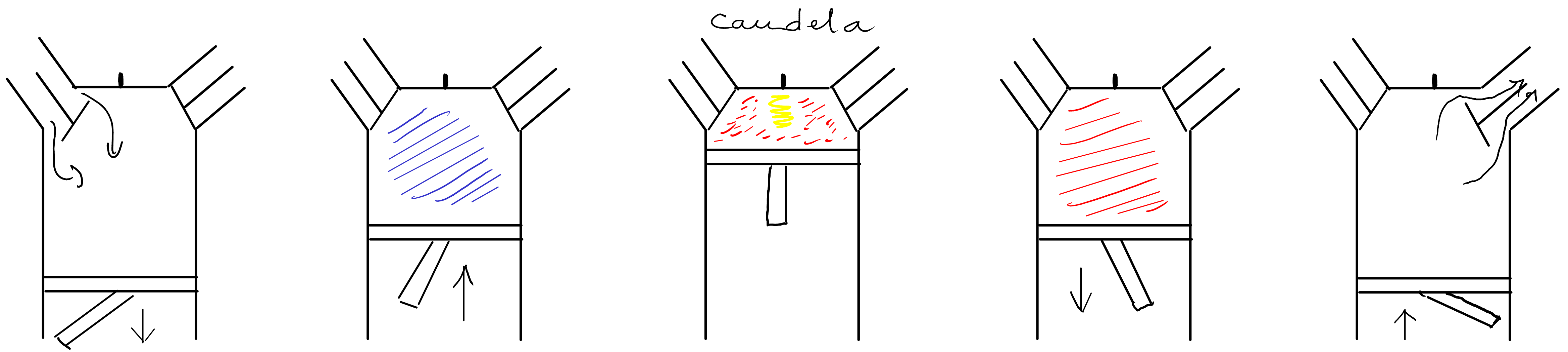
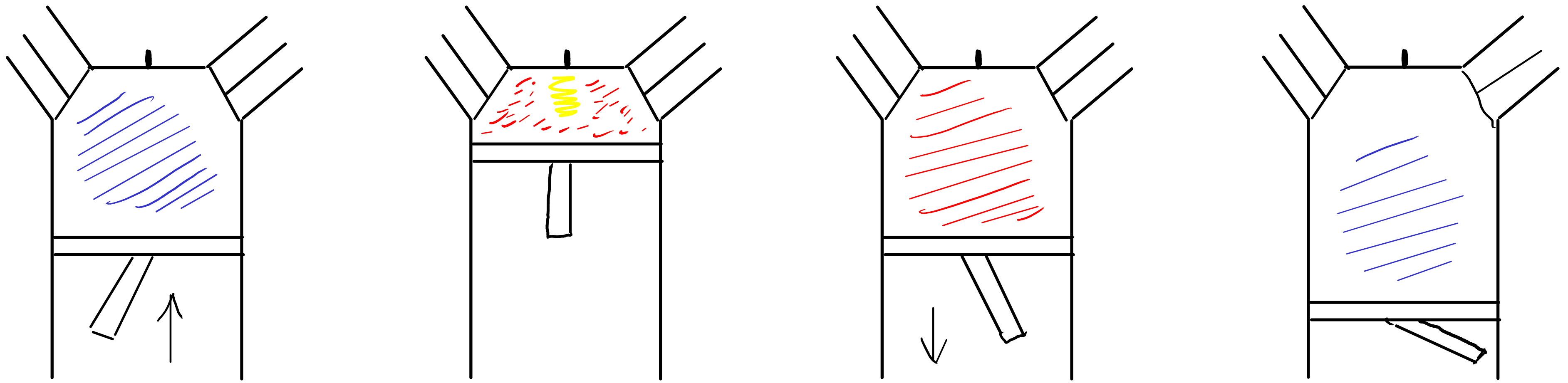
Motore a combustione: ciclo di otto

Sostanza = gas + carburante → ciclo → 4 tempi



0→1 aspirazione | 1→2 compressione | 2→3 combustione | 3→4 espansione | 4→0 scarico



