

Introduzione alla fisica

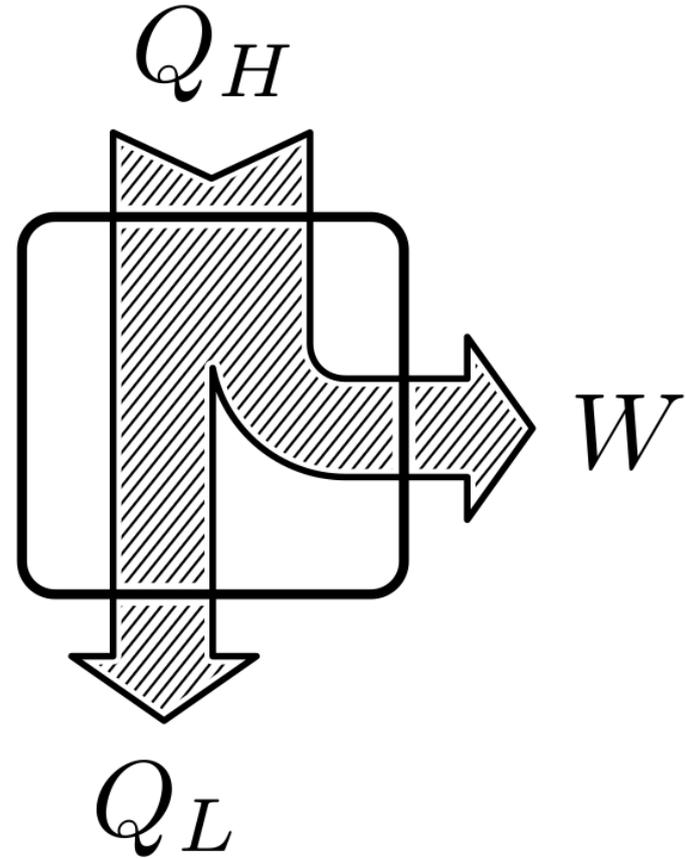
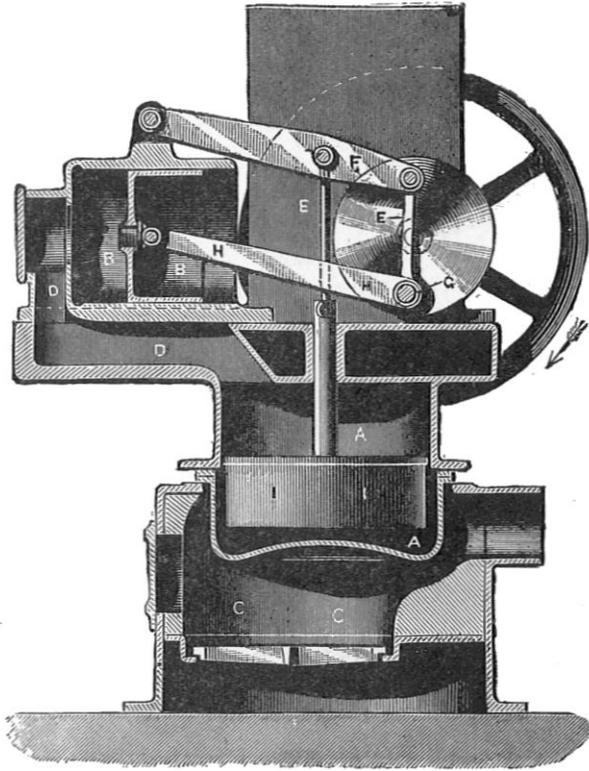
261SM

Macchine termiche

Prof. Pierre Thibault
pthibault@units.it



Macchine termiche

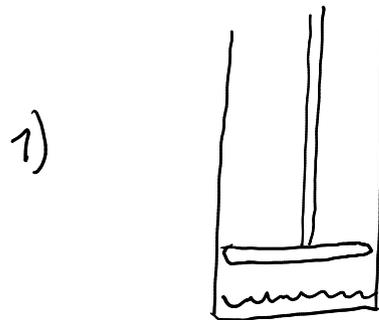


Macchine termiche

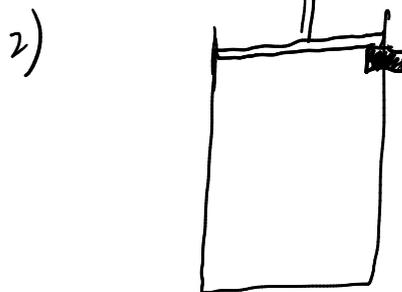
La prima "macchina a vapore"



