

PROGETTO PRESA D'ARIA SUPERSONICA

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

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

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

Determinare:

- i parametri caratteristici dell'ugello (p_0, T_0, A^*, A)
- il minimo valore di M necessario per portare l'ugello ad un funzionamento corretto.

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

$$M = 1.500 \xrightarrow{\text{ISO}} \frac{A}{A^*} = 1.176 \quad \frac{p}{p_0} = 0.272 \quad \frac{T}{T_0} = 0.690$$

da cui si ottengono:

$$p_0 = \frac{p_0}{p} p = \frac{0.75 \cdot 1.013 \cdot 10^5}{0.272} = 2.79 \cdot 10^5 \text{ Pa} \quad T_0 = \frac{T_0}{T} T = \frac{270}{0.690} = 391 \cdot K$$

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

$$A^* = \frac{\dot{m}}{p_0 \Psi^*} \sqrt{\gamma R T_0} = \frac{7.0}{2.79 \cdot 10^5 \cdot 0.810} \sqrt{1.4 \cdot 287 \cdot 391} = 0.01228 \cdot m^2$$
$$A = \frac{A}{A^*} A^* = 1.176 \cdot 0.01228 = 0.01444 \cdot m^2$$
$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma = 1.4 \\ R = 287 \frac{J}{Kg \cdot K} \\ \Psi^* = 0.810 \end{array} \right.$$

(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:

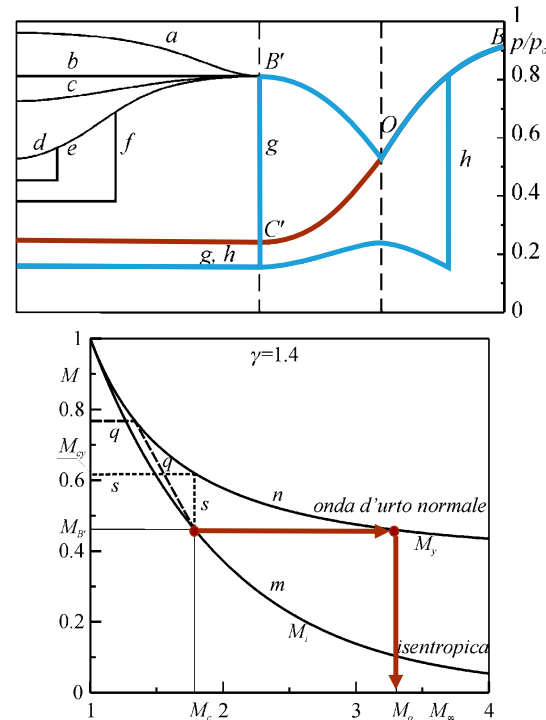
$$\frac{A}{A^*} = 1.176 \xrightarrow{\text{ISO}} M_{B'} = 0.611$$

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

$$M_{B'} = 0.611 \xrightarrow{\text{NSW}} M_O = 1.825$$

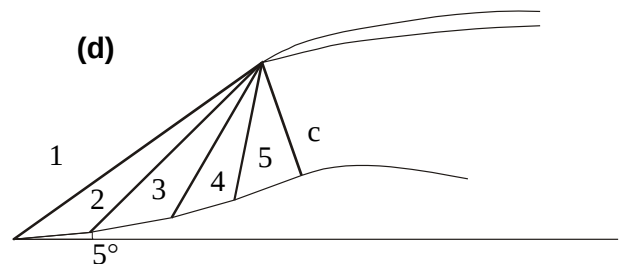
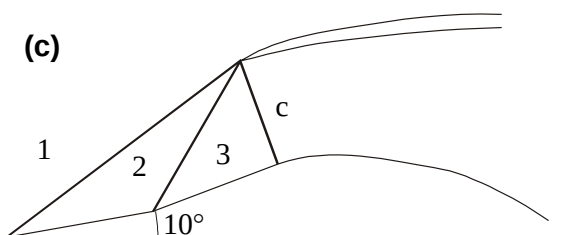
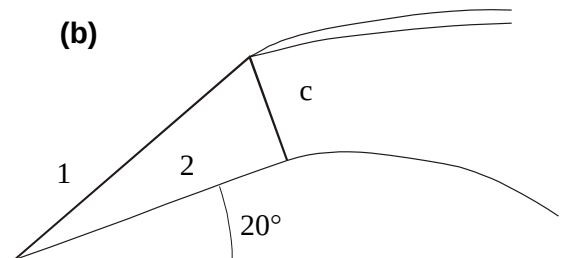
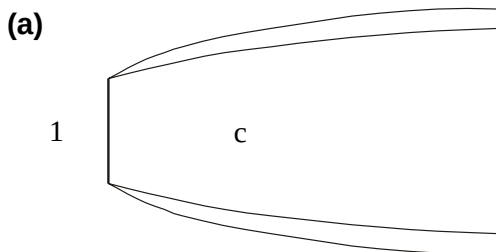
E' interessante notare che allo stesso numero di Mach ($M = 1.5$) una presa d'aria semplicemente divergente realizzerebbe una caduta di pressione di ristagno solo del 7%, infatti dalle tabelle **(NSW)** partendo da $M = 1.5$ si trova:

$$M_{B'} = 1.500 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_{valle}}}{p_{0_{monte}}} = 0.930$$



