Macchine Termiche: Guida schematica agli argomenti trattati a lezione

Dott. Francesco Santanastasio
Corso Fisica I per Chimica Industriale a.a. 2014-2015

Testo di riferimento:
(FLMP) Ferrari, Luci, Mariani, Pellissetto,
Fisica 1, “Meccanica e Termodinamica”

Macchine Termiche

- Storicamente gli esperimenti sulle macchine termiche sono quelli che hanno portato alla formulazione del secondo principio della termodinamica
- Definizione di macchina termica (es. motore a scoppio)
  - dispositivo che assorbe calore da una o più sorgenti, compie lavoro meccanico positivo (verso l'esterno), e cede il calore non utilizzato ad altre sorgenti
  - si basa sulla ripetizione di cicli termodinamici
- Rendimento di una macchina termica (η) generica

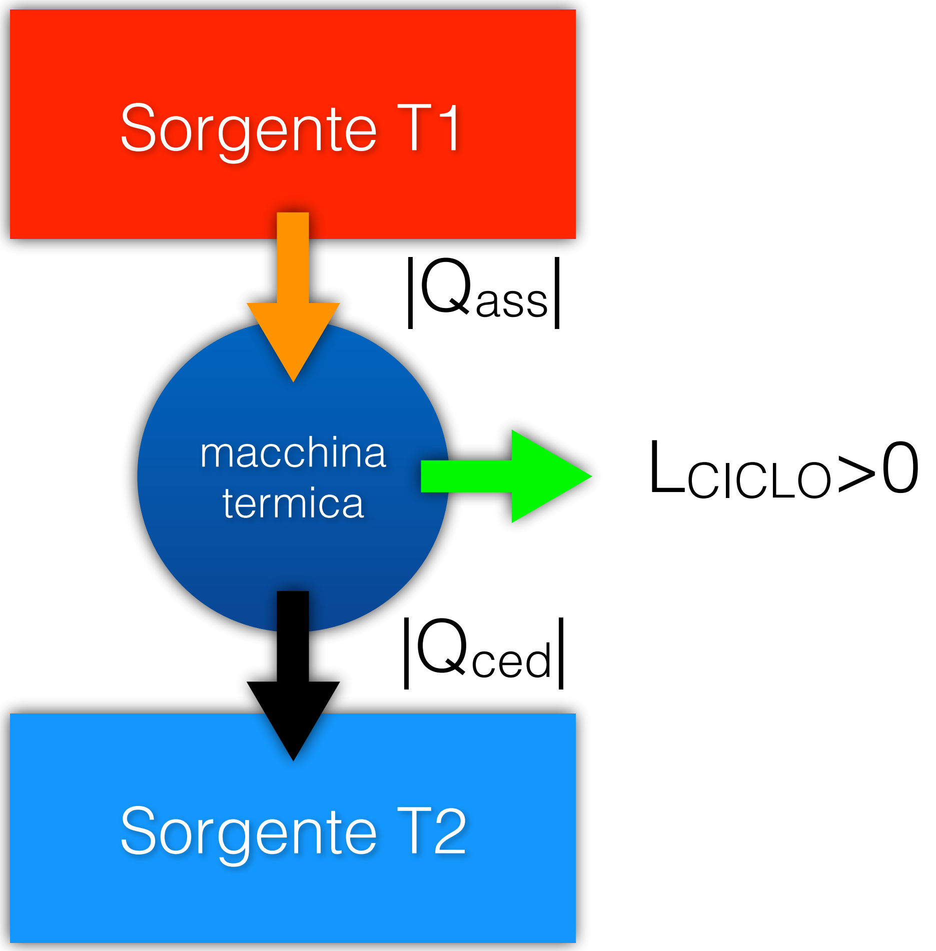
$$\eta = \frac{\text{Energia utile}}{\text{Energia immessa}} = \frac{L_{CICLO}}{|Q_{ass}|} = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{|Q_{ass}|} < 1$$

(vedi prossima slide)

- Riferimenti bibliografici:
  - (FLMP) Cap. 15 (15.1)

Rendimento di una macchina termica e Secondo Principio della Termodinamica (1) - cenni

