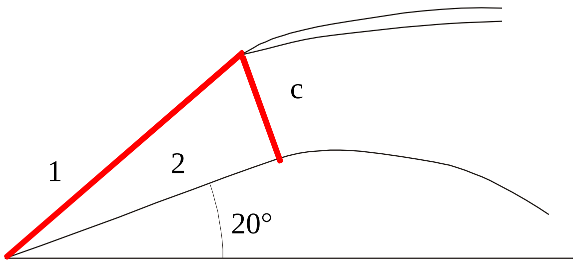
(a) Presa d'aria semplicemente divergente



Dalle tabelle (NSW) si determina il salto di pressione attraverso l'urto normale:

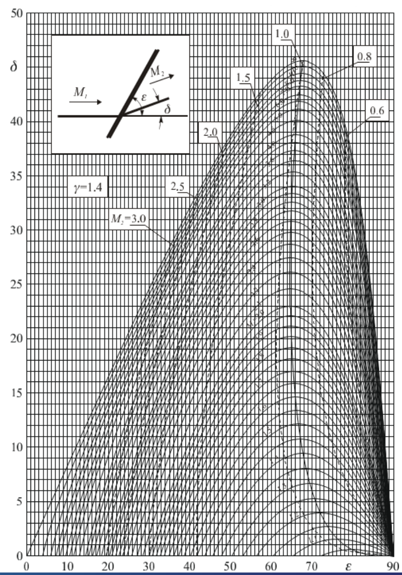
$$M_1 = 3.5 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_1}} = 0.213$$

(b) Presa d'aria esterna con 1 onda d'urto obliqua



Dal diagramma ε, δ, M si trova per il primo urto (1-2):

$$M_1 = 3.5, \quad \delta_1 = 20° \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_1 = 34.6°$$



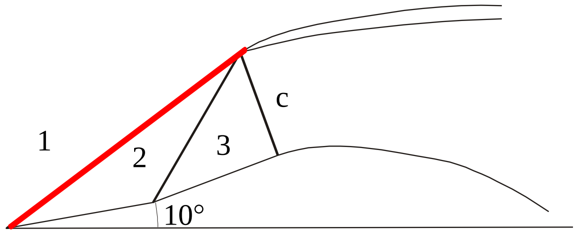
$$M_{n_1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.5 \cdot \sin 34.6 = 1.987 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_2} = 0.579 \quad \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.727$$

Da cui: $$M_2 = \frac{M_{n_2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \frac{0.579}{\sin 14.6} = 2.30$$

$$M_2 = 2.30 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_2}} = 0.584$$

$$r_p = \frac{p_{0_c}}{p_{0_1}} = \frac{p_{0_c}}{p_{0_2}} \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.584 \cdot 0.727 = 0.425$$

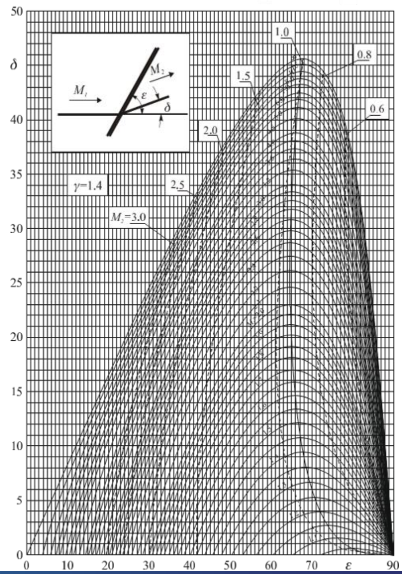
(c) Presa d'aria esterna con 2 onde d'urto obliqua



Dal diagramma ε, δ, M si trova per il primo urto (1-2):

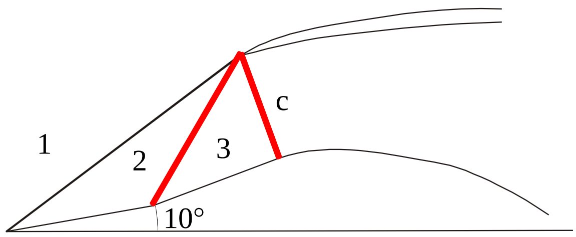
$$M_1 = 3.5 \quad \delta_1 = 10° \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_1 = 24.4°$$

$$M_{n_1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.5 \cdot \sin 24.4 = 1.445 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_2} = 0.722 \quad \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.946$$



Da cui: $M_2 = \dfrac{M_{n2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \dfrac{0.722}{\sin 14.4} = 2.90$

