

II PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Completata il quadro dandoci informazioni sulla
DIREZIONE NATURALE DEI PROCESSI

Scegliamo 2 approcci e dimostriamo che
sono EQUIVALENTI

Ci occupiamo di macchine cicliche: SIMBolo \bigcirc

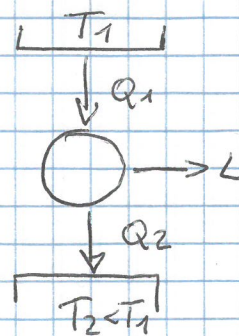
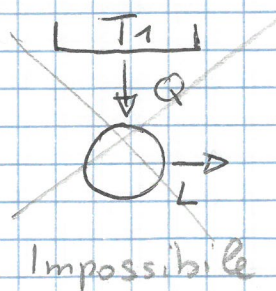
Definiamo SERBATOIO TERMICO: un sistema in grado di
cedere o ricevere quantità di calore a piacere senza
cambiare i propri parametri di STATO

SIMBolo \square

(esempio: ATMOSFERA, FIUME, MARE)

Enunciato di KELVIN-PLANCK

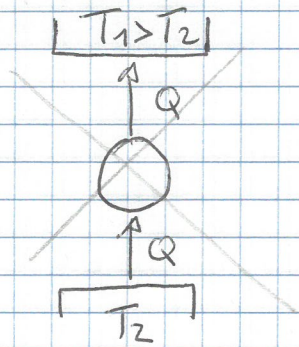
È impossibile realizzare un processo il cui unico resul-
tato sia quello di trasformare integralmente il
calore prelevato da un serbatoio in LAVORO



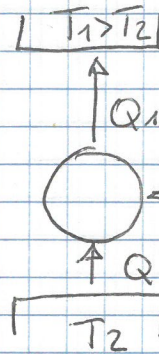
Enunciato di CLAUSIUS

(macchine frigorifere)

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia prelevare calore da un serbatoio a temperatura più bassa ad uno a temperatura più alta



Impossibile



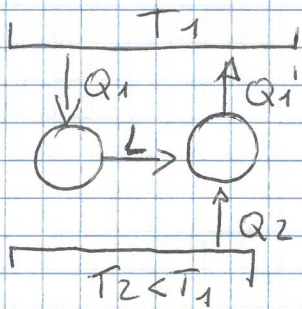
(occorre fornire lavoro al compressore)

OSSERVAZIONE:

Posso trasformare il lavoro in calore, ad esempio FRENO AUTO

Entrambi gli enunciati si dimostrano per assurdo:

1) K-P Suppongo K-P non vero:



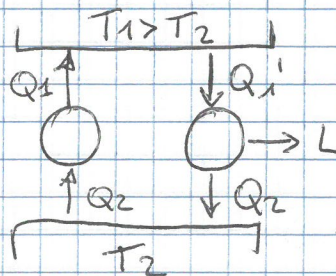
$Q_1 = L$ (prima macchina)

~~$Q_1' = Q_2 + L$~~
 ~~$Q_1' - Q_2 = L = Q_1$~~
 $Q_1' - Q_2 = L = Q_1$ (seconda macchina)

Se considero il sistema completo

$Q_2 = Q_1' - Q_1 \Rightarrow$ Significa NESSUNO CLAUSIUS!

2) CLAUSIUS Suppongo CLAUSIUS non vero:



$Q_1 = Q_2$ (prima macchina)

$Q_1' = Q_2 - L$ (seconda macchina)

Se considero il sist. completo:
 preleva $Q = Q_1' - Q_1$ e lo trasforma in L

significa NESSUNO K-P

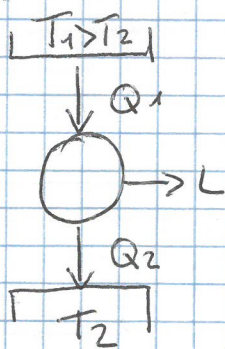
REVERSIBILITÀ

3.3

- **PROCESSO QUASI STATICO** : sistema e contorno passano per stati di equilibrio
- **PROCESSO INTERNAMENTE INVERTIBILE** : il solo sistema passa per stati di equilibrio
- **PROCESSO COMPLETAMENTE INVERTIBILE** :
sono processi internamente invertibili in cui gli scambi di calore con i serbatoi coinvolti avvengono in condizioni di equilibrio
- **PROCESSO REVERSIBILE** : sono processi completamente invertibili con il vincolo ulteriore che nessun altro cambiamento avvenga nell'universo (SISTEMA + CONTORNO)
- **PROCESSO IRREVERSIBILE** : i processi che si verificano in natura sono IRREVERSIBILI, non sono neppure INT. INVERTIBILI (cause : stati di non-equilibrio, oppure fenomeni dissip.)