- Il fatto che η<1 per qualunque macchina termica, può essere ricavato dall'enunciato analitico del secondo principio (disuguaglianza di Clausius)
  - NOTA: storicamente é avvenuto il processo contrario: gli esperimenti mostrarono che η<1 e quindi si formulo' il secondo principio
- Ricaviamolo per un caso particolare di macchina termica che lavora tra solo due sorgenti (vedi figura):

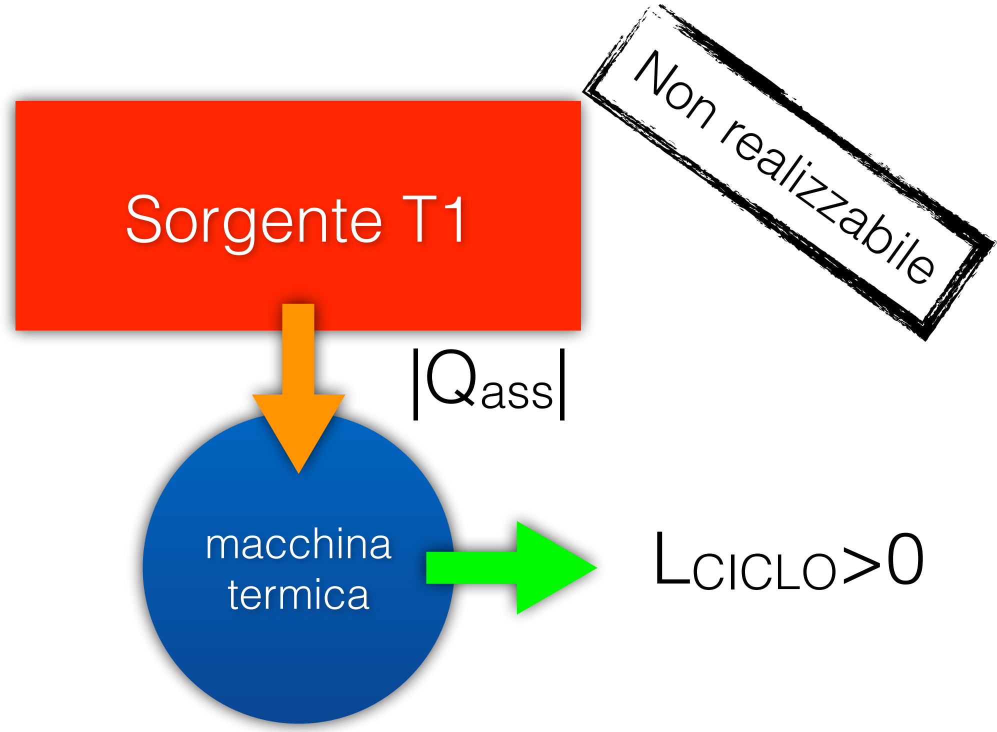


$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \longrightarrow \frac{|Q_{ass}|}{T1} - \frac{|Q_{ced}|}{T2} \leq 0$$

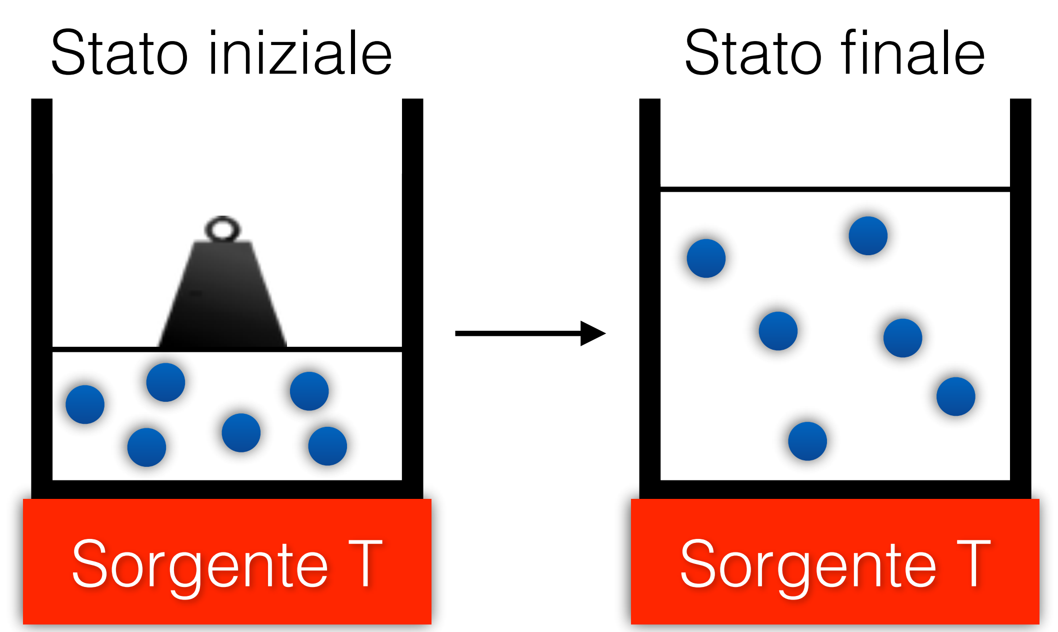
$$|Q_{ced}| \geq |Q_{ass}| \cdot \frac{T2}{T1} > 0 \longrightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{Q_{ass}} < 1$$