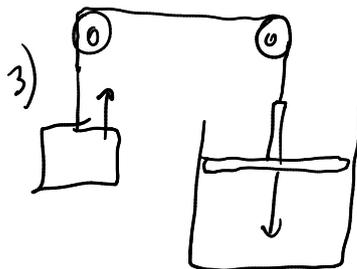
Denis Papin
(1647 - 1712)



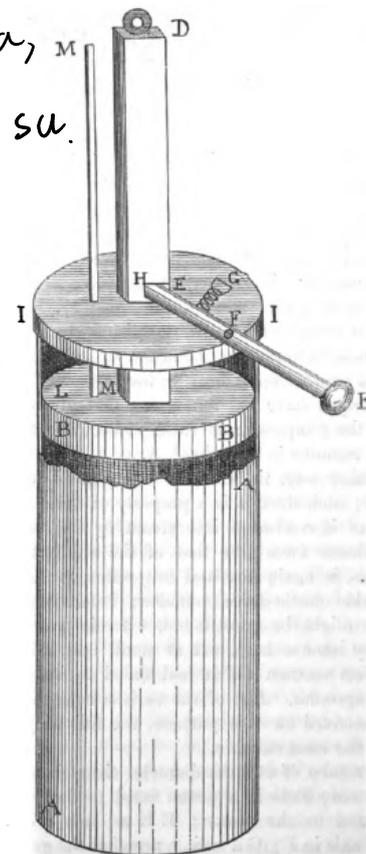
con una fonte di calore,
evaporare l'acqua,
spingendo il pistone su.



lasciare il vapore
raffreddare,

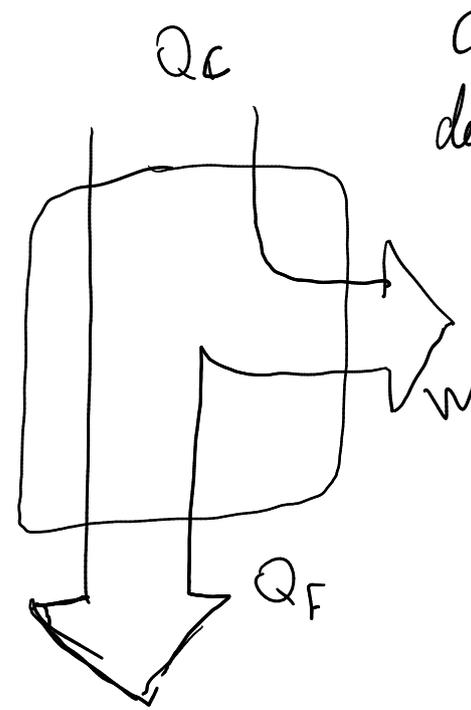
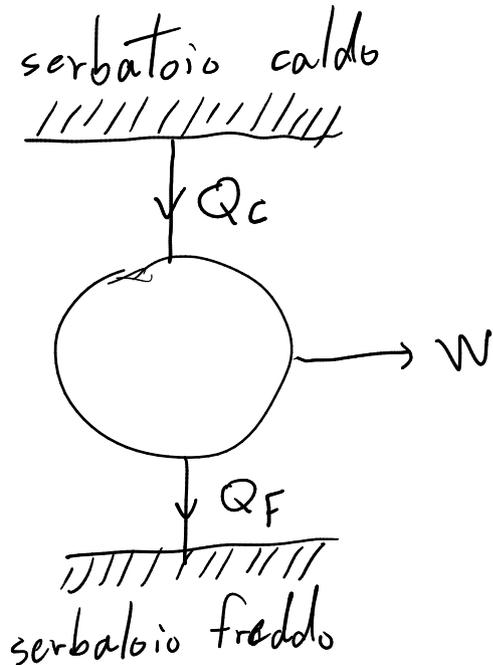


lavoro fatto
perché pressione
interna più bassa di
quella atmosferica.