1→2 | 2→3 | 3→4 | 4→1 → chiuso

Modello del ciclo di otto

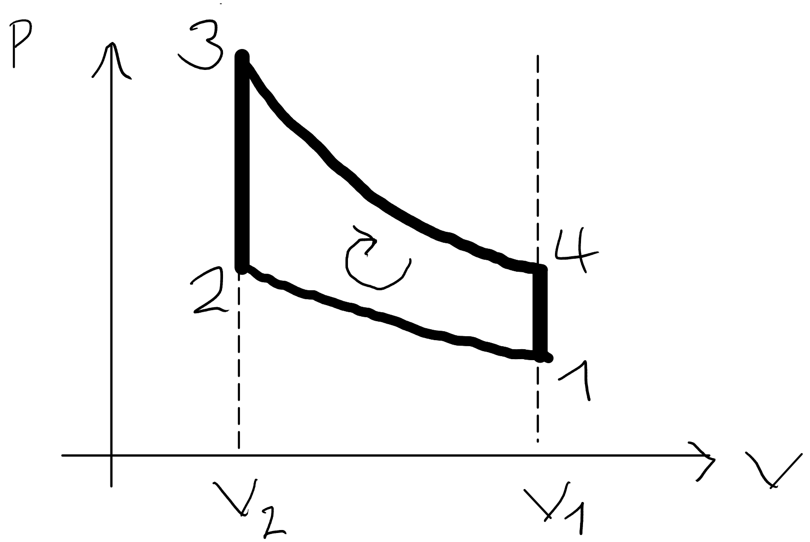
- Sistema chiuso
- Miscela gas + carburante = gas perfetto diatomico $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5} = 1.4$
- Trasformazioni QS

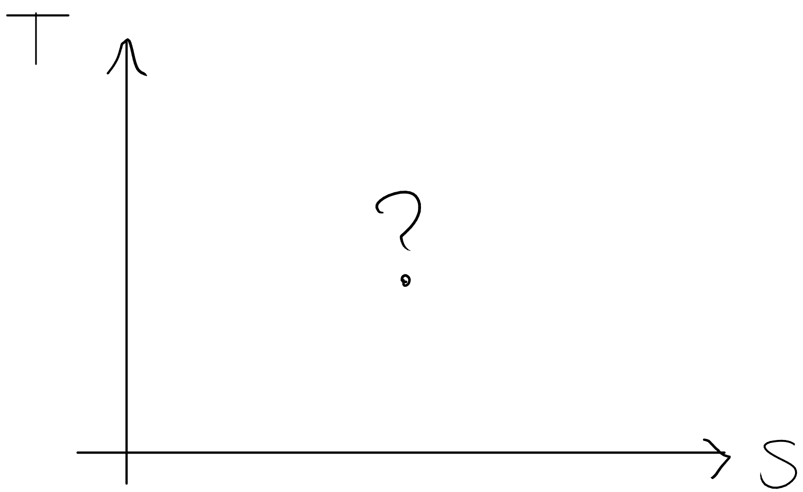
1 → 2 compressione adiabatica : $\delta Q_{12} = 0 \rightarrow Q_{12} = 0$

2 → 3 riscaldamento isocoro : $Q_{23} = Q_c$

3 → 4 espansione adiabatica : $\delta Q_{34} = 0 \rightarrow Q_{34} = 0$

4 → 1 raffreddamento isocoro : $Q_{41} = Q_f$





(es.)

g.p. + adiab. + QS : $PV^\gamma = \text{cost}$

$P \sim \frac{1}{V^\gamma}$

$S = S(U, V)$

$\Delta S \rightarrow U, V$

Tasso di compressione

$x \equiv \frac{V_1}{V_2}$

$1 \to 2$: $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1} \Rightarrow T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = T_1 x^{\gamma-1}$

$2 \to 3$: $Q_{23} = Q_c = \int_2^3 \delta Q = \int_2^3 C_V \, dT = C_V (T_3 - T_2)$ $\delta Q = C_V \, dT$ $V = cost$

$3 \to 4$: $T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \Rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{\gamma-1} = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1}\right) = T_3 \frac{1}{x^{\gamma-1}}$

