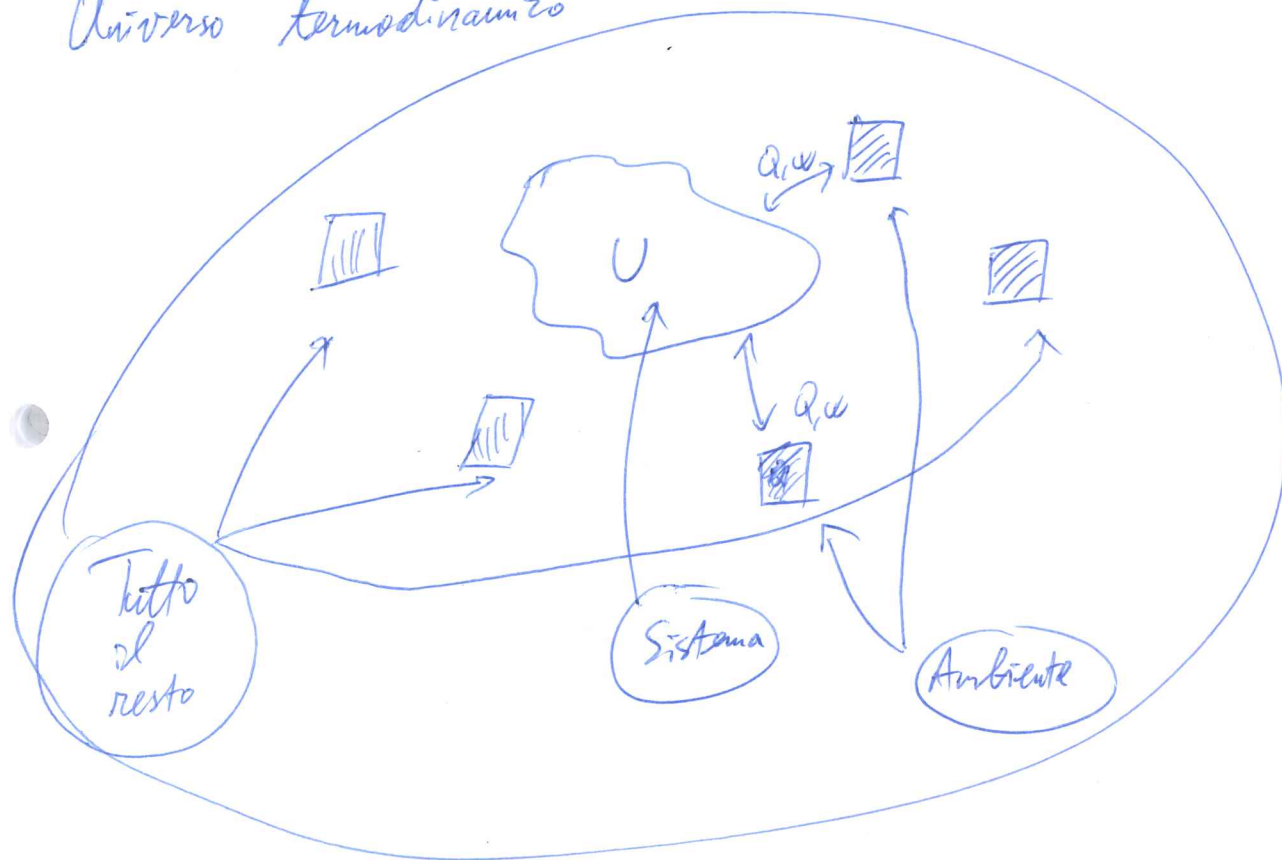


## Reversibilità e irreversibilità

- Il principio: non è sufficiente che l'energia si conservi (come da I principio) affinché una trasformazione termodinamica avvenga in Natura

Universo termodinamico



▨ : apparati, serbatoi...

