

Fisica Generale

Settimana 11 - Lezioni 29-30

Facoltà di Ingegneria

Livio Lanceri



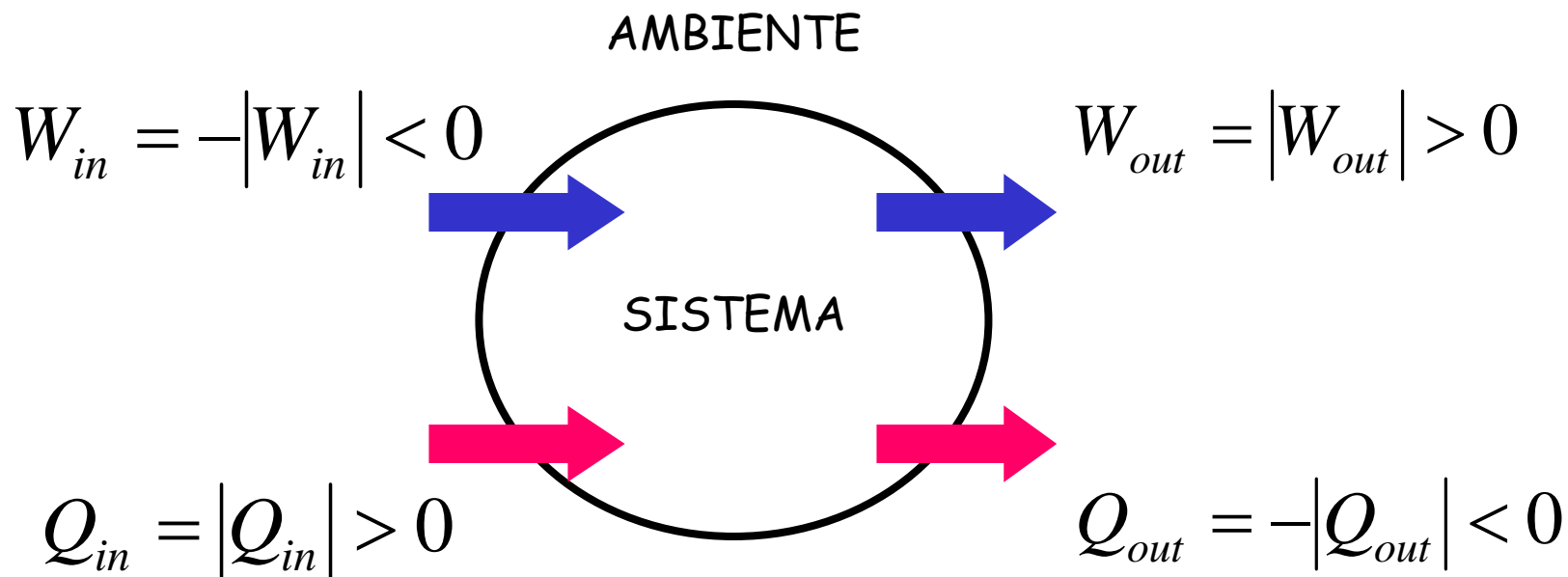
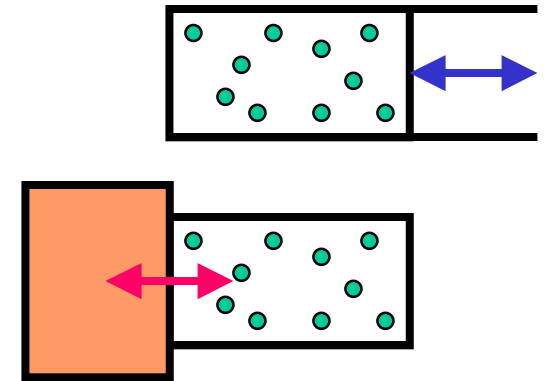
Introduzione

- *Trasferimenti di energia tra sistemi:*
 - lavoro W e calore Q
- *Primo Principio della Termodinamica*
 - Energia interna U di un sistema, lavoro, calore: bilancio energetico (conservazione dell'energia)
- *Trasformazioni termodinamiche*
 - Sistema e ambiente
 - Trasformazioni reversibili e irreversibili
 - Macchine termiche cicliche, rendimento
- *Il secondo principio della termodinamica*
 - Non tutte le trasformazioni compatibili con il primo principio sono possibili....
 - Enunciato di Kelvin ("macchine termiche")
 - Enunciato di Clausius ("macchine frigorifere")
 - Entropia



