

Tunnel Supersonico

1) Si deve progettare una galleria supersonica a circuito chiuso, le condizioni di prova sono $M=1.6$, $p=40\text{kPa}$, $T=275\text{K}$, l'area della sezione di prova deve essere di 0.1m^2 mentre quella dei condotti di raccordo di 0.7m^2 .

· Calcolare le condizioni a monte dell'ugello, la portata di massa e l'area di gola in condizioni di progetto.

· Supponendo che il diffusore sia ad area di gola costante calcolare la massima caduta della pressione di ristagno, durante l'avviamento, e la minima area di gola possibile.

2) Supponendo che le uniche perdite di carico siano associate alle eventuali onde d'urto determinare:

· La massima potenza del compressore;

· Le specifiche dello scambiatore di calore in condizioni di progetto.

Adottiamo la simbologia della figura seguente dove la sezione 5 è relativa alla gola del diffusore e la 6 è immediatamente a valle di questa. Inoltre indichiamo con il pedice t le condizioni in camera di prova (fra la sezione 3 e 4) in condizione di progetto.



$$M_t := 1.6 \quad p_t := 40 \cdot 10^3 \cdot \text{Pa} \quad T_t := 275\text{K} \quad A_1 := 0.7\text{m}^2 \quad A_7 := 0.7\text{m}^2$$

$$A_3 := 0.1\text{m}^2 \quad R := 287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \quad \gamma := 1.4 \quad \psi := 0.81 \quad c_p := 1004 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Dal M di progetto si possono leggere sulle tabelle (ISO) i rapporti $A_3/A_2=1.250$, $p_t/p_{01}=0.235$ e $T_t/T_{01}=0.661$ da cui si possono ricavare le condizioni di ristagno e l'area critica:

$$T_{01} := \frac{T_t}{0.661} \quad T_{01} = 416.036\text{K} \quad p_{01} := \frac{p_t}{0.235} \quad p_{01} = 1.702 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$A_2 := \frac{A_3}{1.250} \quad A_2 = 0.08\text{m}^2$$

Noto il valore dell'area di gola si può calcolare il rapporto A_1/A_2 e da questo, utilizzando le tabelle (ISO) i rapporti caratteristici relativi alla sezione 1.

$$\frac{A_1}{A_2} = 8.75 \quad \text{Da cui:} \quad M_1 := 0.065$$

$$p_1 := p_{01} \cdot 0.997 \quad p_1 = 1.697 \times 10^5 \text{Pa}$$

$$T_1 := T_{01} \cdot 0.99 \quad T_1 = 411.876\text{K}$$

$$\rho_1 := \frac{p_1}{R \cdot T_1} \quad \rho_1 = 1.436 \text{kg m}^{-3}$$

Tunnel Supersonico

Note le condizioni di ristagno si può calcolare la portata di massa utilizzando:

$$m := \frac{p_{01} \cdot A_2 \cdot \Psi}{\sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{01}}} \quad m = 26.977 \text{ kg s}^{-1}$$

La massima caduta di pressione di ristagno si ha quando l'onda d'urto si trova fra la sezione 3 e 4. Quindi il M a monte è proprio uguale a quello di progetto. Dalle tabelle (NSW) si trova che per $M=1.6$ $p_{04}/p_{03}=p_{04}/p_{01}=0.895$. Da cui:

$$p_{04} := p_{01} \cdot 0.895 \quad \text{e} \quad p_{04} - p_{01} = -1.787 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Poichè il fenomeno è stazionario la portata è costante quindi il rapporto tra le aree critiche è inversamente proporzionale a quello delle pressioni di ristagno:

$$A_5 := \frac{A_2}{0.895} \quad A_5 = 0.089 \text{ m}^2$$

A questo punto, prima di procedere alla soluzione del secondo punto calcoliamo anche la caduta di pressione di ristagno in condizioni di progetto. In queste condizioni l'onda d'urto si troverà nella sezione 5 quindi è necessario calcolare il M in questa sezione in assenza di onde d'urto. Nota l'area della sezione 5 è possibile calcolare il rapporto A_5/A_2 e da questo (ISO) il M.

$$\frac{A_5}{A_2} = 1.117 \quad \text{da cui:} \quad M_5 := 1.4$$

Dalle tabelle (NSW) si trova che per $M=1.4$ $p_{06}/p_{05}=p_{06}/p_{01}=0.958$. Da cui:

$$p_{06} := p_{01} \cdot 0.958 \quad \text{e} \quad p_{06} - p_{01} = -7.149 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Supponiamo inizialmente che lo scambiatore si trovi a valle del compressore (indichiamo con 8 il punto fra il compressore e lo scambiatore di calore). Per determinare la potenza a regime del compressore si deve scrivere l'equazione di bilancio dell'energia per sistemi aperti: $m \Delta H = m c_p (T_{08} - T_{07}) = Q - L$. Supponendo che il compressore abbia un funzionamento isentropico e che lo scambiatore sia schematizzabile come un processo a pressione costante si può calcolare T_{08} :

$$T_{07} := T_{01} \quad p_{08} := p_{01} \quad p_{07} := p_{06}$$

$$T_{08} := T_{07} \cdot \left(\frac{p_{08}}{p_{07}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{08} = 421.168 \text{ K}$$

$$L := m \cdot c_p \cdot (T_{07} - T_{08}) \quad L = -1.39 \times 10^5 \text{ W}$$

Tunnel Supersonico

All'avviamento il punto 7 sarà definito da:

$$T_{07} := T_{01} \quad p_{07} := p_{04} \quad p_{08} := p_{01}$$

$$T_{08} := T_{07} \cdot \left(\frac{p_{08}}{p_{07}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{08} = 429.434 \text{ K}$$

$$L := m \cdot c_p \cdot (T_{07} - T_{08}) \quad L = -3.629 \times 10^5 \text{ W}$$

Supponiamo ora che lo scambiatore si trovi a monte del compressore (indichiamo con 9 il punto fra lo scambiatore di calore ed il compressore). In questo caso, in condizioni di regime il punto 9 è definito da:

$$p_{09} := p_{06}$$

$$T_{09} := T_{01} \cdot \left(\frac{p_{09}}{p_{01}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{09} = 410.967 \text{ K}$$

Da cui utilizzando l'equazione di bilancio dell'energia per sistemi aperti ($m \Delta H = m c_p (T_{01} - T_{09}) = Q - L$) si ha:

$$L := m \cdot c_p \cdot (T_{09} - T_{01}) \quad L = -1.373 \times 10^5 \text{ W}$$

All'avviamento invece:

$$p_{09} := p_{04}$$

$$T_{09} := T_{01} \cdot \left(\frac{p_{09}}{p_{01}} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad T_{09} = 403.057 \text{ K}$$

$$L := m \cdot c_p \cdot (T_{09} - T_{01}) \quad L = -3.515 \times 10^5 \text{ W}$$