

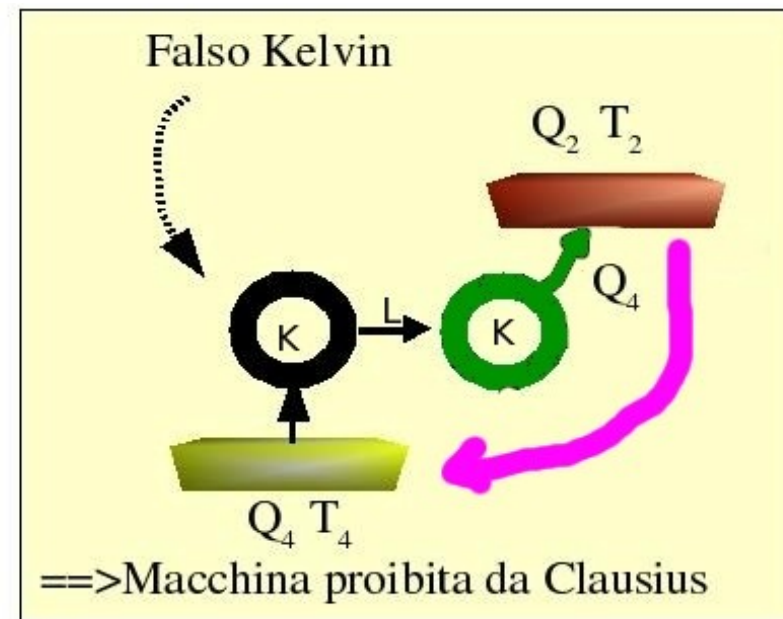
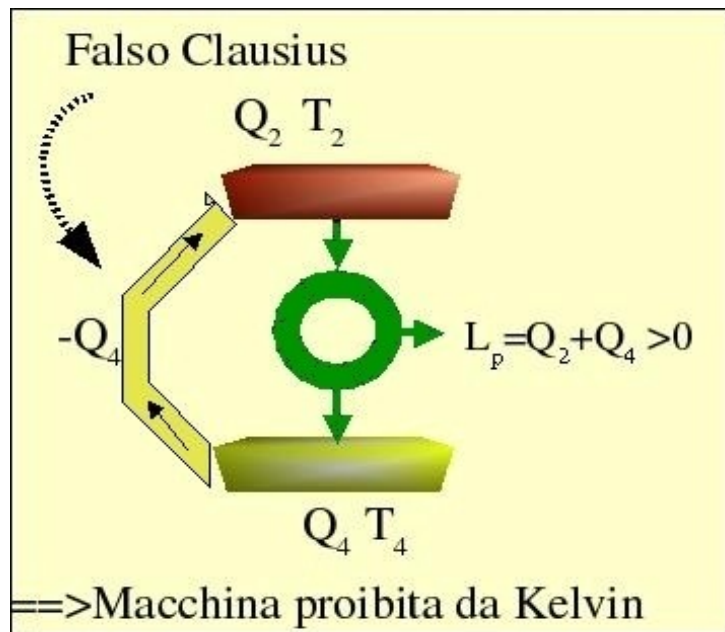
# Termodinamica

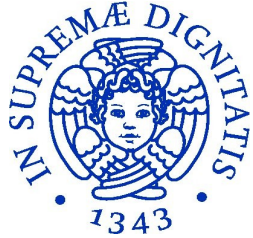
## Equivalenza Clausius - Kelvin



**Clausius:** *Il passaggio del calore da un corpo piu' caldo ad un piu' freddo e' irreversibile*

**Lord Kelvin:** *La conversione di lavoro in calore e' irreversibile.*





# **Termodinamica**

## **Equivalenza Clausius - Kelvin**

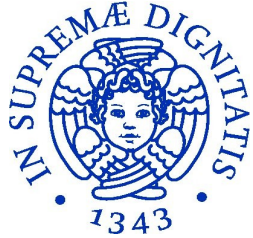


**I due enunciati sono equivalenti**

**ma possiamo anche dire**

*e' sempre possibile trasformare il lavoro ordinato in lavoro disordinato, mentre non e' possibile un processo il cui unico risultato sia quello di trasformare il lavoro disordinato in lavoro ordinato.*

nota l'asimmetria!!