Rendimento di una macchina termica
e Secondo Principio della Termodinamica (2) - cenni

- In pratica dire che $|Q_{ced}|>0$ equivale a dire che la macchina termica indicata in figura non può esistere
  - questa sarebbe infatti la macchina termica perfetta che trasforma tutto il calore in lavoro



- Questa osservazione e' in effetti un altro modo di enunciare il secondo principio della termodinamica
  - <u>Enunciato di Kelvin</u>: *"E' impossibile realizzare una trasformazione termodinamica il cui UNICO RISULTATO sia quello di assorbire calore da una sola sorgente e trasformarlo tutto in lavoro"*
  - ovvero *"non e' possibile realizzare un <u>ciclo termodinamico</u> in cui tutto il calore sottratto da una sorgente viene trasformato in lavoro"*
  - NOTA sul significato di "UNICO RISULTATO":
    - prendete un cilindro con pistone mobile, riempito di gas perfetto, a contatto termico con una sola sorgente a temperatura T (vedi figura a lato).
    - si toglie il peso ed il gas si espande (espansione isoterma); nella trasformazione, il gas assorbe calore dall'unica sorgente T e si espande compiendo lavoro positivo
    - Questo non e' in contraddizione con il secondo principio, in quanto l'aver prodotto lavoro positivo da tutto il calore assorbito <u>non e' l'unico risultato della trasformazione</u>: infatti il gas ha cambiato il suo stato (volume e pressione sono diversi nello stato finale)