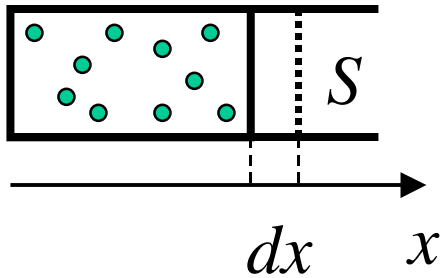
Trasferimenti di energia tra sistemi

- "ordinati": lavoro W
 - p.es.: espansione o compressione di un gas
- "disordinati": calore Q
 - p.es.: contatto tra corpi a temperature diverse

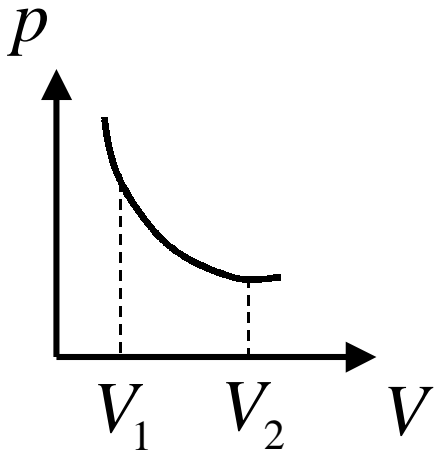


Lavoro termodinamico

- *P.es. Espansione o compressione di un gas:*



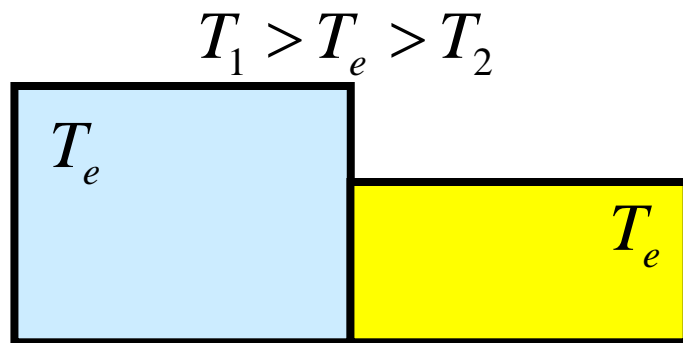
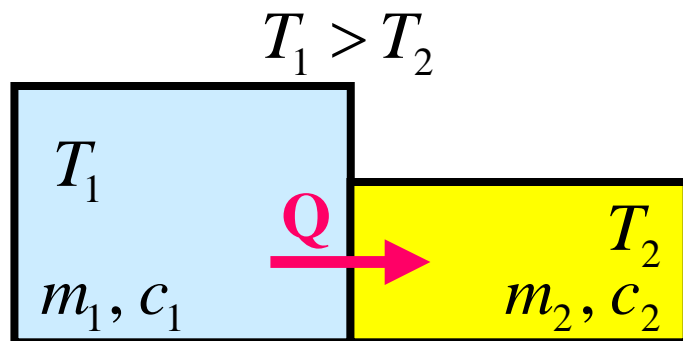
$$\delta W = F dx = p S dx = p dV \quad (dV > 0 \Rightarrow \delta W > 0)$$



$$W = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV$$



Calore e calori specifici



• Definizione operativa

- Calore Q dal corpo più caldo a quello più freddo

- Corpo 1: cede calore $Q_1 < 0$

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_e - T_1) < 0$$

- Corpo 2: acquista calore $Q_2 = -Q_1 > 0$

$$-Q_1 = Q_2 = m_2 c_2 (T_e - T_2) > 0$$

- Calore specifico di riferimento e unità di misura:

$$c_{H_2O} = 1 \frac{kcal}{kg K}$$



Equivalenza tra lavoro e calore

- *La temperatura di un corpo puo` essere aumentata eseguendo una quantita` nota W (joule) di lavoro meccanico (attrito)*
- *Il corpo puo` essere riportato allo stato iniziale facendogli cedere calore (Q (calorie), misurabile)*
- *Si trova che il rapporto e` sempre lo stesso:*

$$\frac{W}{Q} = 4.19 \frac{\text{joule}}{\text{calorie}}$$

- *Conclusione: W , Q equivalenti: entrambi sono forme di energia scambiata fra sistemi, misurabili in joule*



Calori specifici...