PRESE D'ARIA

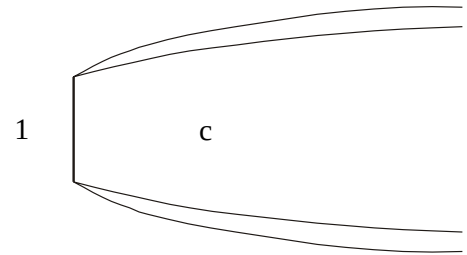
Per una corrente con $M_1 = 3.5$ confrontare le perdite di pressione di ristagno per una presa d'aria semplicemente divergente e tre prese d'aria esterne con deviazione totale della corrente di 20° , rispettivamente con 1, 2 o 4 onde oblique, a cui segue un'onda normale.



(a) Presa d'aria semplicemente divergente

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

$$M_1 = 3.5 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0c}}{p_{01}} = 0.213$$

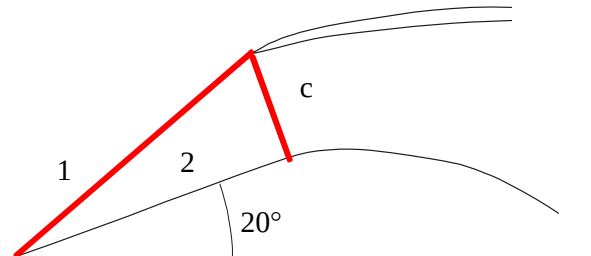


(b) Presa d'aria esterna con 1 onda d'urto obliqua

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

$$M_1 = 3.5 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_1 = 34.6^\circ$$

$$\delta_1 = 20^\circ$$



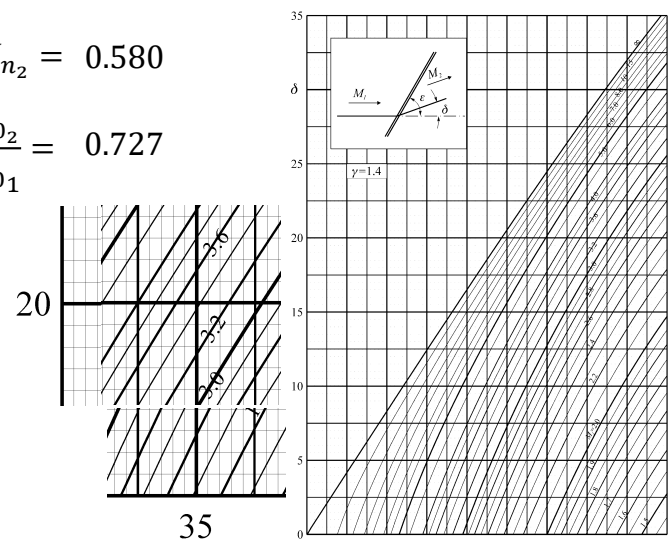
$$M_{n1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.5 \cdot \sin 34.6 = 1.987 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{02}}{p_{01}} = 0.727$$

$$M_{n2} = 0.580$$

Da cui: $M_2 = \frac{M_{n2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \frac{0.580}{\sin 14.6} = 2.30$

$$M_2 = 2.30 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0c}}{p_{02}} = 0.583$$

$$r_p = \frac{p_{0c}}{p_{01}} = \frac{p_{0c}}{p_{02}} \frac{p_{02}}{p_{01}} = 0.583 \cdot 0.727 = 0.424$$



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

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

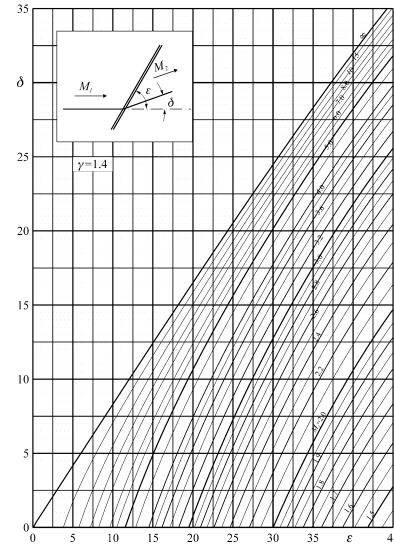
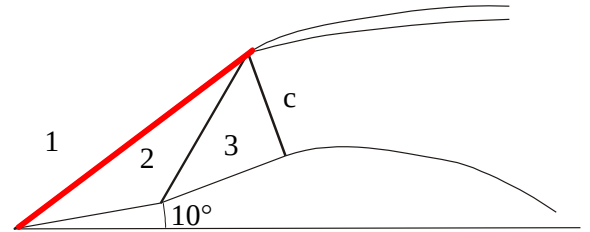
$$M_1 = 3.5 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_1 = 24.4^\circ$$

