MACCHINE TERMICHE

motori: a vapore, a combustione → ricevere calore → produrre lavoro meccanico

frigo, pompe di calore → ricevono lavoro → scambiano calore

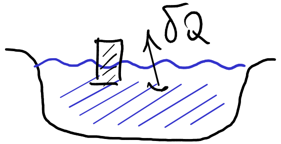
Macchina termica ≡ sostanza che compie una trasformazione ciclica scambiando lavoro e calore con uno o più sistemi

- sorgente di calore
- serbatoio termico (termostato)

- mono-termica
- bi-termica

- bi-fase
- mono-fase

- ciclo chiuso
- ciclo aperto



es: lago
T = cost
equilibrio

es. atmosfera
T = cost
P = cost
equilibrio

$$\delta Q + \delta Q_T = 0$$

$$\delta Q = -\delta Q_T = -C_T\, dT$$

$$Q = -C_T \Delta T$$

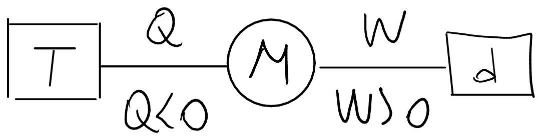
$$\Delta T = -\frac{Q}{C_T}$$

termostato

$C \to \infty$

Perché macchine bi-termiche?

Mono-termica → motore $\boxed{\times}$ Su un ciclo:

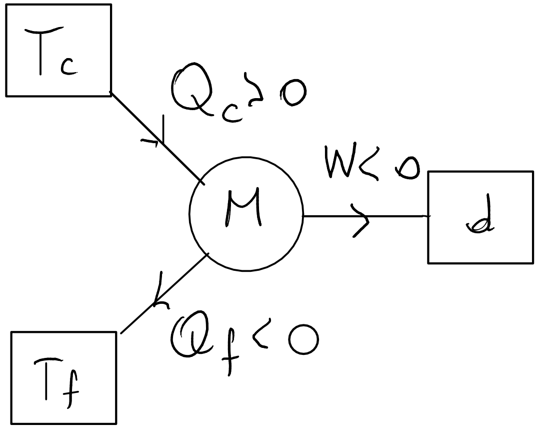


$$\begin{cases} Q + W = 0 \quad \text{I pr.} \\ \underset{\substack{\uparrow \\ \text{sostanza}}}{\Delta S} + \Delta S_T + \underset{=0}{\Delta S_d} = \emptyset + \overset{QS}{\int \frac{\delta Q_T}{T}} = \frac{Q_T}{T} \overset{Q_T = -Q}{=} -\frac{Q}{T} \overset{\text{I pr.}}{=} \frac{W}{T} \overset{\text{II pr.}}{\geq} 0 \end{cases}$$

⇒ non può funzionare come motore termico

Bi-termica → motori $\boxed{V}$ Su un ciclo:

$$\Delta U = Q_c + Q_f + W = 0$$



Efficienza

$$e \equiv \frac{\text{utile}}{\text{speso}}$$

Motori termici: su un ciclo $\Delta U = 0$

$$e \equiv -\frac{W}{Q_c} = \frac{Q_c + Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c}$$

Soltanto se $Q_f \to 0$ allora $e \to 100\%$

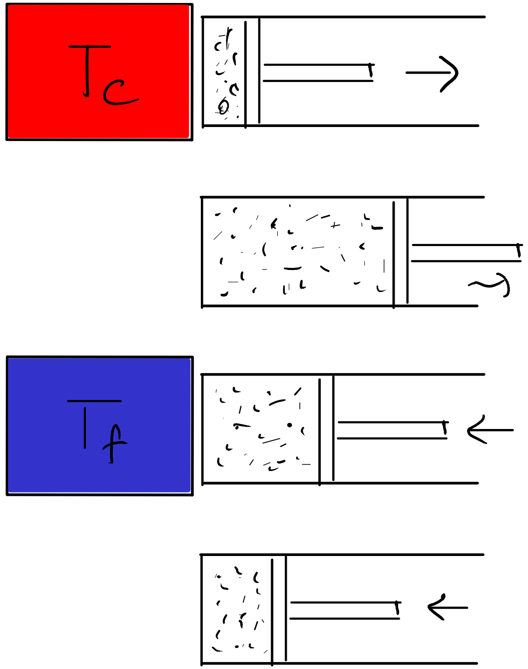
Es: $Q_c = 2 \times 10^3\,J$, $Q_f = -1.5 \times 10^3\,J$ ⇒ $e = 1 - \frac{1.5 \times 10^3\,J}{2 \times 10^3\,J} = 25\%$

$$W = -Q_c - Q_f = -0.5 \times 10^3\,J = -500\,J$$

Ciclo di Carnot

Macchina di-termica, ciclo, trasformazioni reversibili ($\Delta S_u = 0$) universo