$4 \to 1$: $Q_{41} = Q_f = \dots = C_V (T_1 - T_4)$

Efficienza

$$e = -\frac{W}{Q_c} \underset{\uparrow}{=} 1 + \frac{Q_f}{Q_c} = 1 + \frac{T_1 - T_4}{T_3 - T_2} = 1 + \frac{T_2 \frac{1}{x^{\gamma-1}} - T_3 \frac{1}{x^{\gamma-1}}}{T_3 - T_2}$$

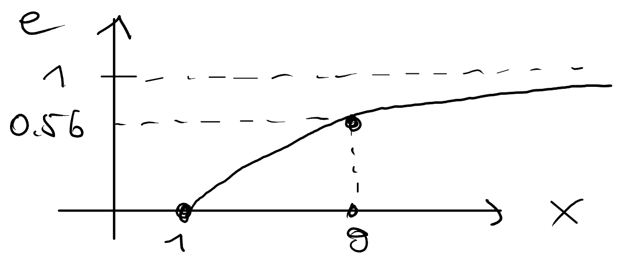
$0 = W + Q_c + Q_f$

$W = -Q_c - Q_f$

$$= 1 + x^{1-\gamma} \frac{T_2 - T_3}{T_3 - T_2} = 1 - x^{1-\gamma} = 1 - \frac{1}{x^{\gamma-1}} \quad \square$$

$\gamma - 1 > 0$

$\gamma > 1$ $\gamma = \frac{C_V + nR}{C_V} = 1 + \frac{nR}{C_V} > 1$



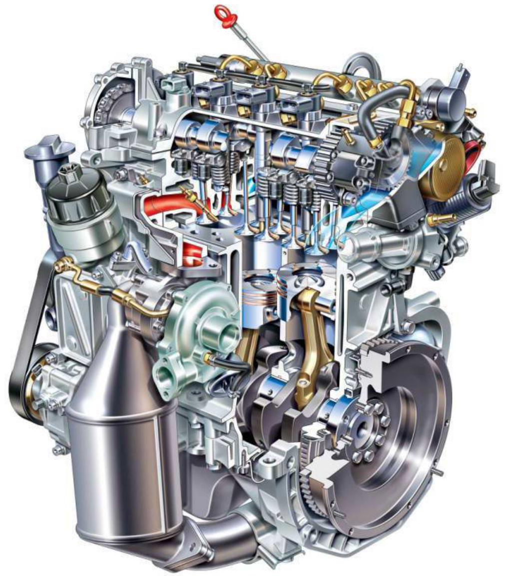
$x = 8$

$\gamma = 1.4$

$e = 0.56$

MOTORI

Macchina a vapore



Motore a combustione

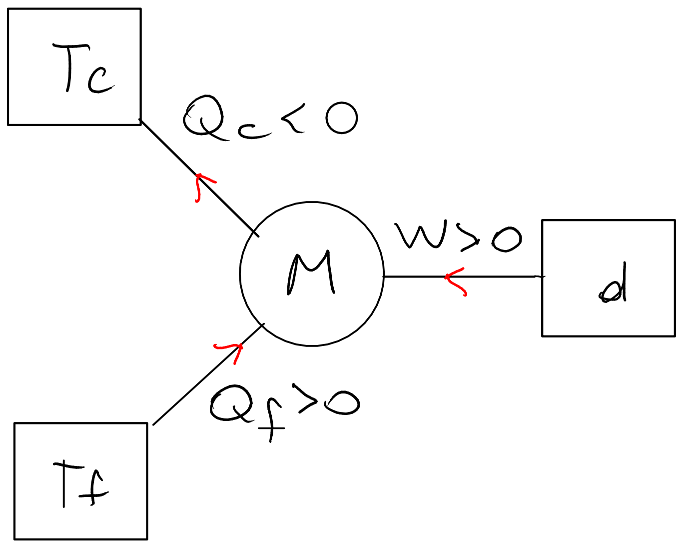
FRIGORIFERI / POMPE DI CALORE

Climatizzatore

Frigorifero

Pompa di calore

Frigorifero



- sostanza = fluido
- sorgenti di calore → termostati (su un ciclo)
- compressore