# **Termodinamica**

## **Il principio**

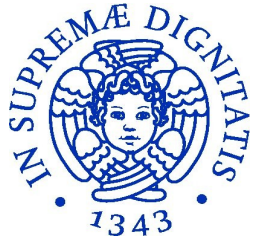


**Nota poco conclusiva.....**

La natura da una parte, fissa il senso in cui si "muove" il calore, quello dal caldo al freddo, dall'altra privilegia la trasformazione totale del lavoro in calore mentre limita l'inverso cioè la conversione del calore in lavoro.

**Non c'e' simmetria.....allora.....**

L'universo e' un sistema isolato e pertanto termodinamicamente ogni sua trasformazione smorza le differenze in temperatura delle sue parti fino ad un equilibrio termico universale in cui la vita potrebbe essere piuttosto difficile.....



# Termodinamica

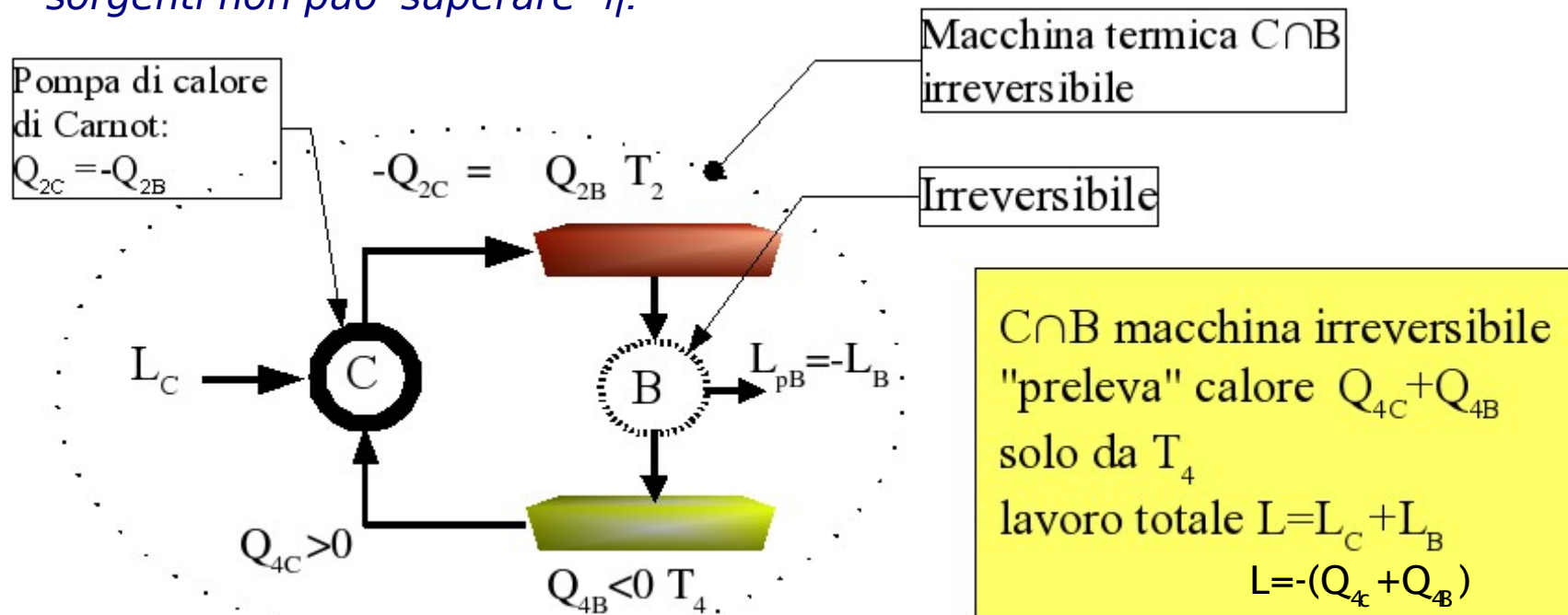
## Teorema di Carnot

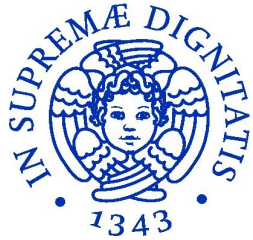
### Come quantificare il II principio



Tutte le macchine termiche reversibili che scambiano calore con due sorgenti a temperature  $T_2$  e  $T_4$  hanno lo stesso rendimento  $h$ .

