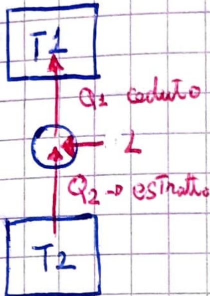
MACCHINA FRIGORIFERA

$$Q_2 + L = Q_1$$



$$\text{Efficacia} = \frac{Q_2}{L}$$ → massimizzare il calore estratto Q_2

POMPA DI CALORE

→ massimizzare il calore ceduto alla sorgente più calda (Q_1)

$$\varepsilon_{pc} = \frac{Q_1}{L}$$

Se si tratta di ciclo di Carnot

$$\varepsilon_f = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

$$\sum \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$$

è uguale perché Carnot è reversibile

$$\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$$

$$\Rightarrow \varepsilon_f = \frac{1}{\frac{Q_1}{Q_2} - 1} = \frac{1}{\frac{T_1}{T_2} - 1} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

MACCHINA FRIGORIFERA

$$\varepsilon_{pc} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Carnot

POMPA DI CALORE

DISEGUAGLIANZA DI CLAUSIUS

$$\Delta S_U = \Delta S_{sorgenti} = \begin{cases} + \dfrac{|Q_2'|}{T_2} - \dfrac{Q_1}{T_1} & \text{IRREVERSIBILE} \\ + \dfrac{|Q_2|}{T_2} - \dfrac{|Q_1|}{T_1} & \text{REVERSIBILE} \end{cases}$$

$$|Q_2'| > |Q_2|$$

$$\Delta S_{\substack{ciclo \\ rev}} = 0 = \left(\frac{|Q_1|}{T_1} - \frac{|Q_2|}{T_2}\right) = 0$$

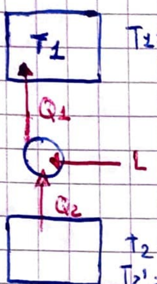
$$\frac{|Q_2|}{T_2} < \frac{|Q_2'|}{T_2} \Rightarrow \frac{|Q_2'|}{T_2} - \frac{|Q_1|}{T_1} > 0 \Rightarrow \Delta S_U \geq 0$$

Per un ciclo reversibile o irreversibile $\sum \frac{Q_i}{T_i} \leq 0$

In particolare, per Carnot rev: $\frac{|Q_1|}{T_1} - \frac{|Q_2|}{T_2} = 0$

$$\frac{|Q_1|}{|Q_2|} = \frac{T_1}{T_2}$$

Esercizio



$T_1 = 300K$

$T_2 = 280K$ = acqua

$T_2' =$ ghiaccio $= 273K$

↳ sorgente $T_2 T_2'$

Q_2 estratto per portare m da $T_2 = 280K$ a $T_2' = 273K \rightarrow$ ghiaccio

$$Q_2 = m c_a (T_2 - T_2') + m\lambda_f$$

$$L \qquad Q_1 = Q_2 + L$$

della sorgente

$$\Delta S_2 = \int_{T_2}^{T_2'} \frac{m c_a \, dT}{T} - \frac{m\lambda_f}{T_2'} = m c \ln \frac{T_2'}{T_2} - \frac{m\lambda}{T_2'} \; *$$

$$\Delta S_1 = \frac{Q_1}{T} = \frac{L + m c_a (T_2 - T_2') + m\lambda_f}{T_1} > 0$$

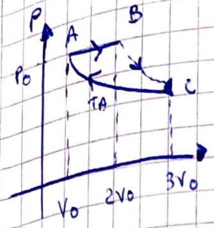
Se $\Delta S_2 + \Delta S_1 = 0$, allora è reversibile

$$\frac{L + m c_a (T_2 - T_2') + m\lambda_f}{T_1} = -m c \ln \frac{T_2'}{T_2} \overset{*}{+} \frac{m\lambda}{T_2'}$$

Reversibile, mi ricavo il lavoro.