Sostanza ≡ gas $A \to B \to C \to D \to A$

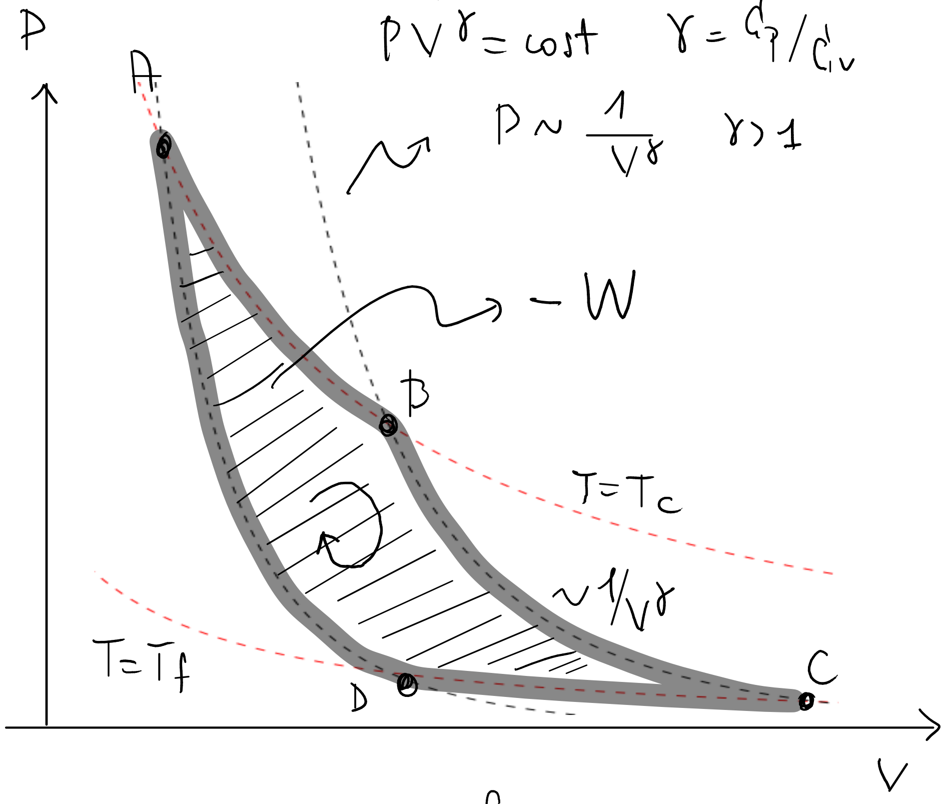


$A \to B$	espansione isoterma	$Q_{AB} = Q_c > 0$	$W_{AB} < 0$
$B \to C$	espansione adiabatica	$Q_{BC} = 0$	$W_{BC} < 0$
$C \to D$	compressione isoterma	$Q_{CD} = Q_f < 0$	$W_{CD} > 0$
$D \to A$	compressione adiabatica	$Q_{DA} = 0$	$W_{DA} > 0$

legge adiabatiche

$pV^\gamma = \text{cost}$ $\gamma = c_p / c_v$

$p \sim \frac{1}{V^\gamma}$ $\gamma > 1$

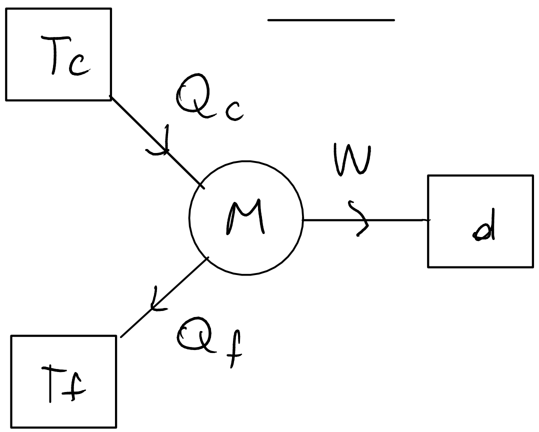


$dW = -P_{est}\,dV$
$= -P\,dV$

$\int P\,dV = -W$

Disuguaglianza di Clausius

Motore di-termico, T_c, T_f



ciclo

II pr: $\underbrace{\Delta S}_{=0}^{\text{macchina}} + \Delta S_{T_c} + \Delta S_{T_f} + \overbrace{\Delta S_d}^{=0} \geq 0$

$$\frac{Q_{T_c}}{T_c} + \frac{Q_{T_f}}{T_f} \geq 0 \Rightarrow -\frac{Q_c}{T_c} - \frac{Q_f}{T_f} \geq 0$$

$Q_{T_c} = -Q_c$

$Q_{T_f} = -Q_f$

$$\boxed{\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0} \leftarrow \text{dis. Clausius}$$

M termostati

$$\left[\sum_{i=1}^{M} \frac{Q_i}{T_i} \leq 0 \right]$$

→ limite all'efficienza del motore termico:

$$e \equiv -\frac{W}{Q_c} = 1 + \frac{Q_f}{Q_c} \leq 1 - \frac{T_f}{T_c} \equiv e_{max}$$

$T_c = T_f \Rightarrow e = 0$ ☑

Es: $T_c = 400\,K$

$T_f = 300\,K$

$e \leq 1 - \frac{300}{400} \leq 25\%$

$$\frac{Q_f}{T_f} \leq -\frac{Q_c}{T_c} \rightarrow \frac{Q_f}{Q_c} \leq -\frac{T_f}{T_c}$$

Potenza: $P \equiv \frac{-W}{\Delta t}$ ← su un ciclo

$[P] = \frac{[E]}{[\Delta t]}$ SI: $\frac{J}{s} \equiv W$

ES: $P = \frac{-W}{\Delta t}$ 2000 cicli/min

$$\begin{cases} -W = 500 J \\ \Delta t = \frac{60 s}{2000} \end{cases} \rightarrow P = \frac{500 J}{60 s} \times 2 \times 10^3 = 17000 \underline{W}$$