Universo termodinamico

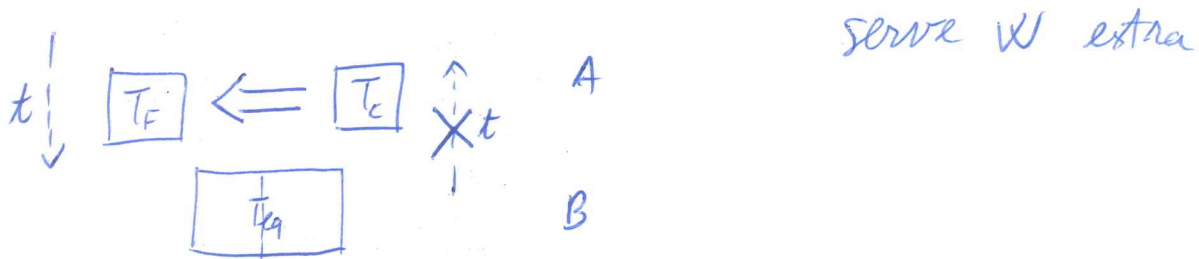
- Trasformazioni reversibili: tali che si può fare la trasformazione inversa (compreso ri-sceambiare calore con i serbatoi) e tornare esattamente allo stato di prima, senza coinvolgere tutto il resto

Di fatto II principio dice che

In Natura tutte le trasformazioni  
sono irreversibili!

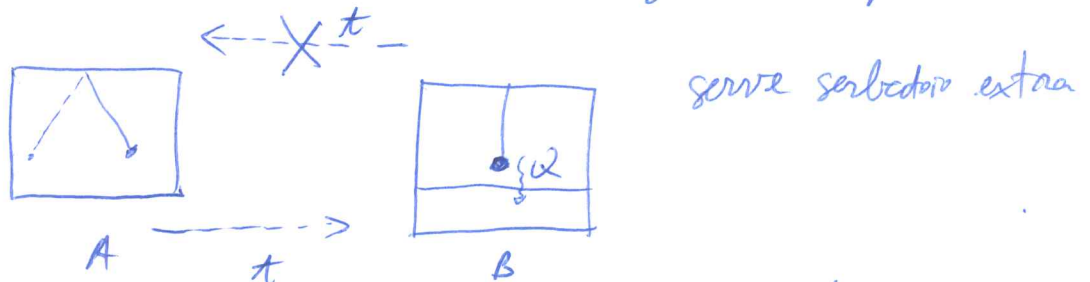
Due classi di esempi importanti

• Irreversibilità termica (causa variazioni finite di temperatura)



$A \rightarrow B$  spontaneo, per fare  $B \rightarrow A$  bisogna compiere lavoro ed usare macchina frigorifera (vietato da enunciato di Clausius)

• Irreversibilità meccanica (causa attriti e forze dissipative)



$A \rightarrow B$  spontaneo, per fare  $B \rightarrow A$  serve un serbatoio freddo per scaricare parte dell'energia recuperata dall'ambiente (vietato da enunciato di Kelvin-Planck)

Altri esempi: espansione libera gas, rottura filo in tensione, scoppio bolle di sapone, reazioni chimiche, miscelamento di sostanze

Per avere trasformazioni reversibili: no "salti" di temperatura finiti, no attriti. Trasformazioni quasi-statiche senza attriti reversibili

In pratica trasformazioni perfettamente irreversibili impossibili?

Notoria possiamo solo cercare di "arricchire" il più possibile

$T. \text{ Reali} = \lim T. \text{ reali}$

↳ cause di irreversibilità ridotte

↑ secondo principio non dice nulla a riguardo! al punto da essere trascurabili

II principio della termodinamica di fatto definisce da "freccia del tempo"



Meccanica: leggi simmetriche sotto inversione temporale

Termodinamica: freccia del tempo, passato e futuro sono ben distinguibili

Apparente contraddizione meccanica-termodinamica?