Macchine termiche

- sistema che trasforma calore in lavoro
- funziona in un ciclo \rightarrow ciclo termodinamico

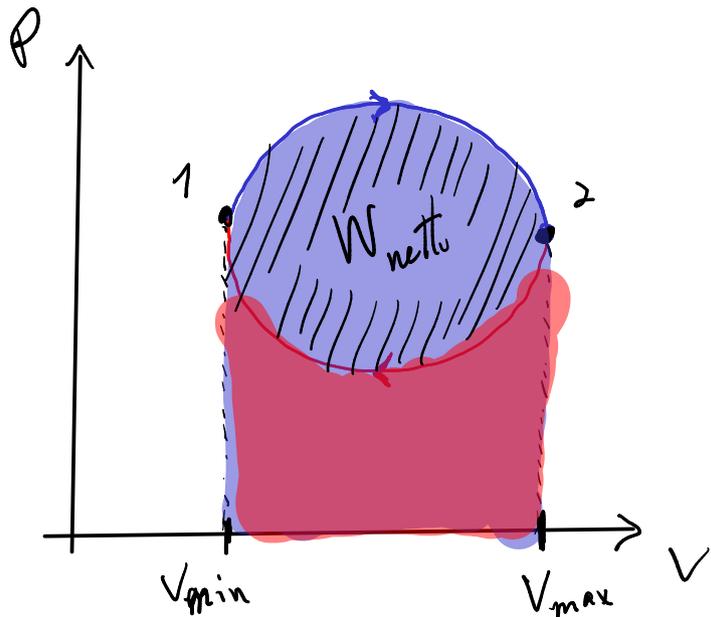


Conservazione dell'energia:

$$W + Q_F = Q_C$$

$$W = Q_C - Q_F$$

Cicli termodinamici

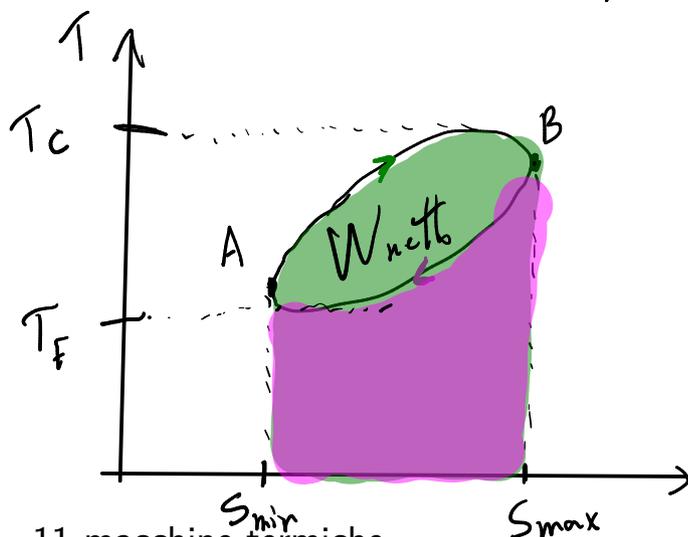


$$W_{12} = - \int_1^2 P dV$$

$$W_{21} = - \int_2^1 P dV$$

$W_{\text{netto}} = \oint P dV$

↳ lavoro netto fatto dal gas sull'ambiente



$$Q_C = Q_{AB} = \int_A^B T dS$$

calore dentro il sistema

$$Q_F = Q_{BA} = \int_B^A T dS$$

calore fuori del sistema

$$dU = \int T dS - \int P dV$$

$$Q_C - Q_F = W_{\text{netto}}$$

Rendimento

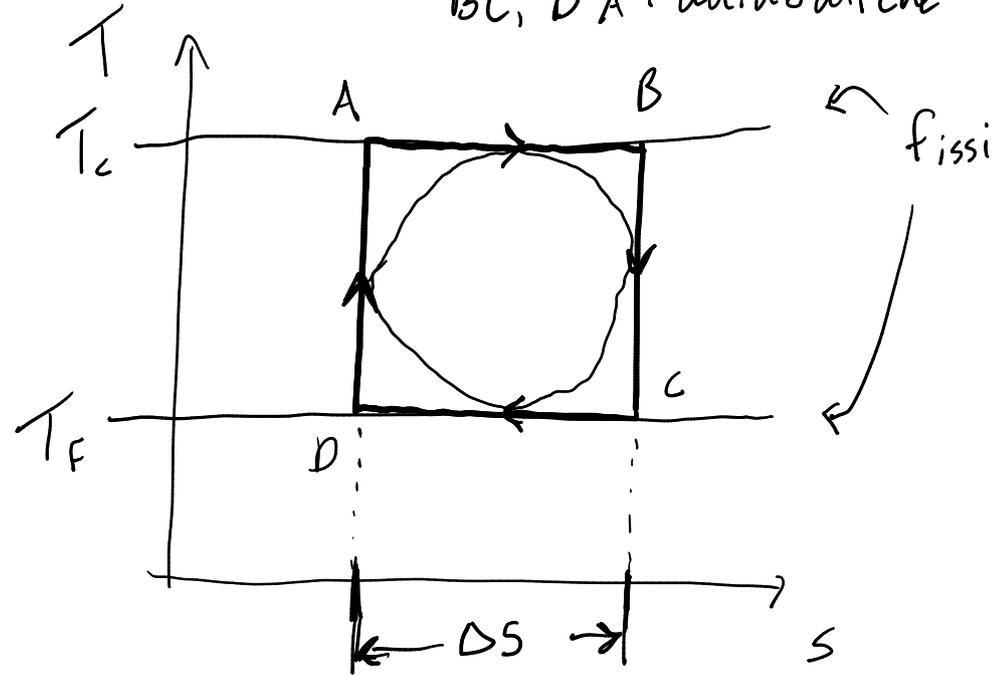
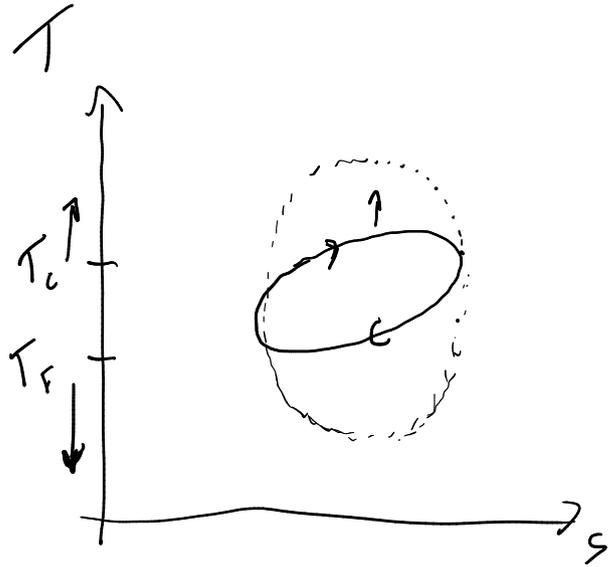
$$\eta = \frac{\text{beneficio}}{\text{costo}} = \frac{W_{\text{netto}}}{Q_C} = \frac{Q_C - Q_F}{Q_C} = \underbrace{1 - \frac{Q_F}{Q_C}}$$

$$0 \leq \eta \leq 1$$

in verità molto meno di 1 a causa del 2° principio

Rendimento massimo

AB, CD : isoterme
BC, DA : adiabatiche



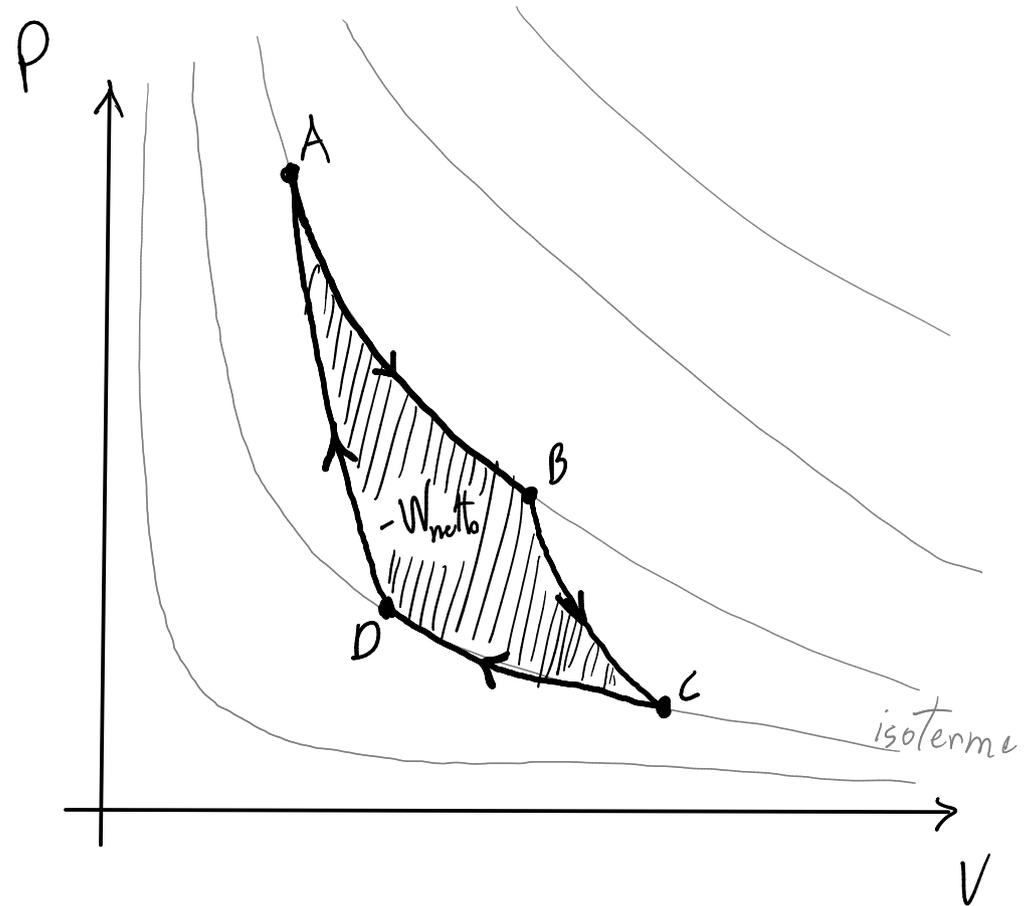
In generale: uno scarto di temperatura più grande migliora il rendimento.

