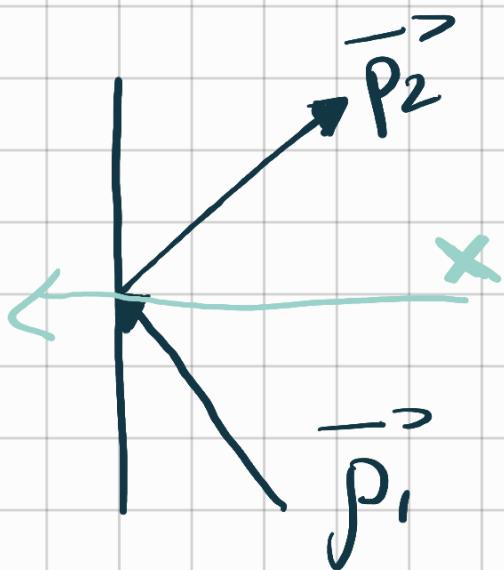


# TERMO DINAMICA



una particelle  
unto elasticamente  
contro una parete  
e si note che all'urto  
ha una gta di moto  
 $m\vec{v}_1$  e dopo l'urto  
ha una gta di  
moto pari a  $m\vec{v}_2$   
con  $|v_2| = -|v_1|$ .

Poichè c'è stato un cambio di  
gta di moto causato dall'urto  
sulla parete significa che  
ha agito una forza impulsiva

$$\Delta \vec{p} = \vec{F} \Delta t \Rightarrow \text{th impulso}$$

$$\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$$

poichè  $\vec{p}_1$  è uguale a  $m\vec{v}_x$  e  
 $\vec{p}_2 = m\vec{v}_2$  significa che

le variazioni di stai di moto  
è pari a  $-2 \vec{mVx}$

$$\vec{\Delta P} = -2m \vec{Vx} \hat{i}$$

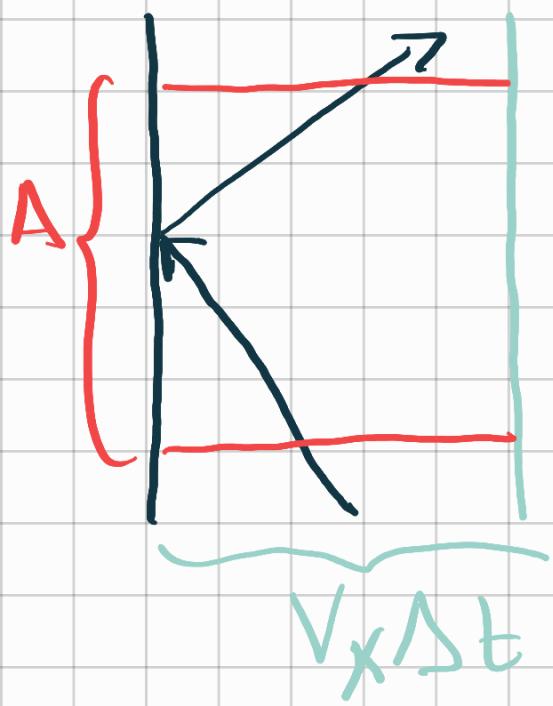
tutte le particelle all'inizio  
hanno le stesse  $\vec{V_i}$ .

Se io volessi sapere  $\vec{\Delta P}_{tot}$   
dovrei moltiplicare  $\vec{\Delta P} \cdot N$   
(numero particelle). Per  
trovare  $N$  posso usare  
il rapporto di densità  $N/V$

$$\text{DUNQUE } N = \frac{N}{V} \cdot V$$

ore suppongo che avere  
una parete e obiettivo  
 $\vec{V}, \Delta t$  di modo tale che  
fatti la scrittura  $1/N$

Ci sono dei particelli dopo ist  
hanno colpito le pareti



Consideriamo 1 parte  
di pieno compresa  
tra queste 2 pareti  
⇒ Questa sezione  
ha una certa area  
 $A$

il suo Volume sarà  
 $V_x \Delta t A$

Ricavo  $N$

$$\frac{N}{V} \cdot V = \frac{N}{V} \cdot V_x \Delta t A \hat{i}$$

Ricavo  $\vec{\Delta p}_{tot}$

$$\vec{\Delta p} \cdot N = -2 m \bar{v}_x \cdot \frac{N}{V} V_x \Delta t A \hat{i}$$

$$\frac{\vec{\Delta p}}{\Delta t} = \vec{F}$$

$$\vec{F} = -2 m \bar{v}_x \cdot N V_x A \hat{i}$$

con il segno meno trovo le  
forze che esercete le pareti  
sulle molecole , se invento segno  
trovo quelle delle molecole