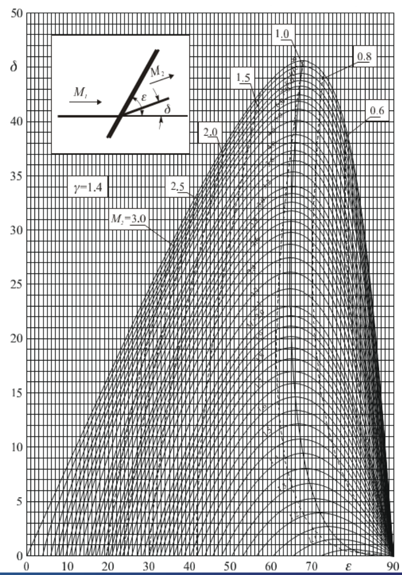
(c) Presa d'aria esterna con 2 onde d'urto obliqua



Con lo stesso procedimento per il secondo urto (2-3):

$$M_2 = 2.90 \quad \delta_2 = 10° \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_2 = 28.1°$$

$$M_{n_2} = M_2 \sin(\varepsilon_2) = 2.90 \cdot \sin 28.1 = 1.368 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_3} = 0.754 \quad \frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} = 0.966$$

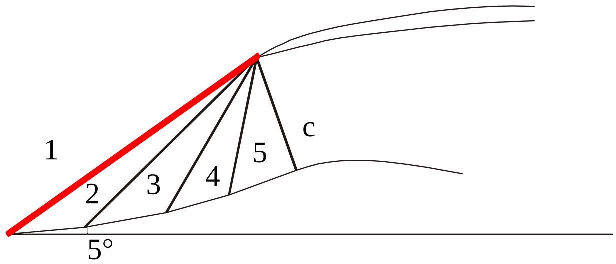


Da cui: $M_3 = \dfrac{M_{n3}}{\sin(\varepsilon_2 - \delta_2)} = \dfrac{0.754}{\sin 18.1} = 2.43$

$$M_3 = 2.43 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_3}} = 0.529$$

$$r_p = \frac{p_{0_c}}{p_{0_1}} = \frac{p_{0_c}}{p_{0_3}} \frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.529 \cdot 0.966 \cdot 0.946 = 0.484$$

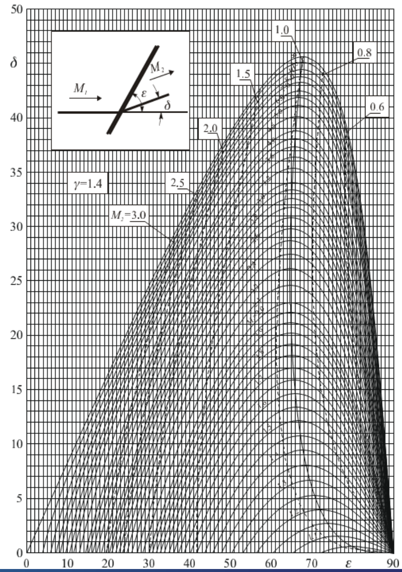
(d) Presa d'aria esterna con 4 onde d'urto obliqua



Dal diagramma ε, δ, M si trova per il primo urto (1-2):

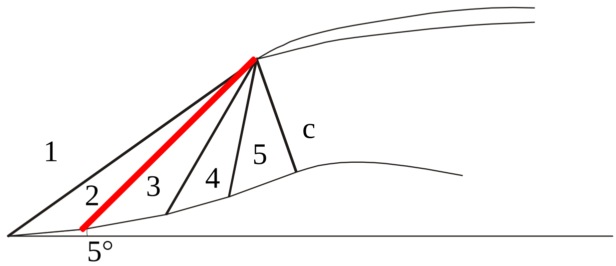
$$M_1 = 3.50 \quad \delta_1 = 5° \quad \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \quad \varepsilon_1 = 20.2°$$

$$M_{n_1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.50 \cdot \sin 20.2 = 1.207 \quad \xrightarrow{\text{NSW}} \quad M_{n_2} = 0.838 \qquad \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.992$$



Da cui: $$M_2 = \frac{M_{n_2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \frac{0.838}{\sin 15.2} = 3.20$$

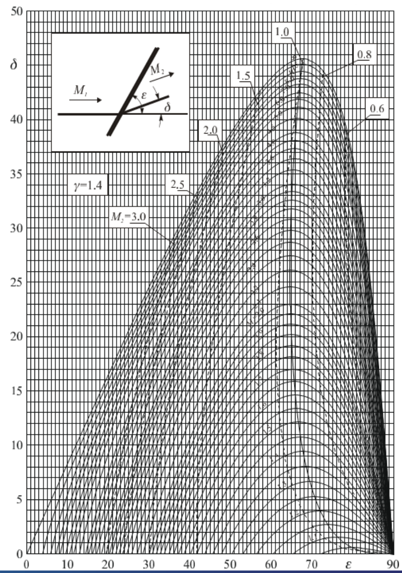
(d) Presa d'aria esterna con 4 onde d'urto obliqua



Con lo stesso procedimento per il secondo urto (2-3):

$$M_2 = 3.20 \quad \delta_2 = 5° \quad \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \quad \varepsilon_2 = 21.8°$$

