

MACCHINE TERMICHE

Ciclo \equiv serie di trasformazioni che riporta il sistema nello stato iniziale

$Q_A > 0$ calore assorbito dal sistema

$Q_C < 0$ calore ceduto dal sistema

W = lavoro compiuto

Ciclo termico: converte calore in lavoro

$$W > 0, Q = Q_A - |Q_C| > 0$$

Sistema = sostanza che lavora

Macchina termica =

dispositivo che fa compiere al sistema il ciclo

Per un ciclo termico si definisce rendimento

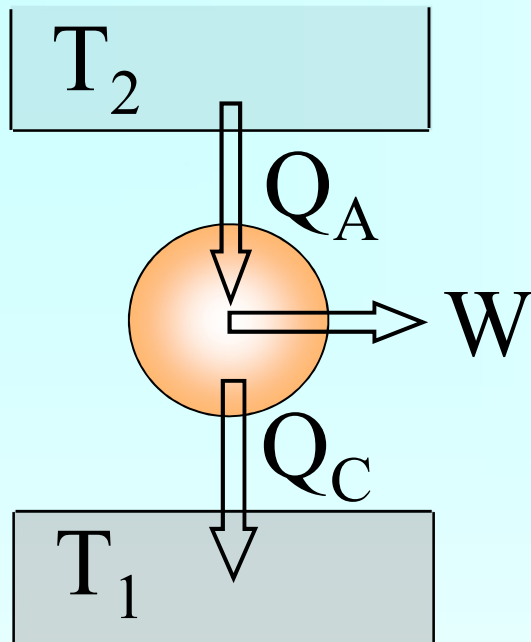
$$\eta = \frac{W}{Q_A}$$

Per un ciclo $\Delta U = 0 \Rightarrow W = Q_A - |Q_C|$

$$\eta = \frac{Q_A - |Q_C|}{Q_A} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_A}$$

$\eta < 1$ a meno che non si possa realizzare
una macchina termica in cui $Q_C = 0$