Lo studio dei

“calori specifici” (calore scambiato per unità di sostanza per una variazione unitaria di T)

“calori latenti” (richiesti per ottenere transizioni di fase a T costante)

e` importante perche` fornisce informazioni sulla struttura microscopica e le energie di legame

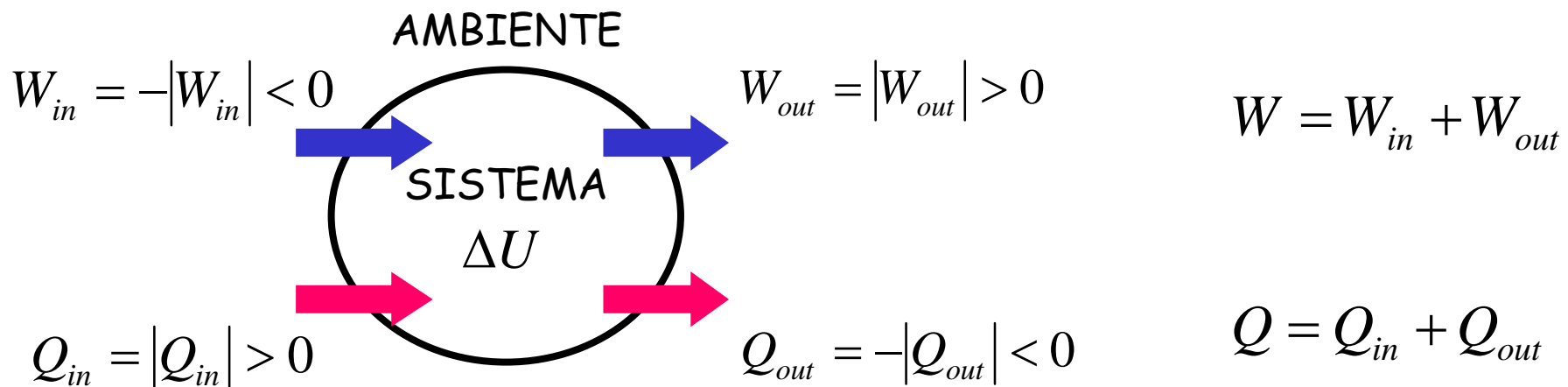


Primo Principio della Termodinamica

- *Energia interna, lavoro, calore: bilancio energetico (conservazione dell'energia)*

- Se in una trasformazione termodinamica un sistema scambia lavoro totale W e calore totale Q con l'ambiente, l'energia interna del sistema subisce una variazione ΔU :

$$\Delta U = Q - W \qquad dU = \delta Q - \delta W$$



Primo Principio della Termodinamica

- *Alcune affermazioni non banali implicite nell'enunciato:*
 - Lavoro W e calore Q sono entrambi "energie scambiate" dal sistema;
 - W e Q non sono, singolarmente considerate, "funzioni di stato": in generale a trasformazioni diverse tra due stati corrispondono lavori e calori scambiati diversi
 - La combinazione $Q-W$ e' invece una "funzione di stato", e rappresenta la variazione dell' "energia interna del sistema" tra stato iniziale e finale della trasformazione
 - Se la trasformazione e' ciclica (stato finale = stato iniziale), allora su un ciclo:

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



Trasformazioni termodinamiche

- **Trasformazioni reversibili:**

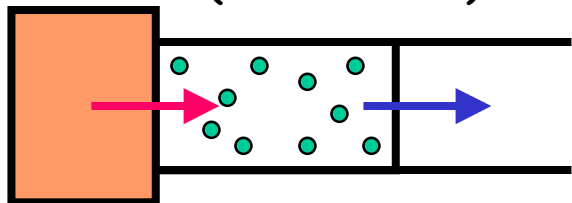
- Se il sistema ed anche l'ambiente possono entrambi essere riportati allo stato iniziale
- (in pratica: approssimabili con trasf. quasi statiche, senza dissipazione di energia meccanica, con piccole differenze di temperatura)

- **Trasformazioni irreversibili:**

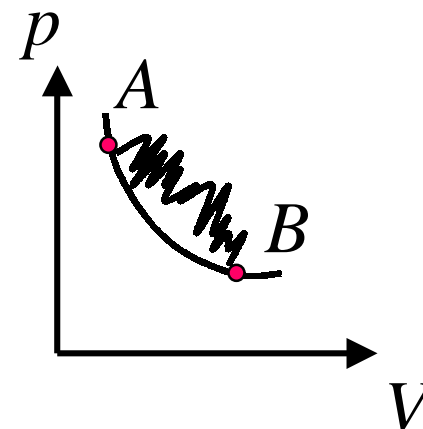
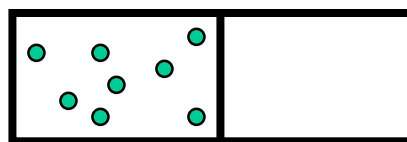
- Se, quando il sistema viene riportato allo stato iniziale, l'ambiente è irrimediabilmente modificato
- (in pratica: tutte le trasformazioni reali)