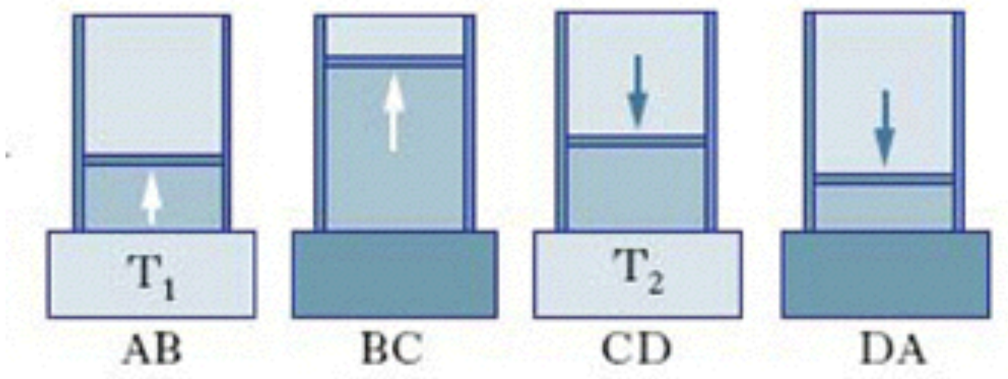


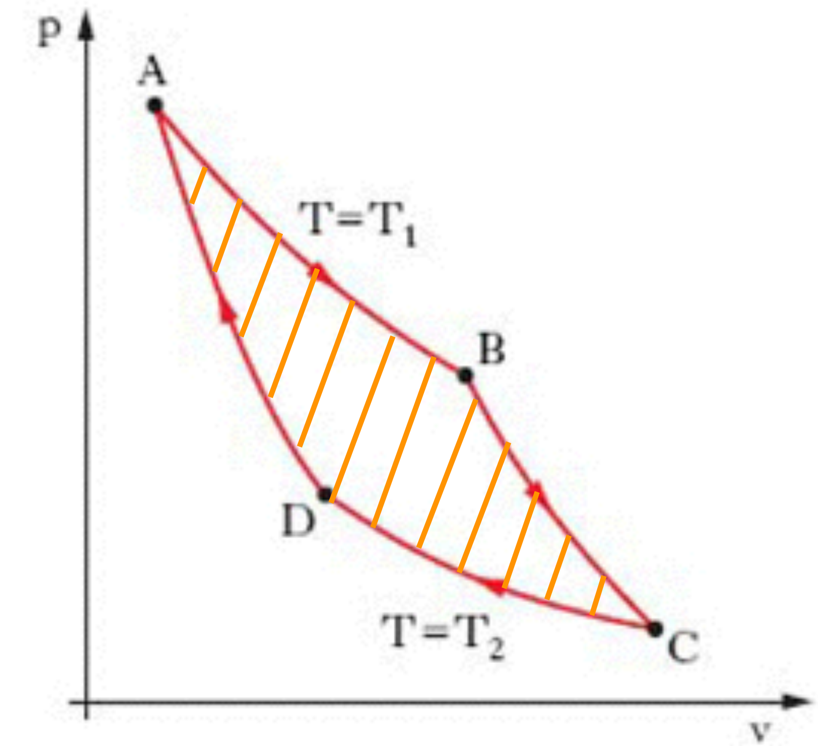
Riferimenti bibliografici su slides 3,4

- Enunciato di Kelvin del secondo principio della termodinamica (cenni):
  - enunciato di Clausius (ed equivalenza con quello di Kelvin) facoltativo
  - (FLMP) Cap. 15 (15.3)
- “Perché e’ difficile trasformare calore in lavoro” (cenni)
  - (FLMP) box. verde pag. 570-571
- Macchine frigorifere, pompe di calore, e coefficiente di prestazione (facoltativi)
  - (FLMP) box. verde pag. 560-561

Ciclo di Carnot

- Macchina termica (ciclo) che lavora tra due sole temperature
  - AB: espansione isoterma (T1)
  - BC: espansione adiabatica
  - CD: compressione isoterma (T2)
  - DA: compressione adiabatica
- Calcolo del rendimento di un ciclo di Carnot reversibile
  - utilizzando il calore ed il lavoro
  - utilizzando la variazione di entropia





- Riferimenti bibliografici:
  - (FLMP) Cap. 15 (15.2, 15.5)