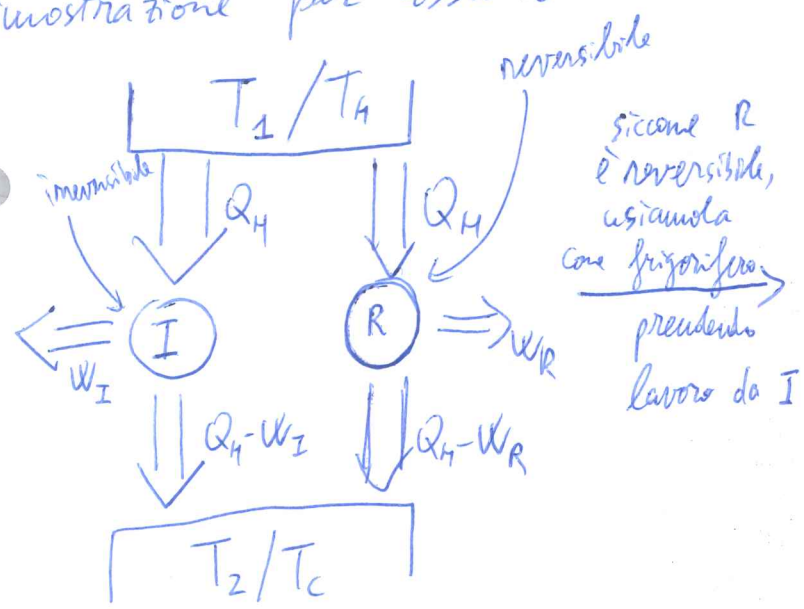
### Teorema di Carnot

Due serbatoi di calore  $T_1 > T_2$

Consideriamo macchine termiche che operano con questi termostati: quali hanno il rendimento maggiore?

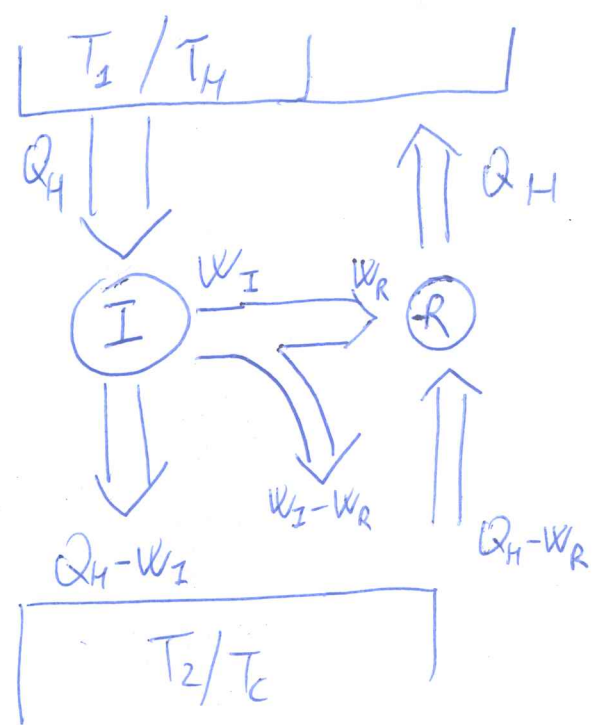
Nessuna macchina operante tra due termostati può avere rendimento maggiore di una macchina che operi tra i termostati in maniera reversibile  
(teorema di Carnot)

Dimostrazione per assurdo



Per ipotesi/assurdo:  $\eta_I \geq \eta_R$

Siccome  $\eta = \frac{W}{Q_{in}} \Rightarrow W_I > W_R$   
 $Q_{in} = Q_H$

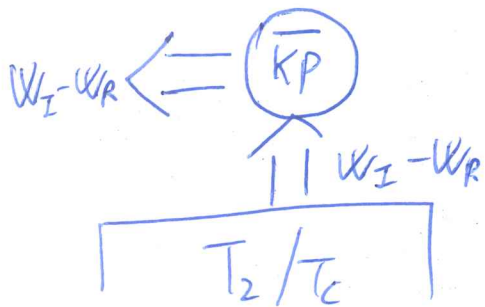


Avanzano  $W_I - W_R$

$$Q_H - W_R - Q_H + W_I = W_I - W_R$$

$$\boxed{T_1/T_H}$$

≡



Equivalente a una macchina anti-Kelvin-Planck che trasforma calore  $W_I - W_R$  assorbito da  $T_2$  in lavoro  $W_I - W_R$  senza scattare su un altro serbatoio  $\rightarrow$  vietato!  $\rightarrow \boxed{\eta \leq \eta_{rev}}$

Sempre per assurdo si dimostra che:

Tutte le macchine reversibili operanti tra gli stessi due termostati hanno lo stesso rendimento (corollario del teorema di Carnot)

Dimostrazione

$\eta_{1,rev}$

$\eta_{2,rev}$

Supponiamo  $\eta_{1,rev} > \eta_{2,rev}$

stessa procedura di prima si porta

a  $\eta_{1,rev} \leq \eta_{rev}$

E  $\eta_{2,rev} \leq \eta_{1,rev}$

$\eta_{1,rev} = \eta_{2,rev}$

$\Leftarrow$

Nessuna ipotesi sul sistema termodinamico e tipo di ciclo (ma di fatto per avere una trasformazione reversibile con solo due termostati servono due isoterme e due adiabatiche)

$\rightarrow$  il corollario però è più generale ed ha applicazioni importanti che vedremo in seguito