- **Esempi**

Espansione isoterma
(reversibile)



Espansione adiabatica
contro il vuoto (irreversibile)



Macchine termiche cicliche

Riconducibili allo schema:

Calore $Q_H > 0$ prelevato a T_H

Lavoro fornito $W > 0$

Calore $Q_C < 0$ ceduto a $T_C < T_H$

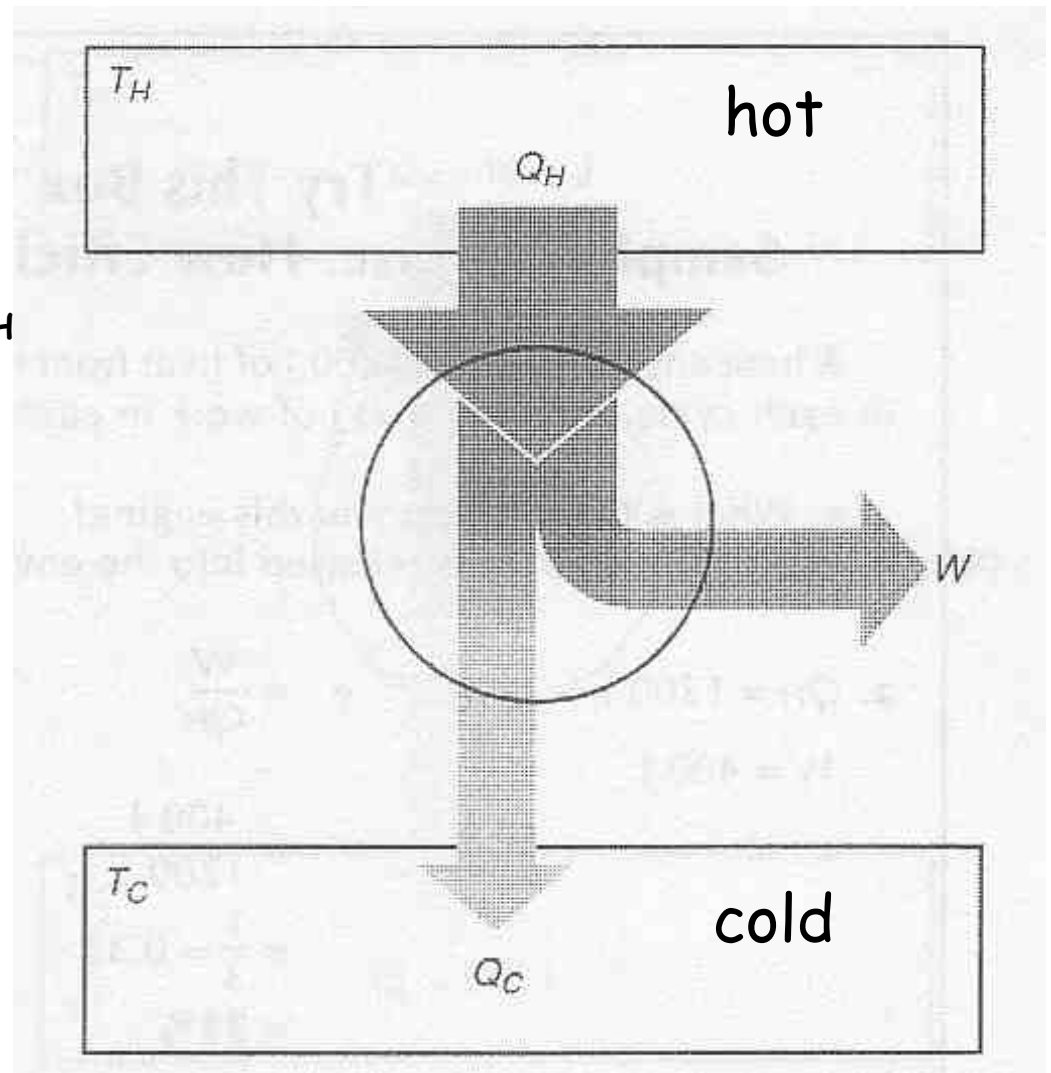
Rendimento

$$\eta \equiv \frac{W}{Q_H} = \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|}$$

Per il Primo Principio:

$\Delta U = 0$ su un ciclo \Rightarrow

$$\Rightarrow W = Q = Q_H + Q_C = |Q_H| - |Q_C|$$



Ciclo reversibile di Carnot

Analisi fatta da Carnot:

Ciclo idealizzato con rendimento "massimo"

ab: espansione isoterma reversibile a T_1

bc: espansione adiabatica rev. (da T_1 a T_2)

cd: compressione isoterma rev. a T_2

da: espansione adiabatica rev. (da T_2 a T_1)