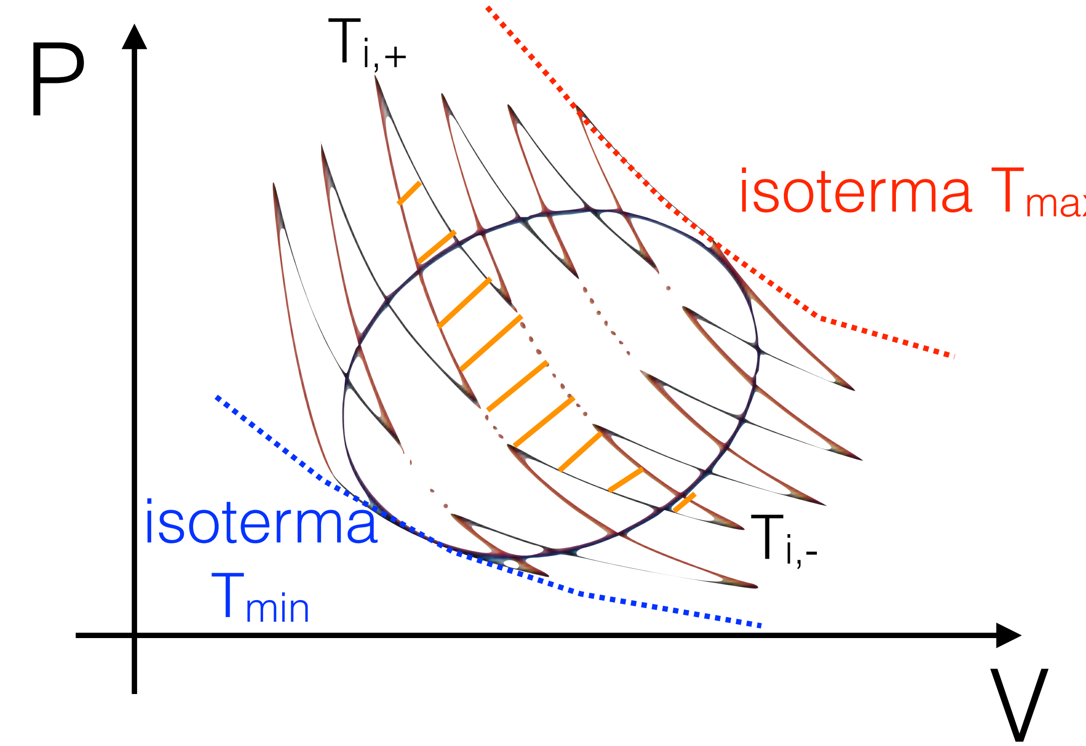
L_{CICLO} = Area > 0

Rendimento ed Irreversibilità

- Confrontiamo il rendimento di
  - una macchina termica generica irreversibile che lavora tra molte sorgenti a diverse temp. T_i
  - la macchine termica generica reversibile corrispondente
  - la macchina di Carnot reversibile (che lavora tra $T_{max}=\max\{T_i\}$ e $T_{min}=\min\{T_i\}$)
- Si può dimostrare che: $\boxed{\eta^{irr.}_{generica} < \eta^{rev.}_{generica} < \eta^{rev.}_{Carnot}}$
- La dimostrazione che $\eta^{irr.}_{generica} < \eta^{rev.}_{generica}$ si trova al paragrafo (FLMP) 15.9, pag. 592
  - lo dimostriamo per un caso particolare (Ciclo di Carnot = 2 isoterme + 2 adiabatiche) ma e' vero per qualunque ciclo
- La dimostrazione che $\eta^{rev.}_{generica} < \eta^{rev.}_{Carnot}$ per qualunque macchina generica si trova nella prossima slide
- Riferimenti bibliografici:
  - (FLMP) Cap. 15 (15.9 completo, 15.10 cenni)

Teorema di Carnot (cenni)

- Una macchina termica (ciclo) generica reversibile può essere schematizzata come una successione di tanti cicli di Carnot reversibili infinitesimi (ciascuno dei quali opera tra due temperature $T_{i,-}$ e $T_{i,+}$)
  - essendo il ciclo reversibile: $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$
  - somma di isoterme ed adiabatiche reversibili



$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \sum_i \frac{|Q^i_{ass}|}{T_{i,+}} - \sum_i \frac{|Q^i_{ced}|}{T_{i,-}} = 0$$

$T_{max} > T_{i,+} > T_{i,-} > T_{min}$: per ogni ciclo infinitesimo "i"

$$\frac{\sum_i |Q^i_{ass}|}{T_{max}} - \frac{\sum_i |Q^i_{ced}|}{T_{min}} < \sum_i \frac{|Q^i_{ass}|}{T_{i,+}} - \sum_i \frac{|Q^i_{ced}|}{T_{i,-}} = 0$$

$$\frac{|Q_{ass}|}{T_{max}} - \frac{|Q_{ced}|}{T_{min}} < 0$$

$$\frac{|Q_{ced}|}{|Q_{ass}|} > \frac{T_{min}}{T_{max}} \longrightarrow \boxed{\eta^{rev.}_{generica} = 1 - \frac{|Q_{ced}|}{|Q_{ass}|} < 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}} = \eta^{rev.}_{Carnot}}$$

- Riferimenti bibliografici:
  - (FLMP) Cap. 15 (15.10 cenni, ai fini dell'esame e' sufficiente la dimostrazione di questa slide)

Il ciclo di Carnot reversibile e' quello che ha il massimo rendimento