$$\delta_1 = 10^\circ$$

$$M_{n_1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.5 \cdot \sin 24.4 = 1.446 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_2} = 0.721$$

$$\frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.946$$

Da cui: $M_2 = \frac{M_{n_2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \frac{0.721}{\sin 14.4} = 2.90$



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

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

$$M_2 = 2.90 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_2 = 28.1^\circ$$

$$\delta_2 = 10^\circ$$

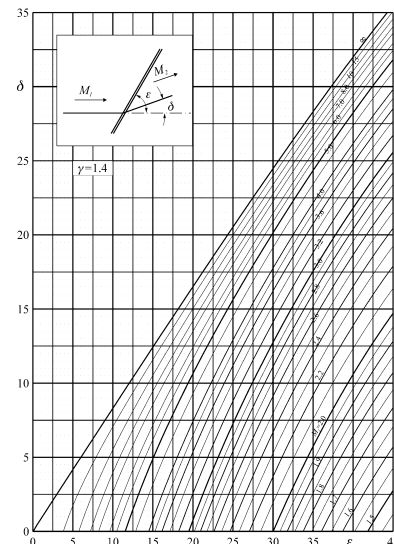
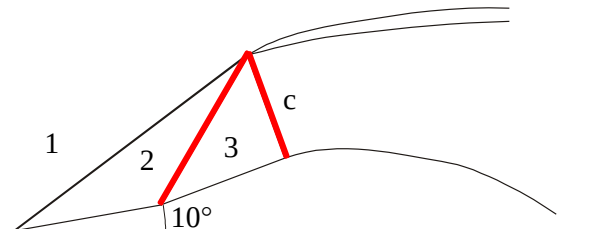
$$M_{n_2} = M_2 \sin(\varepsilon_2) = 2.90 \cdot \sin 28.1 = 1.366 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_3} = 0.754$$

$$\frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} = 0.966$$

Da cui: $M_3 = \frac{M_{n_3}}{\sin(\varepsilon_2 - \delta_2)} = \frac{0.754}{\sin 18.1} = 2.43$

$$M_3 = 2.43 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_3}} = 0.528$$

$$r_p = \frac{p_{0_c}}{p_{0_1}} = \frac{p_{0_c}}{p_{0_3}} \frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} \frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.528 \cdot 0.966 \cdot 0.946 = 0.483$$



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

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

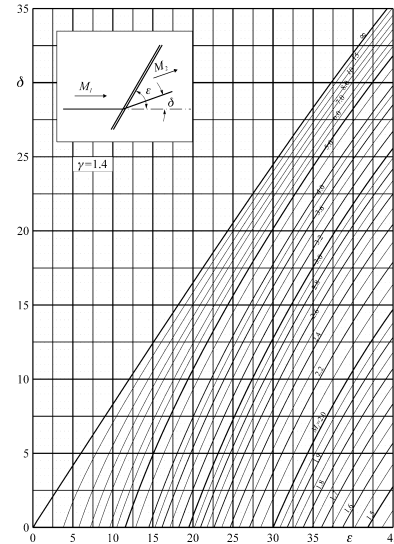
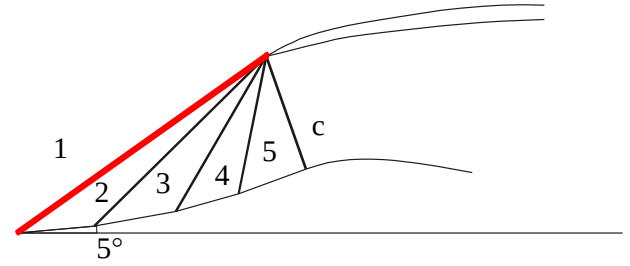
$$M_1 = 3.50 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_1 = 20.2^\circ$$

$$\delta_1 = 5^\circ$$

$$M_{n_1} = M_1 \sin(\varepsilon_1) = 3.50 \cdot \sin 20.2 = 1.209 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_2} = 0.837$$

$$\frac{p_{0_2}}{p_{0_1}} = 0.992$$

Da cui: $M_2 = \frac{M_{n_2}}{\sin(\varepsilon_1 - \delta_1)} = \frac{0.837}{\sin 15.2} = 3.19$