Se T_c e T_F sono fissi, il rendimento è massimo quando il ciclo termodinamico traccia un rettangolo nel piano TS

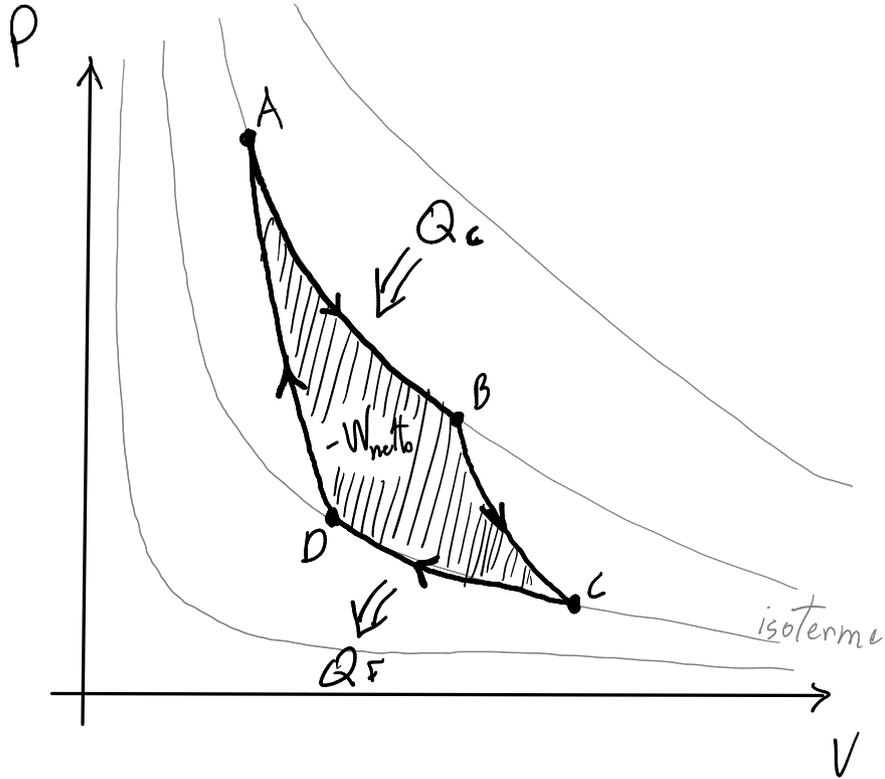
La macchina di Carnot



Nicolas Léonard Sadi Carnot
(1796 - 1832)



Il ciclo di Carnot



	Δu	Q	W
$A \rightarrow B$	0	$T_c \Delta S$	$-T_c \Delta S$
$B \rightarrow C$	$C_V (T_F - T_c)$	0	$C_V (T_c - T_F)$
$C \rightarrow D$	0	$-T_F \Delta S$	$T_F \Delta S$
$D \rightarrow A$	$C_V (T_c - T_F)$	0	$C_V (T_F - T_c)$

Esempio senza entropia: $W_{A \rightarrow B} = -\int P dV = -nRT_c \int \frac{dV}{V} = -nRT_c \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$

compatibile con il nostro risultato perché $\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$ 9