- riceve lavoro W
- riceve calore dal termostato freddo (interno)
- cede calore al termostato caldo (ambiente)

Efficienza

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

$Q_f > 0$

$Q_c < 0$

$W = -Q_f - Q_c$

Disuguaglianza di Clausius :

$$\frac{Q_c}{T_c} + \frac{Q_f}{T_f} \leq 0$$

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

$$\frac{Q_c}{Q_f} \leq - \frac{T_c}{T_f} \quad \rightarrow \quad \frac{Q_c}{Q_f} = - \frac{T_c}{T_f} - \varepsilon \qquad \varepsilon \geq 0$$

$$e = - \frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_f} - \varepsilon} = \frac{1}{\frac{T_c}{T_f} - 1 + \varepsilon} \leq \frac{1}{\frac{T_c}{T_f} - 1}$$

Es.: $T_f = -5\,°C \rightarrow 268\ K$

$T_c = 50\,°C \rightarrow 323\ K$

$$e \leq \frac{1}{\frac{323}{268} - 1} = 4.9 \quad \rightarrow \quad e_{max} = 4.9$$

Frigo : I pr $\quad 0 = W + Q_c + Q_f \rightarrow Q_c = -W - Q_f = -|W| - |Q_f|$

$$= -(|W| + |Q_f|)$$

$$|Q_c| = |Q_f| + |W| > |Q_f|$$

$$\frac{Q_c}{Q_f} \leq -\frac{T_c}{T_f} \qquad \frac{-|Q_c|}{Q_f} \leq -\frac{T_c}{T_f} \qquad \frac{|Q_c|}{Q_f} \geq \frac{T_c}{T_f}$$

$$-2 \leq -1$$

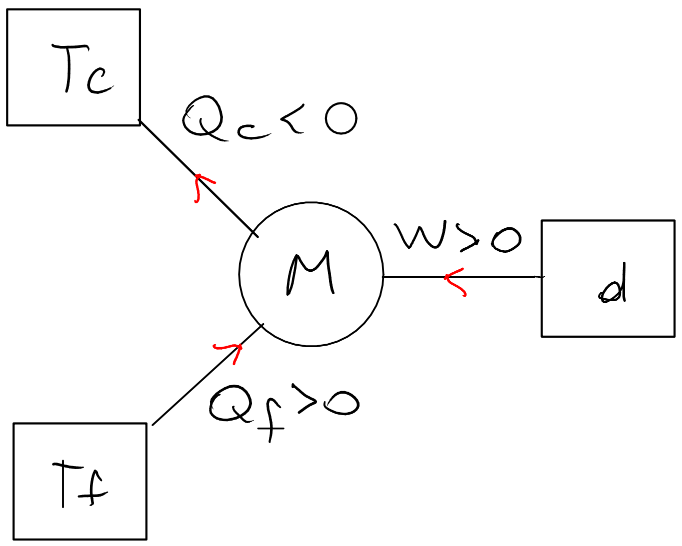
$$2 \geq 1$$

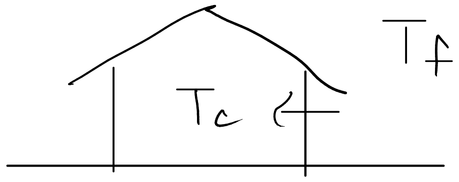
$$|Q_c| \geq \frac{T_c}{T_f} Q_f$$

Il calore ceduto all'ambiente esterno è maggiore (in valore assoluto) di quello estratto dalla sorgente fredda (es. interno casa)

$\Rightarrow$ ad ogni ciclo, riscaldiamo l'ambiente !

Pompa di calore





$$e = \frac{-Q_c}{W} = \; \cdots \; \leq \frac{1}{1 - \frac{T_c}{T_f}}$$

↑

$$W = -Q_c - Q_f$$

Es: frigo, $P = 200\,W$ potenza, $T_f = -5°C$, $T_c = 50°C$

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Calore latente di cristallizzazione: $L = 320\ J/g$

Durata di un ciclo: Δt -

Trasf. reversibili -

Ghiaccio prodotto per unità di tempo a partire da H_2O a $0°C$?