→

$$\vec{F} = 2m \vec{v}_X \cdot \frac{N}{V} \vec{v}_X \Delta \cdot \hat{i}$$

Divido tutto per  $\Delta$  e trovo la  
pressione ( $\frac{\vec{F}}{\Delta}$ )

→

$$\frac{\vec{F}}{\Delta} = 2m \vec{v}_X \cdot \frac{N}{V} \vec{v}_X$$

$$P = 2m v_X^2 \cdot \frac{N}{V}$$

Ora se considero il fatto  
che le particelle lungo

x si possono muovere su

Verso Sx sia Verso dx

ho che:

$$P = \langle m v_x^2 \rangle \cdot \frac{N}{V}$$

non tutte le particelle vanno verso destra  
perche' esistono  
verso sinistra  
=> perche' esistono  
supposto

Ho mosso l'2 e perciò  
considero una media delle  
qte di moto

$$\langle \frac{m v^2}{2} \rangle = \langle E_C \rangle$$

$$P = 2 \langle \frac{m v_x^2}{2} \rangle \frac{N}{V}$$

$$P = 2 \cdot \frac{N}{V} \langle E_C \rangle$$

Se one faccio l'ipotesi  
di coos molecolare cioè  
suppongo che all'interno

supponendo che gli atomi  
del contenitore le particelle  
sono libere di muoversi in  
tutto lo spazio e che quindi

$$\langle V \rangle = \langle V_x \rangle + \langle V_y \rangle + \langle V_z \rangle$$

ossia assumo che la  
probabilità che le particelle  
di andare in una direzione  
è pari ad  $\frac{1}{3}$  otengo che:

$$P = \frac{N}{V} \underbrace{\frac{2}{3} \langle E_c \rangle}_{\text{frazione di particelle}}$$

funzione energia interna  
del gas. (misura l'energia  
cinetica totale  
degli particelli)

$$\langle E_c \rangle = \frac{3}{2} kT$$

↓

costante di boltzmann  
che serve a convertire  
il valore dell'energia  
cinetica in temperatura  
assoluta:

"fattore che mette  
in relazione l'energia  
cinetica media con  
la temperatura assoluta  
del gas"

$$1.3 \times 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Aunoli

$$P = \frac{N}{V} KT \Rightarrow PV = NKT$$



misure dell'energia  
cinetica media

## ADIABATICA REVERSIBILE

$$\lambda = - P dV$$

(recole di mostaz.  
lavoro in calore)

Se sono in uno omeostatico

$$\alpha = 0$$

$$\Delta U = Q - L$$

se la tua trasformazione è  
reversibile ho che il  
primo principio  $Td$  può essere  
scritto come:

$$dU = dQ - dL$$

essendo  $dU$  una s.tà infinitesimale  
di energia interna.

$dQ$  e  $dL$  non sono differenti.  
esatti

ADIA B REVERSIBILE

$$dU = 0 - dL$$

$$PV = 2/75$$

$$U = \frac{3}{2} PV$$

$$dU = d\left(\frac{3}{2} PV\right)$$

$$= \frac{3}{2} d(PV) = \frac{3}{2} (VdP + PdV)$$

$$dU = - dF$$

$$\frac{3}{2} PdV + \frac{3}{2} VdP = - PdV$$

$$\frac{3}{2} PdV + \frac{3}{2} VdP + PdV = 0$$

$$\frac{5}{2} PdV = - \frac{3}{2} VdP$$

$$\frac{5}{2} PdV \cdot \left(-\frac{2}{3}\right) VdP = 1$$

$$-\frac{5}{6} \frac{P}{V} \cdot \frac{dU}{dV} = 1$$

$$\beta dP \quad \checkmark$$

$$-\frac{5}{3} \frac{dV}{V} = \frac{dP}{P}$$

$$-\frac{5}{3} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{P}$$

$$-\frac{5}{3} \log \frac{V_2}{V_1} = \log \frac{P_2}{P_1}$$

(brace)

$$-\log \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{5}{3}} = \log \frac{P_2}{P_1}$$

$$+\log \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{5}{3}} + \log \frac{P_2}{P_1} = 0$$

$$\log \left[ \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\frac{5}{3}} \cdot \frac{P_2}{P_1} \right] = 0$$

$$\log x = 0 \text{ solo se } x = 1$$

$$\sqrt[5]{\frac{V_2}{V_1}} \cdot \frac{P_2}{P_1} = 1$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma} \cdot \frac{P_2}{P_1} = -1$$

$$\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{5/3} = \frac{P_1}{P_2}$$

$$P_2 V_2^{5/3} = P_1 V_1^{5/3}$$

$$\frac{5}{3} = \gamma \text{ monoatomic}$$

↑ RAPPORTO

$$\frac{C_p}{C_v}$$

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

$$PV = NRT$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$\frac{NRT_1}{V_1} V_1^{\gamma} = \frac{NRT_2}{V_2} V_2^{\gamma}$$

$$\boxed{T_1^{\gamma-1} = T_2^{\gamma-1}}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