$Q = mc(T_B - T_A)$ $\quad \square \; m \; T_A \rightarrow T_B$ $\quad \Delta S = \int_{A \rightarrow B} \frac{\delta Q_{rev}}{T}$ $\quad \delta Q = mc\,dT$

$$\Delta S = \int_{T_A}^{T_B} \frac{mc\,dT}{T} = mc \ln \frac{T_B}{T_A}$$



$$\Delta S_{BC} = mc_v \ln \frac{p_C V_C^{\gamma}}{p_B V_B^{\gamma}}$$

$p_B = p_0$

$p_A V_A = p_C V_C$

$p_0 V_0 = p_C \, 3V_0 \rightarrow p_C = \frac{1}{3} p_0$

$$\Delta S_{BC} = mc_v \ln \frac{\frac{1}{3}\cancel{p_0} \cdot (3V_0)^{\gamma}}{\cancel{p_0} \cdot 2V_0^{\gamma}}$$

$$= mc_v \ln \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{3}{2}\right)^{\gamma} =$$

$\gamma = 5/3$ (monoatomico)

$$= mc_v \left[\ln \frac{1}{3} + \frac{5}{3} \ln \frac{3}{2}\right]$$

COME SI CALCOLA ΔS

• processi in cui un solido o un liquido varia la sua T scambiando calore

$$\Delta S_{AB} = \int_{T_A}^{T_B} \frac{mc\,dT}{T} = mc \ln \frac{T_B}{T_A}$$

• passaggi di stato $\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{m\lambda}{T}$

• gas perfetto: $\Delta S_{AB} = \int_{A \to B} \frac{\delta Q_{rev}}{T}$ $\quad \delta Q = \underbrace{\delta L}_{p\,dV} + \underbrace{dU}_{mc_v dT} \rightarrow \Delta S_{AB} = \int \frac{p\,dV}{T} + \int \frac{mc_v\,dT}{T}$

$$\Delta S_{AB} = \int_{V_A}^{V_B} \frac{mR\cancel{T}}{V} \frac{dV}{\cancel{T}} + \int_{T_A}^{T_B} \frac{mc_v\,dT}{T} = mR \ln \frac{V_B}{V_A} + mc_v \ln \frac{T_B}{T_A}$$

$R = c_p - c_v$

$\frac{R}{c_v} = \gamma - 1$

$$= mc_v \left[\frac{R}{c_v} \ln \frac{V_B}{V_A} + \ln \frac{T_B}{T_A}\right] = mc_v \left[\ln \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} + \ln \frac{T_B}{T_A}\right] = mc_v \ln \frac{T_B (V_B)^{\gamma-1}}{T_A (V_A)^{\gamma-1}}$$

$T = \frac{pV}{mR}$

$$= mc_v \ln \frac{p_B V_B^{\gamma}}{p_A V_A^{\gamma}}$$

↑ se è un'adiabatica reversibile, l'argomento di ln è 1 e $\Delta S = 0$

$pV^{\alpha} =$ costante $\quad$ TRASFORMAZIONE POLITROPICA

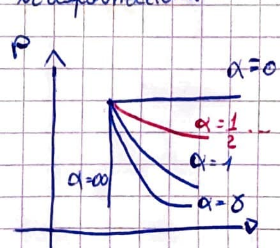
$C_{\alpha} = \frac{1}{m} \frac{\delta Q_{\alpha}}{T}$ è costante $\quad$ Al variare di α ho diverse trasformazioni

$\alpha = 0 \rightarrow p =$ costante

$\alpha = 1 \rightarrow T =$ costante

$\alpha = \infty \rightarrow pV^{\alpha} = k \rightarrow V^{\alpha} = \frac{k}{p}$; $V = \frac{k^{1/\alpha}}{p^{1/\alpha}} \rightarrow V =$ costante