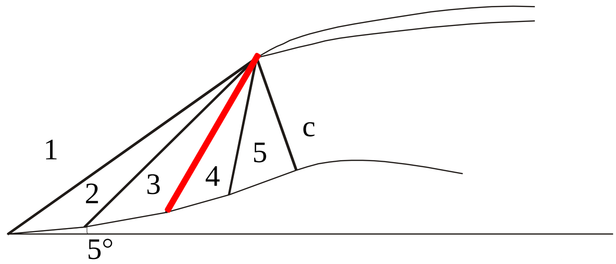
$$M_{n_2} = M_2 \sin(\varepsilon_2) = 3.2 \cdot \sin 21.8 = 1.187 \quad \xrightarrow{\text{NSW}} \quad M_{n_3} = 0.849 \qquad \frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} = 0.994$$



Da cui: $$M_3 = \frac{M_{n_3}}{\sin(\varepsilon_2 - \delta_2)} = \frac{0.849}{\sin 16.8} = 2.93$$

(d) Presa d'aria esterna con 4 onde d'urto obliqua

Con lo stesso procedimento per il terzo urto (3-4):

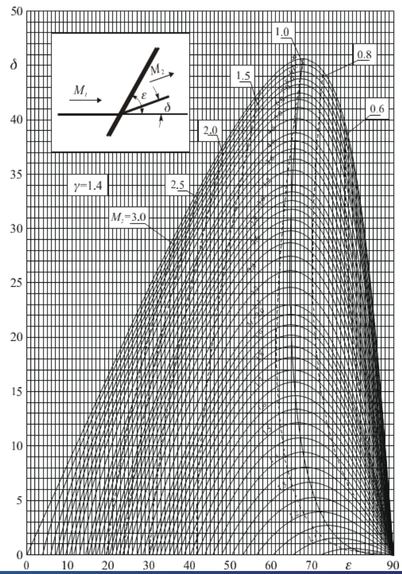


$M_3 = 2.93$

$\delta_3 = 5°$

$$\xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \quad \varepsilon_3 = 23.6°$$

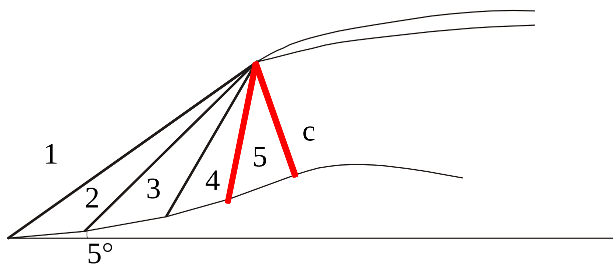
$$M_{n_3} = M_3 \sin(\varepsilon_3) = 2.93 \cdot \sin 23.6 = 1.175 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_4} = 0.858 \qquad \frac{p_{0_4}}{p_{0_3}} = 0.995$$



Da cui: $M_4 = \dfrac{M_{n4}}{\sin(\varepsilon_3 - \delta_3)} = \dfrac{0.858}{\sin 18.6} = 2.69$

(d) Presa d'aria esterna con 4 onde d'urto obliqua

Con lo stesso procedimento per il quarto urto (4-5):

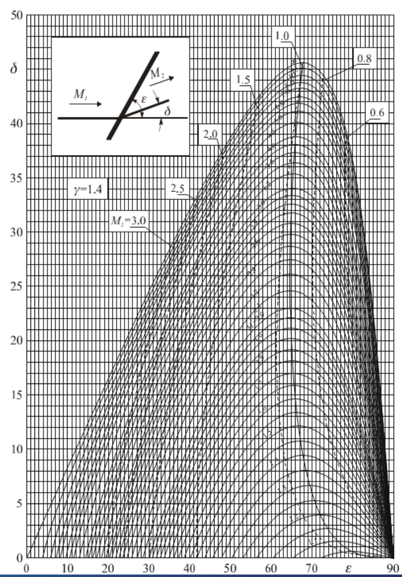


$M_4 = 2.69$

$\delta_4 = 5°$

$$\xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \quad \varepsilon_4 = 25.6°$$

$$M_{n_4} = M_4 \sin(\varepsilon_4) = 2.69 \cdot \sin 25.6 = 1.161 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_5} = 0.867 \qquad \frac{p_{0_5}}{p_{0_4}} = 0.996$$



Da cui: $M_5 = \dfrac{M_{n5}}{\sin(\varepsilon_4 - \delta_4)} = \dfrac{0.867}{\sin 20.6} = 2.46$

$$M_5 = 2.46 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_5}} = 0.514$$

$$r_p = \frac{p_{0_c}}{p_{0_1}} = \frac{p_{0_c}}{p_{0_5}} \frac{p_{0_5}}{p_{0_4}} \frac{p_{0_4}}{p_{0_3}} \frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}}$$

$$r_p = 0.514 \cdot 0.996 \cdot 0.995 \cdot 0.994 \cdot 0.994 \cdot 0.992 = 0.502$$