Schema di funzionamento di una **macchina termica**



Assorbe calore da una sorgente calda

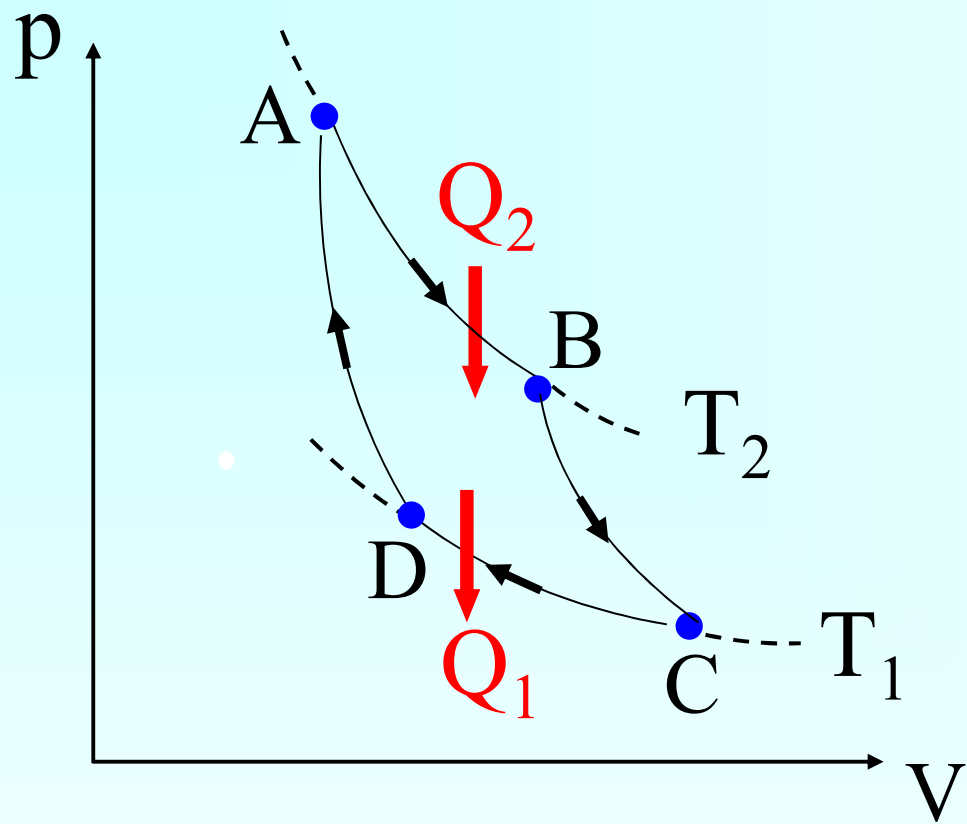
Compie lavoro

Cede calore ad una sorgente fredda

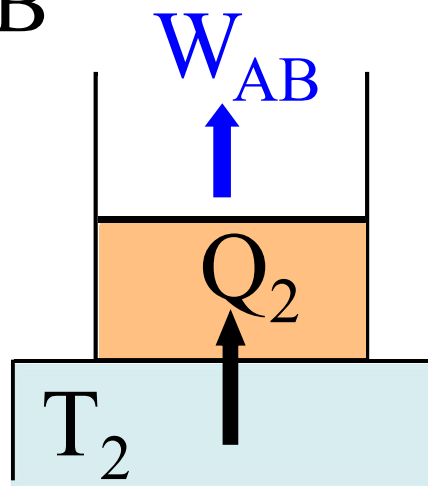
CICLO DI CARNOT

Ciclo costituito dalle seguenti trasformazioni:

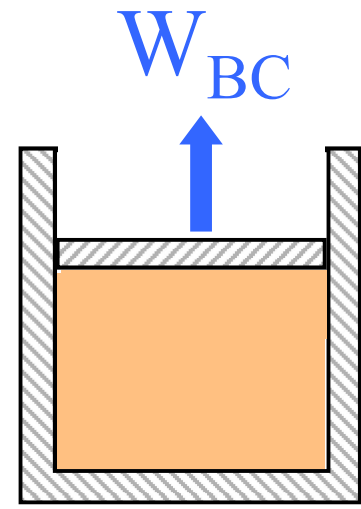
- 1) AB **espansione isoterma reversibile**
a temperatura T_2
- 2) BC **espansione adiabatica reversibile**
da temperatura T_2 a temperatura T_1
- 3) CD **compressione isoterma reversibile**
a temperatura T_1
- 4) DA **compressione adiabatica reversibile**
da temperatura T_1 a temperatura T_2



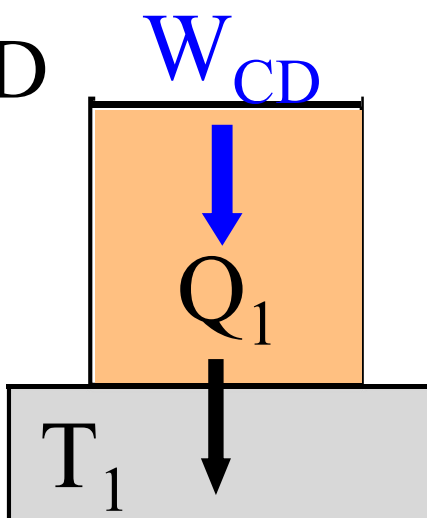
A → B



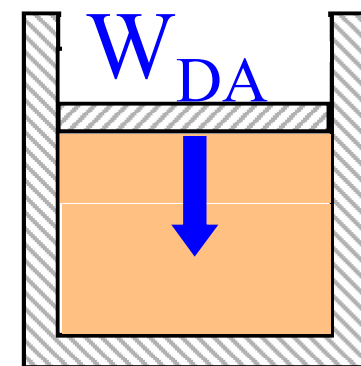
B → C



C → D



D → A



$$Q_2 = Q_{AB} = nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} = W_{AB} > 0$$