Definizione :

COEFFICIENTE ECONOMICO (O EFFICIENZA)



I PRINCIPIO

$$\Delta U = Q - L$$

Macchina ciclica $\rightarrow \Delta U = 0$

$$Q = Q_1 - |Q_2| = L$$

$$\boxed{\varepsilon = \frac{L}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}}$$

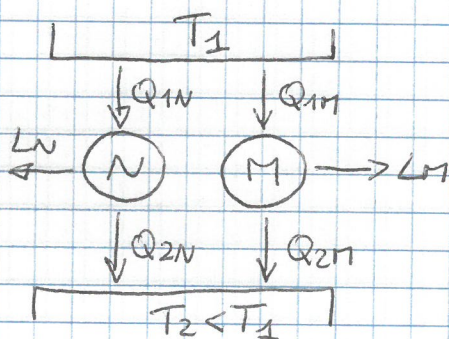
N.B. Non ε il rendimento $\eta = L/L_{max}$

TEOREMA DI CARNOT

3.4

Tra tutte le macchine che operano tra due serbatoi il valore del coeff. ECONOMICO più elevato compete alle macchine che operano REVERSIBILI = MONTE, indipendentemente dall'ampiezza del ciclo e dal fluido intermedio

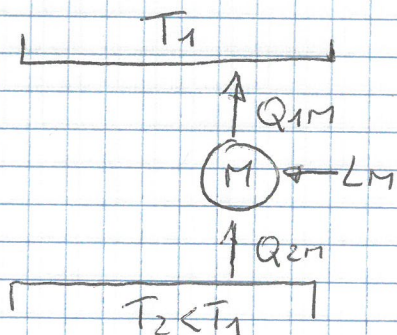
Vediamo la dimostrazione di FERRI che tenne a CHICAGO un corso di Termodinamica appena emigrato in USA nel 1938.



$$E_N = \frac{L_N}{Q_{1N}} \rightarrow L_N = E_N Q_{1N}$$

$$E_M = \frac{L_M}{Q_{1M}} \rightarrow L_M = E_M Q_{1M}$$

Ipotesi M REVERSIBILE, quindi posso invertire M:



faccio compiere m cicli a M
e prendo la macchina N
in modo che dopo n cicli sia:

$$n \cdot |L_{1N}| = m \cdot |L_{1M}|$$

cioè N produce lavoro per far funzionare M

(come avere sullo stesso albero compressore e turbina)

Bilancio del serbatoio (T_1)

3.5

$$1) \quad m \cdot |Q_{1M}| - n |Q_{1N}| \leq 0 \quad (\text{il calore può solo uscire dal serbatoio})$$

(senza il sistema $M+N$ ^{II PRINCIPIO} negherebbe CLAUSIUS)

Abbiamo ipotizzato: $m |L_{1M}| = n |L_{1N}|$

$$\downarrow$$
$$m \epsilon_M Q_{1M} = n \epsilon_N Q_{1N}$$

$$\downarrow$$
$$m \epsilon_M Q_{1M} - n \epsilon_N Q_{1N} = 0$$

\downarrow divido per ϵ_M

$$2) \quad m Q_{1M} - n \frac{\epsilon_N}{\epsilon_M} Q_{1N} = 0$$

Se osservo 1) e 2) si vede che $\epsilon_N / \epsilon_M < 1$

cioè $\epsilon_N < \epsilon_M$ (PRIMA PARTE DEL TEOREMA)

È sempre vero o valido solo per queste macchine?

Suppongo ora che N sia invertibile, se ripeto la

dimostrazione ho ora $\epsilon_M / \epsilon_N < 1$ ovvero $\epsilon_N > \epsilon_M$

quindi è la reversibilità che rende vera l'affermazione.

OSSERVAZIONE

La macchina di Carnot deve scambiare Q_1 e Q_2 all'equilibrio quindi ^{il 1° processo deve essere} ISOTERMICO (T_1), il secondo non può scambiare calore (~~ISOTERMICO~~ ADIABATICO) ^{$T_1 \rightarrow T_2$} , il terzo ISOTERMICO (T_2) e l'ultimo ADIABATICO ($T_2 \rightarrow T_1$)

OSSERVAZIONE

3.6

Se lo scambio di calore avviene con un vapore saturo

$T = \text{cost.}$ (Tutti i cicli reali partiranno da un ciclo di Carnot)

N.B.

La macchina di Carnot opera solo tra due sorgenti di calore

OSSERVAZIONE

Per le macchine di Carnot $\epsilon_c = \epsilon_c(T_1, T_2)$, cioè il coeff. economico dipende solo dalle temperature dei due serbatoi.