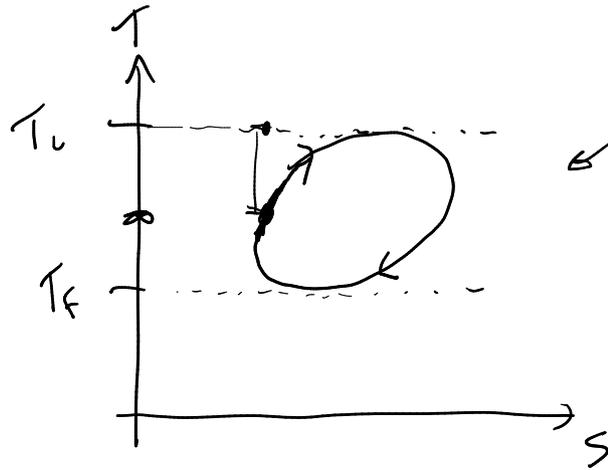
Il ciclo di Carnot

Rendimento di Carnot $\eta = 1 - \frac{Q_F}{Q_C} = 1 - \frac{T_F \Delta S}{T_C \Delta S} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Tra tutte le macchine termiche, la macchina di Carnot è la più efficiente

Macchina di Carnot = macchina reversibile



è reversibile?

il ciclo: sì

il gas: sì

gas + ambiente: no

⇒ gas + ambiente possono seguire un ciclo reversibile solo se gli scambi di calore succedono all' temperatura di uno o l'altro dei serbatoi.

Ricordo:
$$\Delta S = \left(\int_{\text{sistema}} \frac{dQ}{T} - \frac{Q}{T_0} \right)$$

↑ sistema
↑ serbatoio

← non-negativo, = 0 solo se $T = T_0$

Un motore di Carnot ha un rendimento del 25% quando il serbatoio freddo è a 27°C. Qual è la temperatura del serbatoio caldo?

macchina di Carnot: $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C}$

$$T_C = \frac{T_F}{1 - \eta} = \frac{273.15 + 27}{1 - 25\%} = 400 \text{ K} \approx 127^\circ\text{C}$$