Il rendimento di ogni macchina **irreversibile** operante tra le stesse sorgenti non puo' superare  $\eta$ .



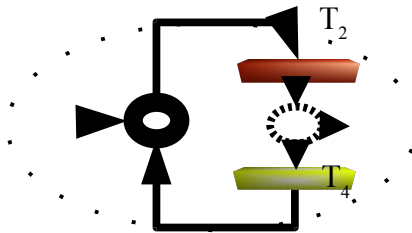


# Termodinamica

## Teorema di Carnot



Il rendimento di ogni macchina **irreversibile** operante tra le stesse sorgenti non puo' superare  $\eta$ .



CnB **irreversibile**  
 calore  $Q_{4c} + Q_{4B}$  da  $T_4$   
 lavoro  $L = L_C + L_B$

$$-(Q_{4c} + Q_{4B}) = L \geq 0$$

per Kelvin L

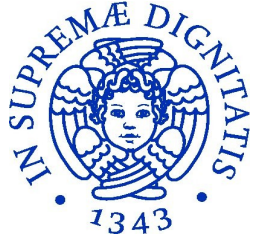
$$Q_{4c} + Q_{4B} \leq 0 \implies |Q_{4c}| \leq |Q_{4B}|$$

$$\eta = \frac{Q_2 + Q_4}{Q_2} = 1 + \frac{Q_4}{Q_2} = 1 - \frac{T_4}{T_2}$$

$\eta$  di carnot  
 usata direttamente

$$\eta_c = 1 + \frac{-Q_{4c}}{-Q_{2c}} = 1 - \frac{|Q_{4c}|}{Q_{2B}} \geq 1 - \frac{|Q_{4B}|}{Q_{2B}} = \eta_B$$

$\eta$  di B



# Termodinamica

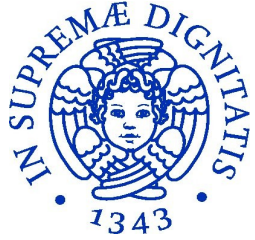
## Nota di Clausius



Da: 
$$\eta = 1 - \frac{T_4}{T_2} \geq 1 + \frac{Q_{4B}}{Q_{2B}}$$

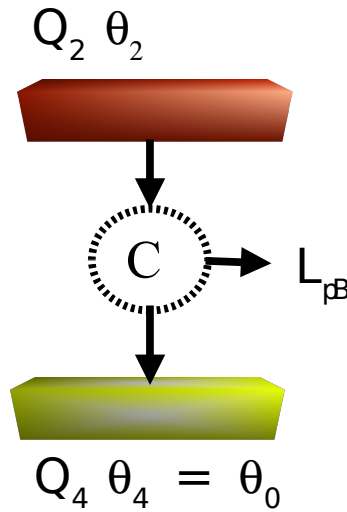
$$\frac{Q_{4B}}{Q_{2B}} \leq -\frac{T_4}{T_2} \quad \text{ovvero} \quad \frac{Q_{4B}}{T_4} + \frac{Q_{2B}}{T_2} \leq 0$$

- Nei cicli delle macchine reversibili (vale l'uguaglianza) le quantità di calore scambiate con le sorgenti, a parte il segno, sono proporzionali alle temperature delle rispettive sorgenti.
- Nei cicli delle macchine irreversibili (vale la disequaglianza) le quantità di calore scambiate con le sorgenti tendono a cedere proporzionalmente più calore di quello che assorbono.



# Termodinamica

## Temperatura termodinamica assoluta



$$\eta = 1 - \frac{T_4}{T_2}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_4}{Q_2} = 1 - \frac{\theta_4}{\theta_2} \quad d \propto u i \theta_2 = \theta_4 \frac{Q_2}{Q_4}$$

Scala della temperatura

$$T \equiv \theta$$