$\alpha = \gamma \Rightarrow$ adiabatica



POLITROPICA

$pV^{\gamma} = \text{cost}$

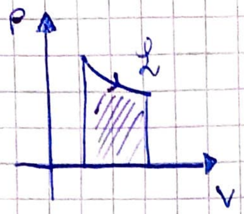
$p_0 \rightarrow 3p_0$

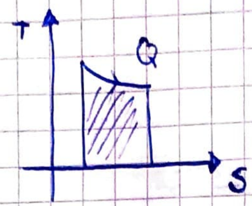
$V_0 \rightarrow \frac{V_0}{2}$

$p_0 V_0^{\gamma} = 3 p_0 \left(\frac{V_0}{2}\right)^{\gamma}$

$V_0^{\gamma} = 3 \cdot \frac{V_0^{\gamma}}{2^{\gamma}}$ $\quad 1 = \frac{3}{2^{\gamma}}$ $\quad 2^{\gamma} = 3$ $\quad \gamma = \log_2 3 \Rightarrow \gamma = \frac{\ln 3}{\ln 2}$

RIEPILOGO TERMODINAMICA





$\delta \mathcal{L} = p\,dV$
$\delta Q = T\,dS$

$pV = mRT$ in stati di equilibrio
$\downarrow$
gas perfetto

$U = mc_vT$

$$c_\alpha = \frac{1}{m}\frac{\delta Q_\alpha}{dT}$$

Se $\alpha = v \rightarrow c_v = \frac{1}{m}\frac{\delta Q_v}{T} \rightarrow$ 1° principio $\delta Q = \delta \mathcal{L} + dU$ $= \frac{1}{m}\frac{dU}{dT}$

$\mathcal{L} = \int_{A \to B \text{ reve}} p(V)\,dV$ es isoterma $p = \frac{mRT_0}{V} \rightarrow \mathcal{L} = mRT_0 \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V}$

ISOBARA $\rightarrow Q_p = mc_p\Delta T$ $\quad p = p_0 \quad \mathcal{L} = p_0\Delta V$

ISOTERMA $\rightarrow Q = \mathcal{L} = mRT_0 \ln \frac{V_B}{V_A}$ $\quad T = cost$

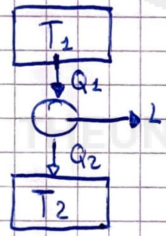
ISOCORA $\rightarrow Q_v = \Delta U = mc_v\Delta T$ $\quad V = V_0$

ADIABATICA $\rightarrow Q = 0 \quad \mathcal{L} = -\Delta U = -mc_v\Delta T \quad pV^\gamma = cost \quad TV^{\gamma-1} = cost \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v}$

$\Delta U = 0$ su un percorso chiuso (ciclo)
$\Delta S = 0$ su un ciclo

2° PRINCIPIO TERMODINAMICA $\rightarrow$ Kelvin e Clausius

MACCHINE TERMICHE $\rightarrow$



Q_1 assorbito $\quad Q_2$ ceduto dalla macchina

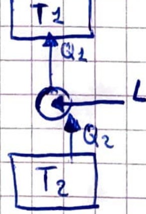
1° PRINCIPIO $\quad Q_1 - Q_2 = \mathcal{L}$

Rendimento $\eta = \frac{\mathcal{L}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

Se é una macchina reversibile di Carnot: $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{T_1}{T_2}$

$\Rightarrow \eta_{carnot} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$

MACCHINA FRIGORIFERA $\rightarrow$



$Q_1 = \mathcal{L} + Q_2$

$\varepsilon_f = \frac{Q_2}{\mathcal{L}} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$

Se é reversibile di Carnot $\Rightarrow \varepsilon_{fc} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$

POMPA DI CALORE: $\varepsilon_{pc} = \frac{Q_1}{\mathcal{L}} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}$
$\downarrow$
ε_{pc} CARNOT $= \frac{T_1}{T_1 - T_2}$

É più efficiente la pompa di calore per riscaldare l'ambiente, rispetto a raffreddare la cella a parità di lavoro entrante

$\Delta S_U = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{ambiente}$

Per le macchine $\Delta S_U = \Delta S_{sorgenti}$

Se ciclo reversibile $\Delta S_U = 0$
Se ciclo irreversibile $\Delta S_U > 0$

Il confronto della ΔS_U relativa a due processi è un indice del grado di irreversibilità di una trasformazione.

$\Delta S \Rightarrow \frac{\delta Q}{T}$ Se la T varia $\Delta S = \int_{T_i}^{T_f} \frac{\delta Q}{T}$