$$Q_{AB} = Q_A = \text{calore assorbito}$$

$$Q_{BC} = 0$$

$$W_{BC} = -\Delta U_{BC} = nc_V(T_2 - T_1) > 0$$

$$T_2 V_B^{\gamma-1} = T_1 V_C^{\gamma-1}$$

$$Q_1 = Q_{CD} = nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C} = W_{CD} < 0$$

$$Q_{CD} = Q_C = \text{calore ceduto}$$

$$Q_{DA} = 0$$

$$W_{DA} = -\Delta U_{DA} = nc_V (T_1 - T_2) = -W_{BC} < 0$$

$$T_1 V_D^{\gamma-1} = T_2 V_A^{\gamma-1}$$

$$T_1 V_C^{\gamma-1} = T_2 V_B^{\gamma-1}$$

Dividendo membro a membro $\Rightarrow \frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D} \Rightarrow$

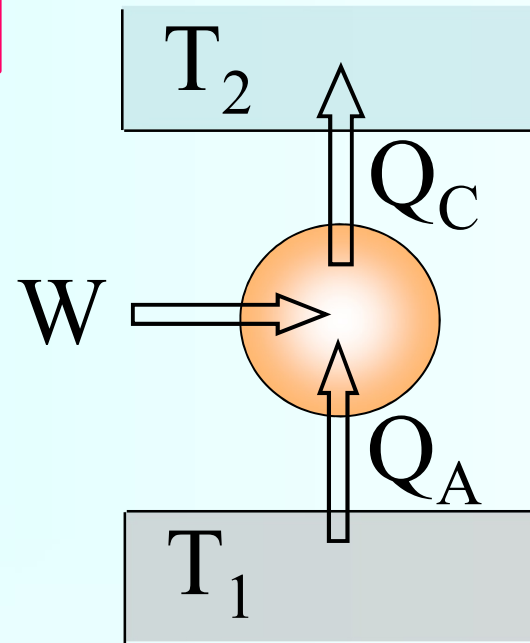
$$\eta = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} < 1$$