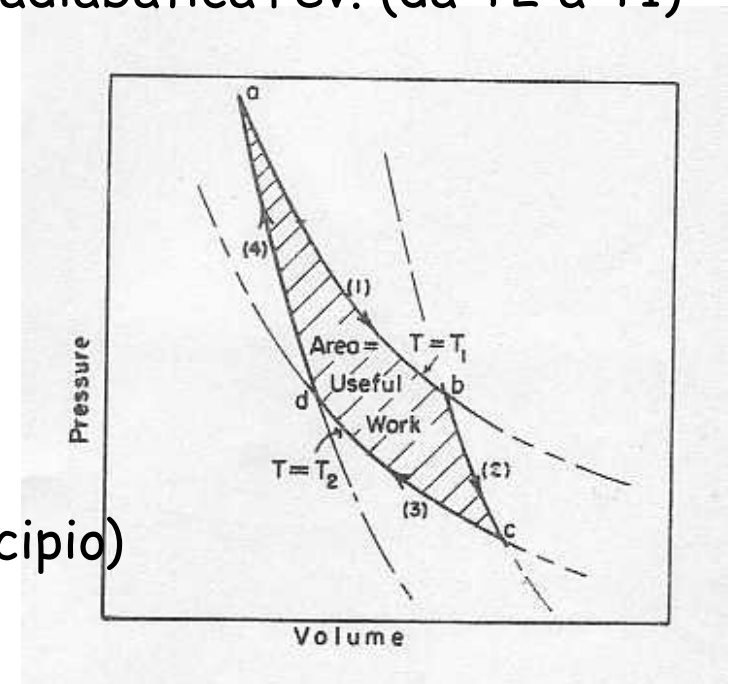
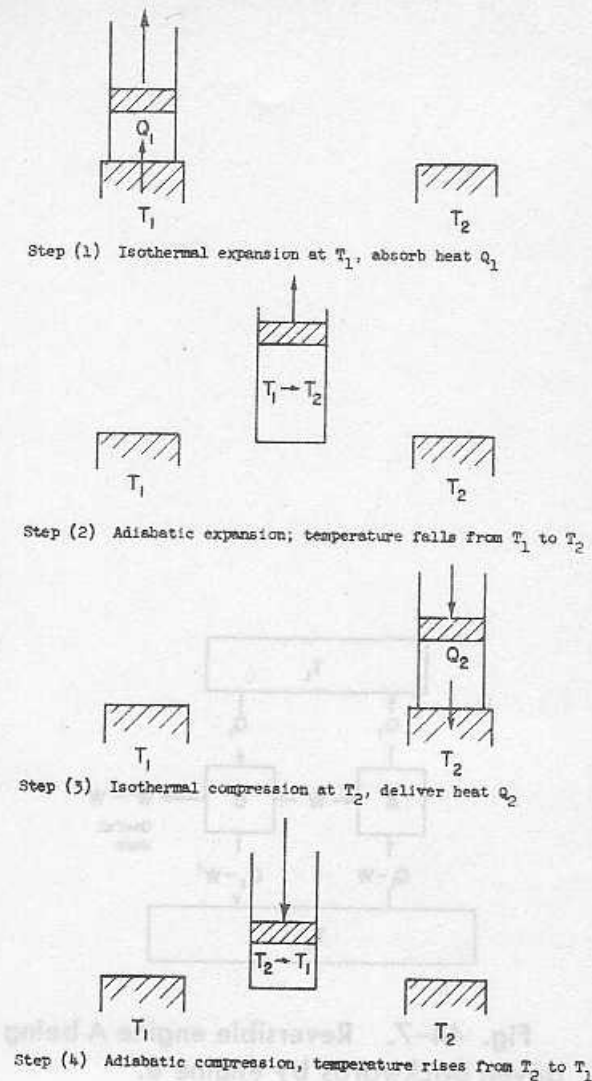
Risultati:

Rendimento

$$\eta \equiv \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Massimo !!!