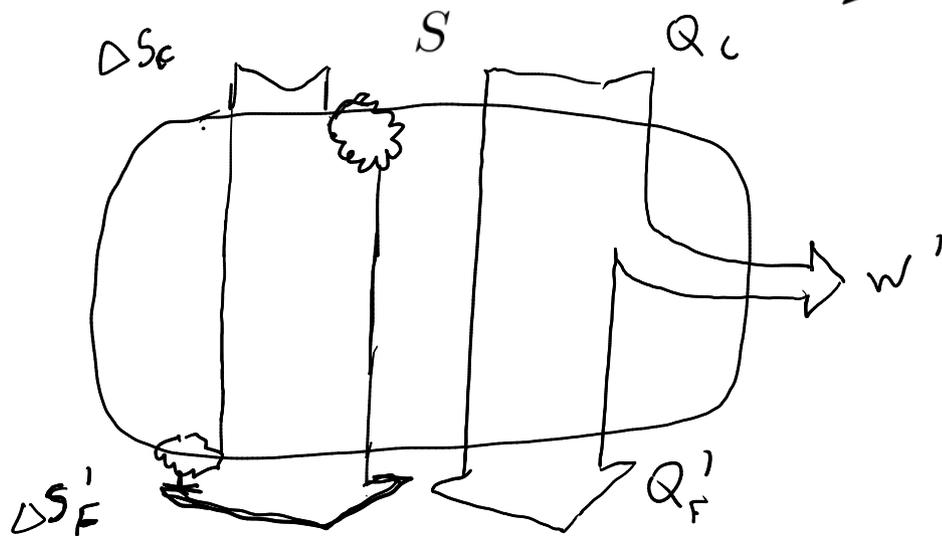
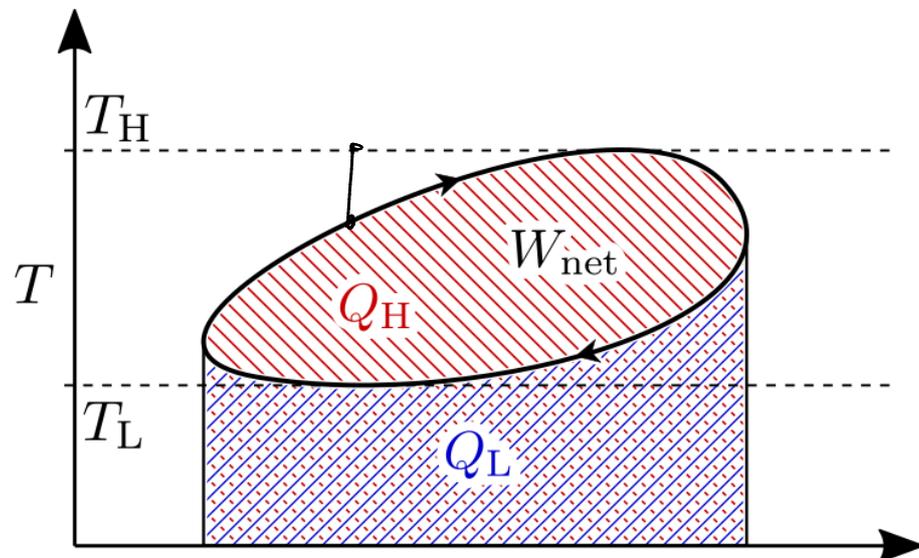
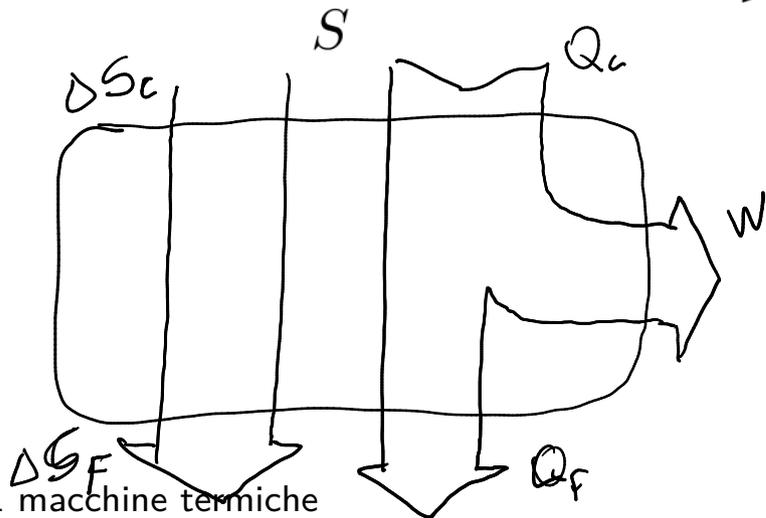
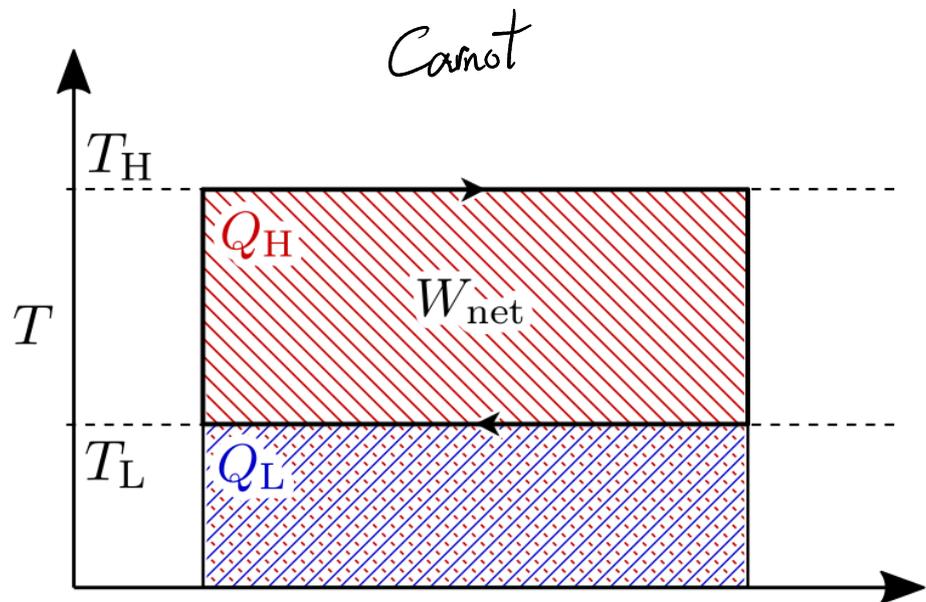
Qual è il rendimento di un motore che produce una potenza di 5 kW e scarica 10 kW di calore?