Il rendimento dipende solo dalle temperature

$$1 + \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0$$

CICLI FRIGORIFERI

Schema di funzionamento
di una **macchina frigorifera**



Assorbe calore da una sorgente fredda

Cede calore ad una sorgente calda

Viene compiuto lavoro sul sistema

$$\xi = \frac{Q_A}{W}$$

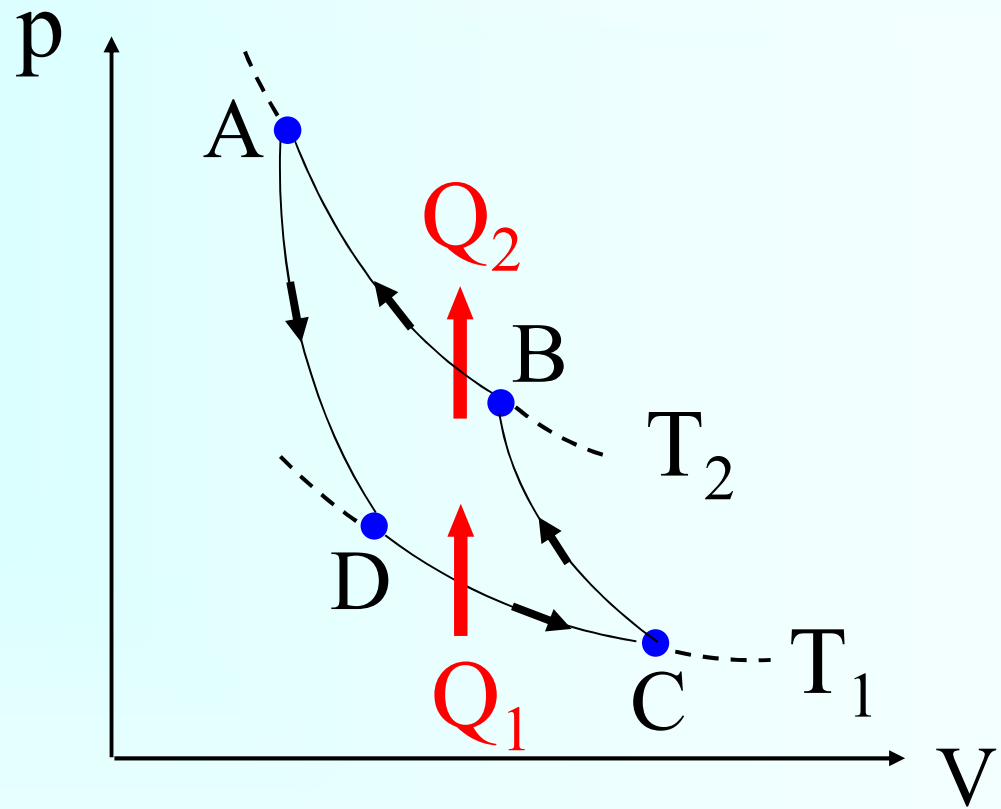
efficienza del frigorifero

Ciclo di Carnot reversibile percorso in senso inverso:

i calori e i lavori scambiati lungo ogni trasformazione cambiano segno, ma rimangono invariati in valore assoluto

$$\eta = \frac{Q_1}{|W|} =$$

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



Secondo principio della termodinamica

Dallo studio delle macchine termiche si deduce che

**non tutto il calore assorbito
può essere trasformato in lavoro,**
ma una parte di esso viene ceduta
alla sorgente a temperatura minore

Tale **impossibilità sperimentale** è espressa
nell'**enunciato di Kelvin – Planck:**

È impossibile realizzare una trasformazione
il cui **unico risultato** sia assorbire calore
da una sorgente e convertirlo completamente
in lavoro

Consideriamo un **processo non ciclico** che **sembrerebbe violare** il secondo principio: l'**espansione isoterma** di un gas ideale

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q = W$$

La trasformazione completa del calore assorbito in lavoro non è **l'unico risultato**, in quanto si ha **una variazione delle coordinate (p, V) del sistema**

Lo schema di funzionamento di una **macchina frigorifera** evidenzia **un'impossibilità sperimentale** espressa nell'**enunciato di Clausius del secondo principio**:

È impossibile realizzare una trasformazione il cui **unico risultato** sia il trasferimento di calore da un corpo a temperatura minore ad uno a temperatura maggiore