## RELAZIONE TEMPERATURE - VOLUOI

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$PV = NRT$$

$$V = \frac{NRT}{P}$$

$$P_1 \left( \frac{NRT_1}{P_1} \right)^\gamma = P_2 \left( \frac{NRT_2}{P_2} \right)^\gamma$$

$$\frac{P_1 \left( \cancel{NRT_1} \right)^\gamma}{P_1^\gamma} = \frac{P_2 \left( \cancel{NRT_2} \right)^\gamma}{P_2^\gamma}$$

$$P_1^{1-\gamma} T_1^\gamma = P_2^{1-\gamma} T_2^\gamma$$

$$P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_1 = P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} T_2$$

## RELATIVONE PRESSIONI - TENP.

CANONE SPECIFICO HEAT

$$U = \frac{3}{2} PV$$

$$PV = NRT$$

$$U = \frac{3}{2} NRT$$

$$dU = \frac{3}{2} N R dT$$

$$\frac{3}{2} R = C_V$$

$$dU = N C_V dT$$

ogni molecola (o gas) ha una certa capacità termica che gli permette di riscaldarsi o raffreddarsi. Maggiore sarà la capacità termica maggiore sarà la variazione di temperatura.

Colore necessario per  
immobilizzare le temperature  
di un guscio.

## Relazione meyer

$$\Delta U = \alpha - L$$

$$d\alpha = dU + dL$$

$$dU = nC_V dT$$

$$dL = -PdV$$

$$\text{mo } d(NRT) = PdV + VdP$$

me mi trovo in una situazione  
in cui il gas non può aumentare  
la pressione quindi  $dP = 0$

$$dL = -PdV = -nRdT$$

$$dU + dL = dQ$$

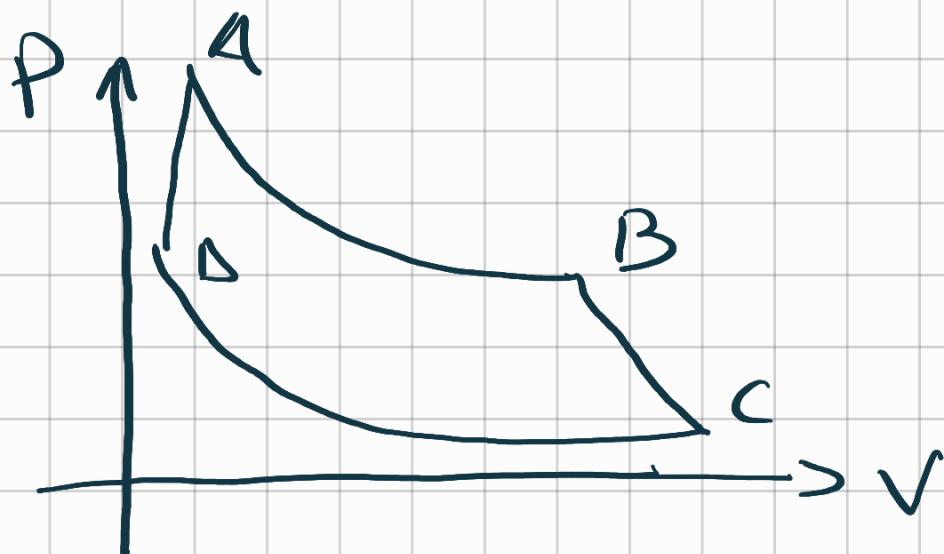
$$nC_V dT + nR dT = dQ$$

$$\underbrace{n(C_V + R)}_{C_P} dT = dQ$$

$C_P = \text{calore specifico}$   
 $\text{a pressione costante}$

$$C_P = C_V + R \Rightarrow \text{DECAZ. MAYER}$$

CICLO CANNOT REVERSIBILE



AB ISOTERMA

BC ADIAB

CD ISOTERMA

DA ADIAB

$$Q_{\text{ISOT}} = nRT \log \frac{V_2}{V_1}$$

$$= nCV(T_F - T_I)$$

$$V_B > V_A \Rightarrow Q_{AB} > 0$$

$$V_D < V_C \Rightarrow Q_{CD} < 0$$

$$\eta = 1 - \frac{|Q_{CE\Delta}|}{Q_{\text{ASS}}}$$

$$\eta = 1 - \frac{-nRT_2 \log \frac{V_B}{V_A}}{nRT_1 \log \frac{V_D}{V_C}}$$

ADIABATICHE B-C e D-A

So che le adiabatiche sono legate da 2 isoterme dunque uss le formule che legge le temperature ai volumi (poiché nel rendimento)