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

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

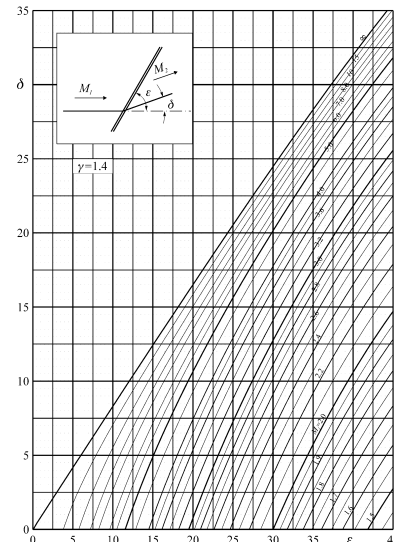
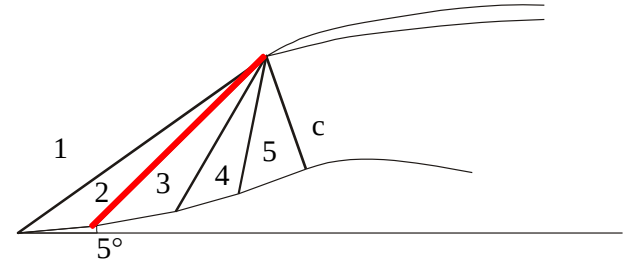
$$M_2 = 3.19 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_2 = 21.9^\circ$$

$$\delta_2 = 5^\circ$$

$$M_{n_2} = M_2 \sin(\varepsilon_2) = 3.19 \cdot \sin 21.9 = 1.190 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_3} = 0.848$$

$$\frac{p_{0_3}}{p_{0_2}} = 0.994$$

Da cui: $M_3 = \frac{M_{n_3}}{\sin(\varepsilon_2 - \delta_2)} = \frac{0.848}{\sin 16.9} = 2.92$



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

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

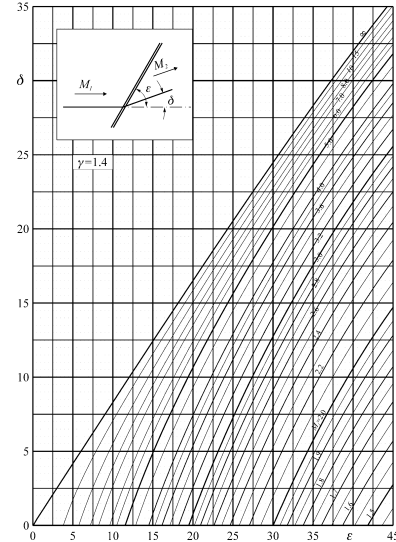
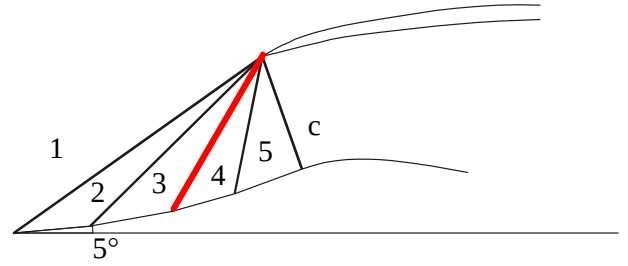
$$M_3 = 2.92 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_3 = 23.7^\circ$$

$$\delta_3 = 5^\circ$$

$$M_{n_3} = M_3 \sin(\varepsilon_3) = 2.92 \cdot \sin 23.7 = 1.174 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_4} = 0.859$$

$$\frac{p_{0_4}}{p_{0_3}} = 0.995$$

Da cui: $M_4 = \frac{M_{n_4}}{\sin(\varepsilon_3 - \delta_3)} = \frac{0.859}{\sin 18.7} = 2.68$



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

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

$$M_4 = 2.68 \xrightarrow{\varepsilon, \delta, M} \varepsilon_4 = 25.7^\circ$$

$$\delta_4 = 5^\circ$$

$$M_{n_4} = M_4 \sin(\varepsilon_4) = 2.68 \cdot \sin 25.7 = 1.162 \xrightarrow{\text{NSW}} M_{n_5} = 0.867$$

$$\frac{p_{0_5}}{p_{0_4}} = 0.996$$

Da cui: $M_5 = \frac{M_{n_5}}{\sin(\varepsilon_4 - \delta_4)} = \frac{0.867}{\sin 20.7} = 2.45$

$$M_5 = 2.45 \xrightarrow{\text{NSW}} \frac{p_{0_c}}{p_{0_5}} = 0.519$$

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

$$r_p = 0.519 \cdot 0.996 \cdot 0.995 \cdot 0.994 \cdot 0.994 \cdot 0.992 = 0.507$$