(dim: Secondo Principio)



Macchine frigorifere

Frigoriferi e pompe di calore

Lavoro "assorbito" $W < 0$

Calore $Q_L > 0$ prelevato a T_L

Calore $Q_H < 0$ ceduto a $T_H > T_L$

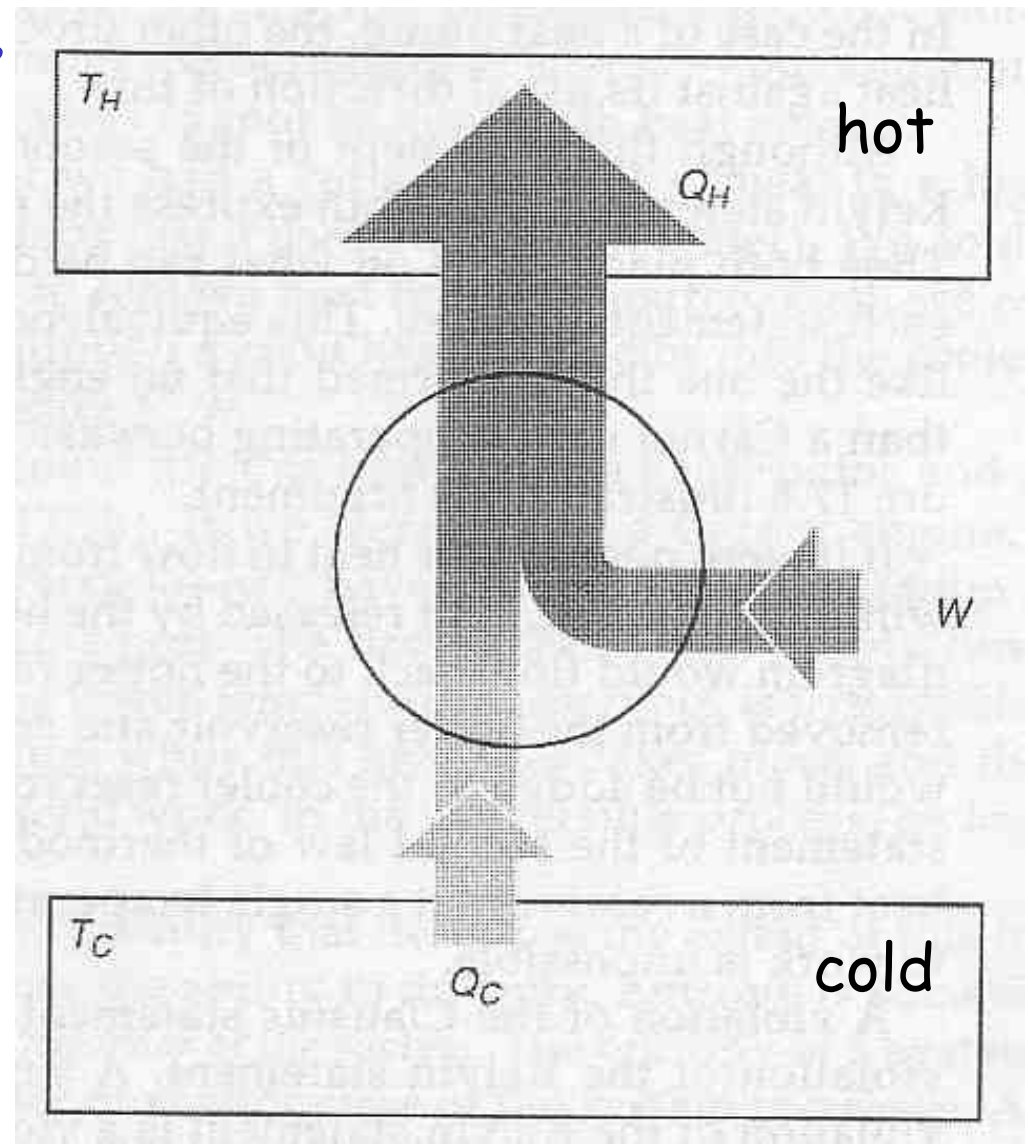
Per il Primo Principio:

$\Delta U = 0$ su un ciclo \Rightarrow

$\Rightarrow W = Q = Q_H + Q_C < 0 \Rightarrow$

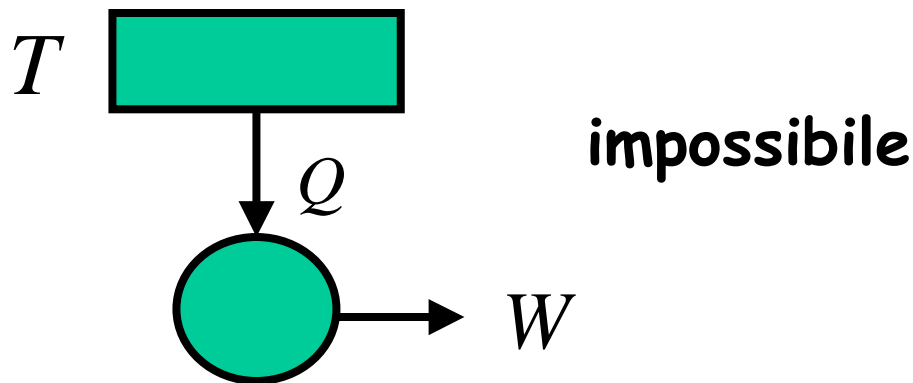
$\Rightarrow Q_H = W - Q_C \Rightarrow$

$\Rightarrow |Q_H| = |W| + |Q_C|$



Il secondo principio della termodinamica

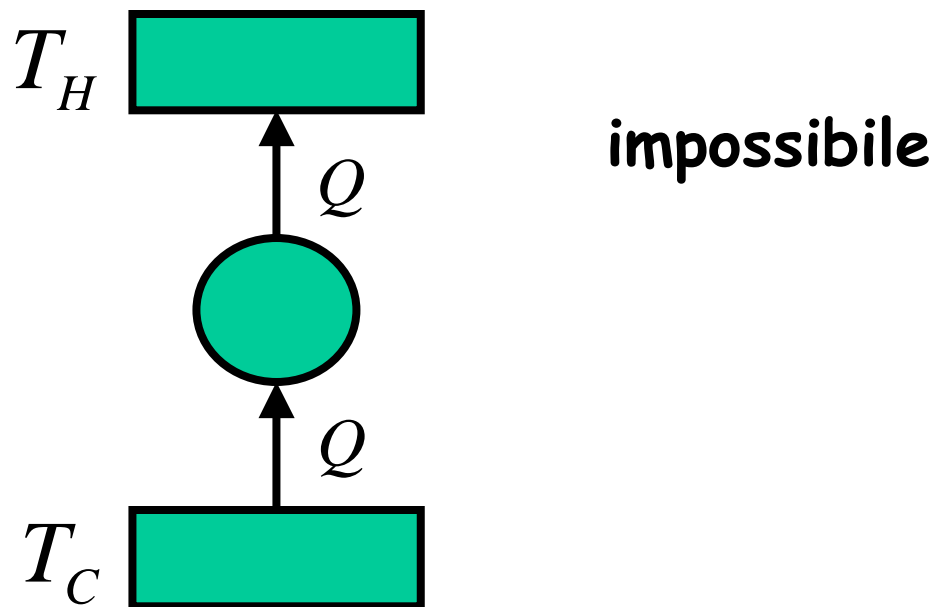
- *Non tutte le trasformazioni compatibili con il primo principio sono possibili...*
- *Enunciato di Kelvin*
 - Nessuna macchina termica che lavori continuamente (ciclicamente) può prelevare calore $Q > 0$ da una sola sorgente a una temperatura T e convertirlo completamente in lavoro $W > 0$



Il secondo principio della termodinamica

- *Enunciato di Clausius (equivalente a quello di Kelvin)*

- Del calore non puo` fluire da un corpo piu` freddo a uno piu` caldo se non e` coinvolto qualche altro processo