no rapporti di volumi)

$$T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \quad T_A = T_B = T_1$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1} \quad T_C = T_D = T_2$$

$$\left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow \frac{V_B}{V_A} = \frac{V_C}{V_D}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2 \log \frac{V_B}{V_A}}{T_1 \log \frac{V_D}{V_C}}$$

Poiché i rapporti tra le pressioni sono uguali  
allora anche il logaritmo  
degli rapporti è lo stesso

dunque lo posso semplificare

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$1 - \frac{1 Q_{CED}}{Q_{ASS}} = 1 + \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}}$$

$$\cancel{1 + \frac{Q_{CED}}{Q_{ASS}}} = \cancel{1 - \frac{T_2}{T_1}}$$

$$\frac{Q_{CED}}{T_2} = - \frac{Q_{ASS}}{T_1}$$

$$\frac{Q_{CED}}{T_2} + \frac{Q_{ASS}}{T_1} = 0$$

2° PRINCIPIO TD

①

PRINCIPIO KELVIN - PLANCK

2

## PRINCIPIO CLAUSIUS

1

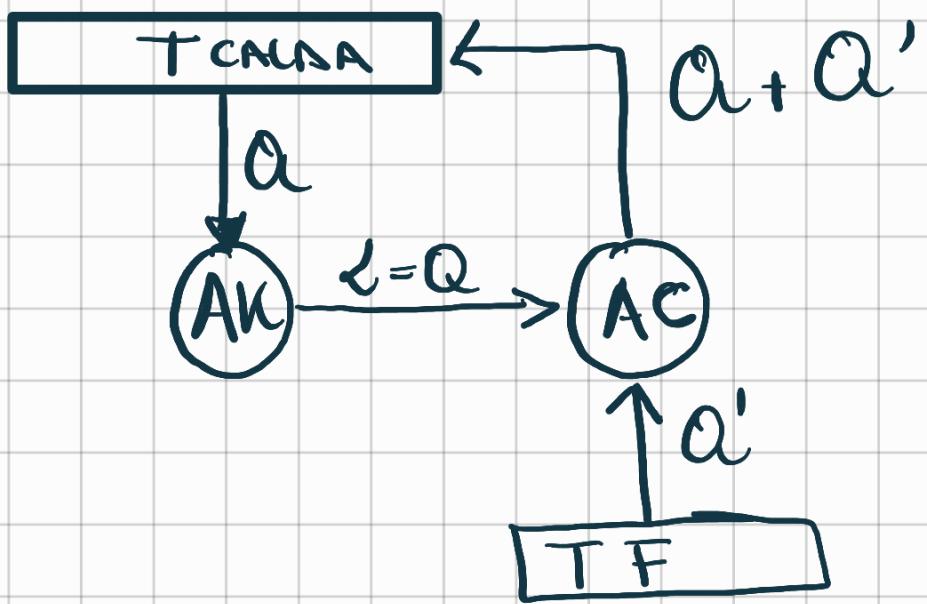
non è possibile concepire  
una trasformazione che  
possa trasformare  
integralmente colore  
in lavoro scombinando  
colori con una sola  
sorgente.

2

non è possibile  
concepire una  
trasformazione che  
prelevi colori da  
una sorgente colo  
re per portarli ad una

e la parola che  
con Temperature  
maggiore ( $T_F \rightarrow T_c$ )