Si può dimostrare che i due enunciati sono equivalenti

Indichiamo con

K verità dell' enunciato di Kelvin-Planck

–K falsità dell' enunciato di Kelvin-Planck

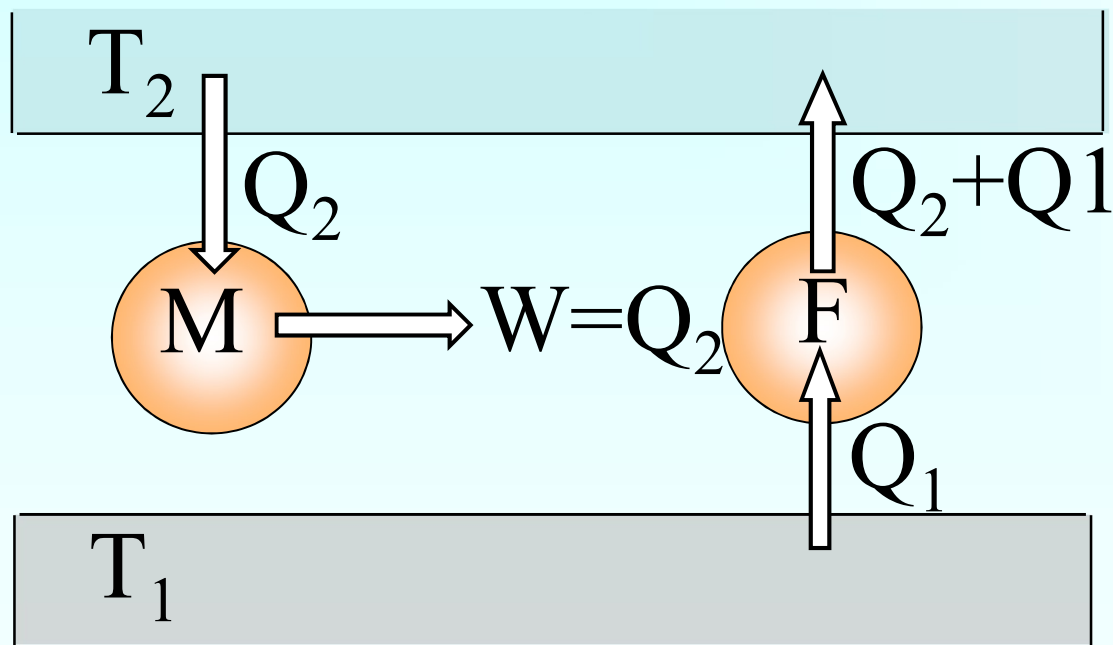
C verità dell' enunciato di Clausius

– C falsità dell' enunciato di Clausius

$$K \equiv C \quad \text{se} \quad -K \Rightarrow -C \quad -C \Rightarrow -K$$

– $K \Rightarrow -C$

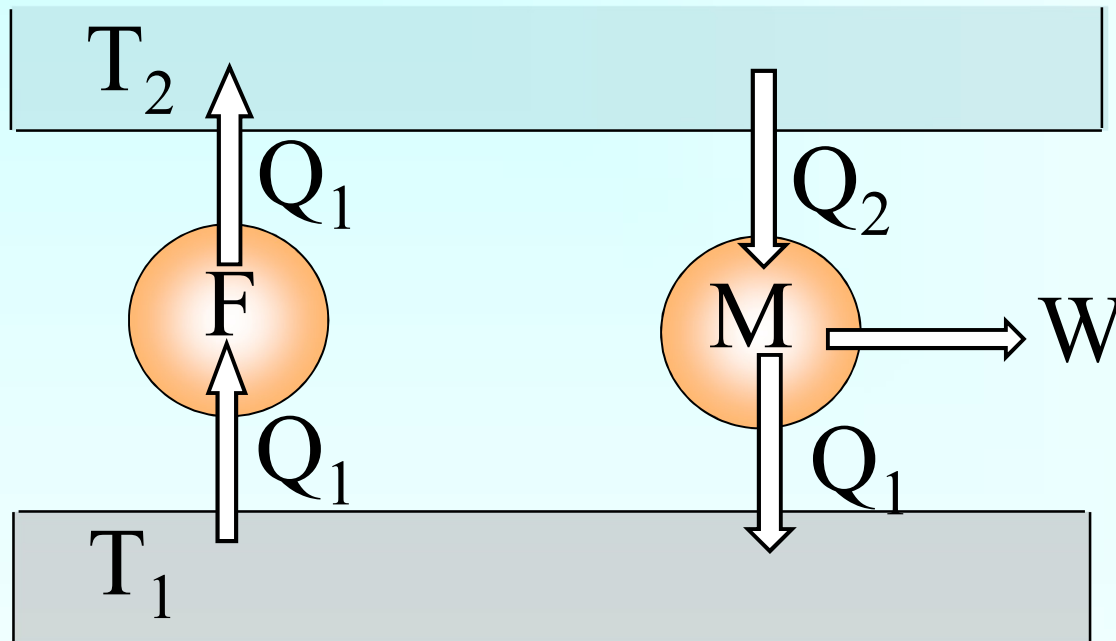
Consideriamo una macchina termica M che viola K senza cedere calore a T_1 e un frigorifero F che non viola C



$M + F$ assorbono Q_1 a temperatura T_1 e lo cedono a T_2 , violando C

– C \Rightarrow –K

Consideriamo un frigorifero F che viola C
e una macchina termica M che cede Q_1 a T_1
senza violare K



F+M assorbono $Q_2 + Q_1$ a temperatura T_2
e lo trasformano in lavoro, violando K