$$\frac{d}{dt} Q_F$$

$$\frac{d}{dt} W$$

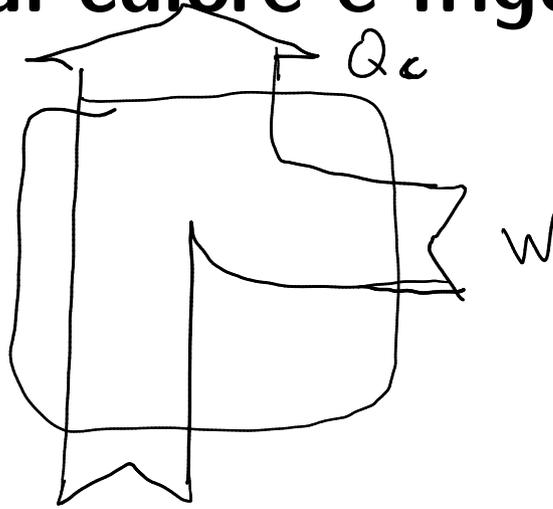
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{W}{Q_C} = \frac{W}{Q_F + W} = \frac{1}{1 + \frac{Q_F}{W}} \\ &= \frac{1}{1 + 2} = 33\% \end{aligned}$$

Flussi di calore e di entropia



Pompe di calore e frigoriferi

Frigorifero:
estrarre calore da un
serbatoio freddo



Pompa di calore:
pompate calore dentro
il serbatoio caldo

Q_F
Rendimento

$$K_F = \frac{Q_F}{W}$$

$$K_{pc} = \frac{Q_c}{W} \geq 1$$

Carnot

$$K_F = \frac{T_F}{T_C - T_F}$$

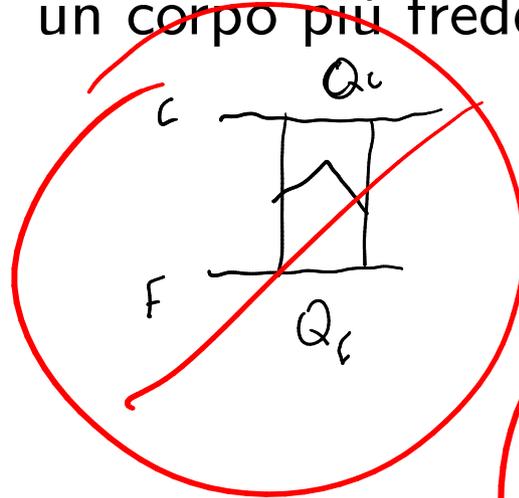
$$K_{pc} = \frac{T_C}{T_C - T_F}$$

Il secondo principio della termodinamica

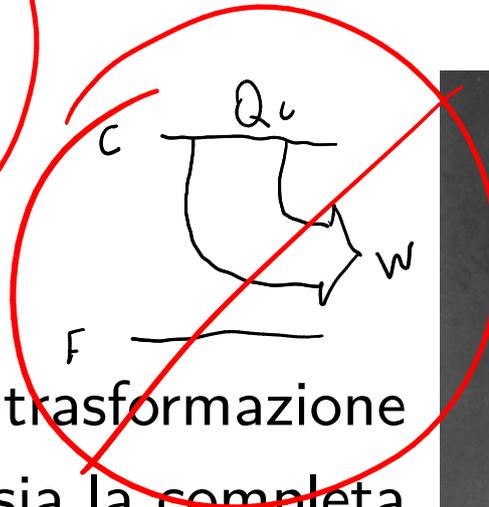


Rudolph Clausius
(1822-1888)

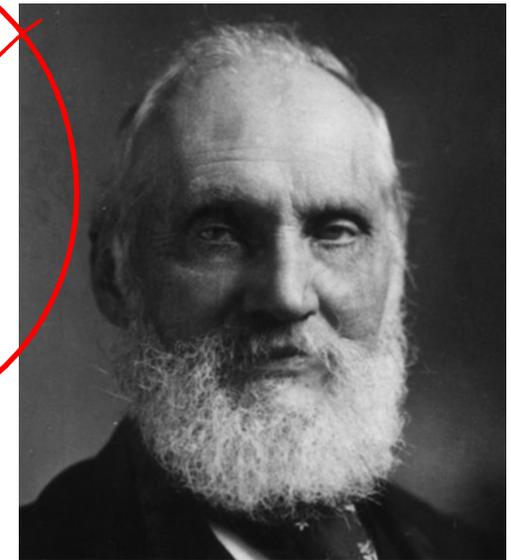
“È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia il passaggio di calore da un corpo più freddo a uno più caldo.”



William Thomson, Lord Kelvin
(1824-1907)



“È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia la completa conversione di calore in lavoro.”



Altre macchine