L'entropia - 1

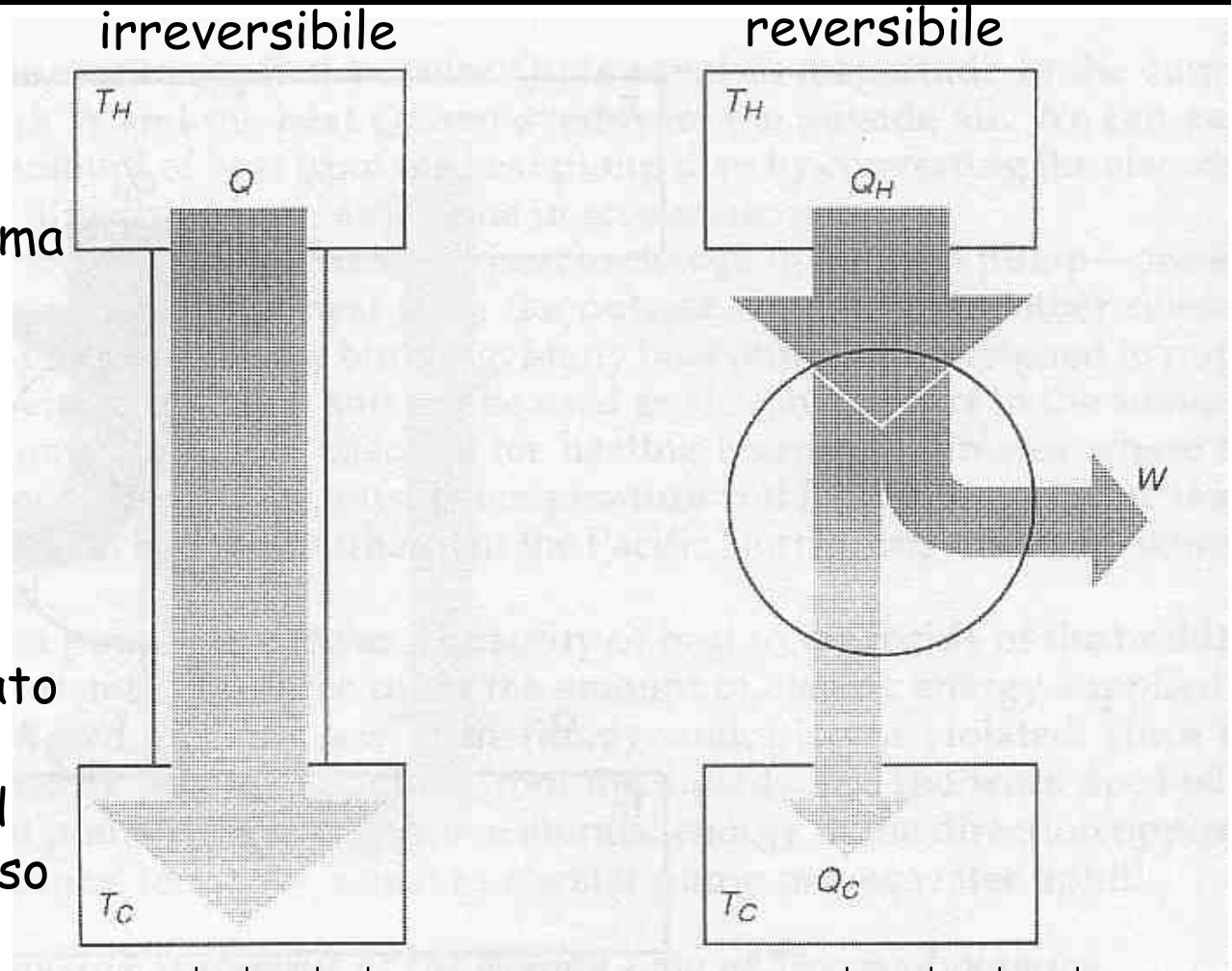
Funzione di stato S :

La sua variazione per ogni parte del sistema e' definita da:

$$dS = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$$

Se l'entropia totale aumenta, non e' stato ottenuto il massimo lavoro possibile... ad esempio: lavoro perso nel primo caso:

$$T_C \Delta S = W_{perso}$$



$$\Delta S = -\frac{|Q|}{T_H} + \frac{|Q|}{T_C} > 0$$

$$\Delta S = -\frac{|Q_H|}{T_H} + \frac{|Q_C|}{T_C} = 0$$



L'entropia - 2

- *Dal pdv microscopico: "probabilità termodinamica w " dello stato (misura del "disordine"); entropia:*

$$S = k \ln w$$

- Si dimostra che questa definizione è equivalente alla definizione macroscopica



Entropia e Secondo Principio

Per l'universo o per un sistema isolato, l'entropia totale di tutte le sue parti non cambia per trasformazioni reversibili, aumenta sempre per trasformazioni irreversibili.

NB se il sistema non e` isolato, la sua entropia puo` diminuire!

Questo enunciato include i precedenti, che possono essere analizzati anche in termini di variazione di entropia

Le "impossibilita`" dichiarate nel Secondo Principio sono di natura statistica: con un elevato numero di molecole, certe trasformazioni sono "estremamente improbabili" (es...)



Conclusioni

Primo Principio:

Calore scambiato + lavoro scambiato da un sistema = variazione di energia interna del sistema

$$\Delta U = Q - W$$

Secondo Principio:

Un processo (ciclico) il cui unico risultato sia di prelevare calore da un serbatoio e convertirlo integralmente in lavoro e' impossibile

Teorema di Carnot

Nessuna macchina termica che preleva calore Q_1 a temperatura T_1 e cede Q_2 a temperatura T_2 puo' fornire piu' lavoro (avere rendimento piu elevato di una macchina reversibile, per la quale:

$$W = \eta Q_1 = (1 - T_2/T_1)Q_1$$

Entropia

Se un sistema scambia reversibilmente Q alla temperatura T , la sua entropia varia di $\Delta S = (Q/T)_{rev}$; inoltre $S = 0$ a $T = 0$ (Terzo Princ.)

Per l'universo o un sistema isolato, l'entropia **totale** di tutte le sue parti non cambia per trasformazioni reversibili, aumenta sempre per trasformazioni irreversibili.