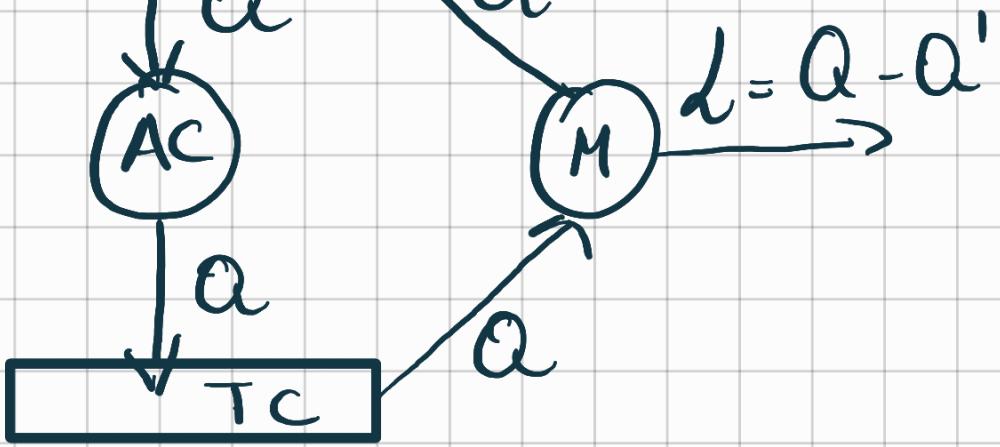
1  $\Rightarrow$  2



No trasferito calore da  
una sorgente fredda col  
uno calore  $\Rightarrow$  violo Clausius

2  $\Rightarrow$  1





$$T_C = Q - a = 0$$

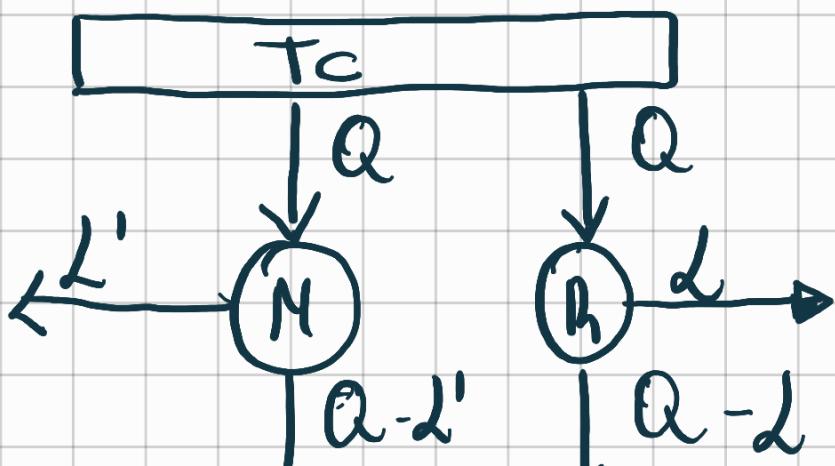
$$T_F = a' - Q = -Q + Q = \lambda_M$$

Anti Kelvin pk trasforma  
tutto il calore in lavoro

con una sorgente

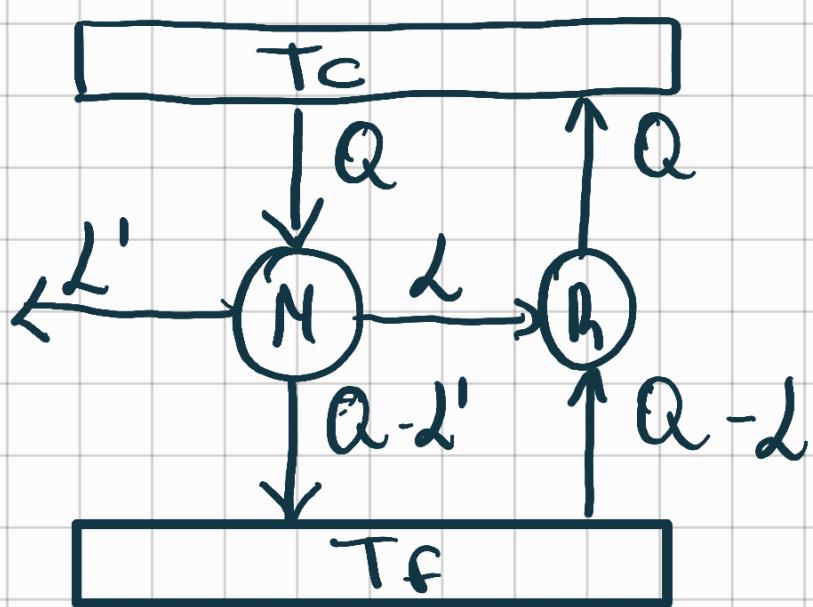
$T_H$       CANOT

1^ PIANTE





Assumo per ora che  
 $\eta_H > \eta_R \Rightarrow \lambda_H > \lambda_R$  perciò  
 posso usare una forte  
 del lavoro generato da  
 M per alimentare h  
 e renderla dunque un  
 ciclo sugonfio



Dopo 1 ciclo  $T_D$  ho che

Tc ossorbe e cede le  
stesse qto di calore Q  
perciò è come se non avesse  
fatto nulla

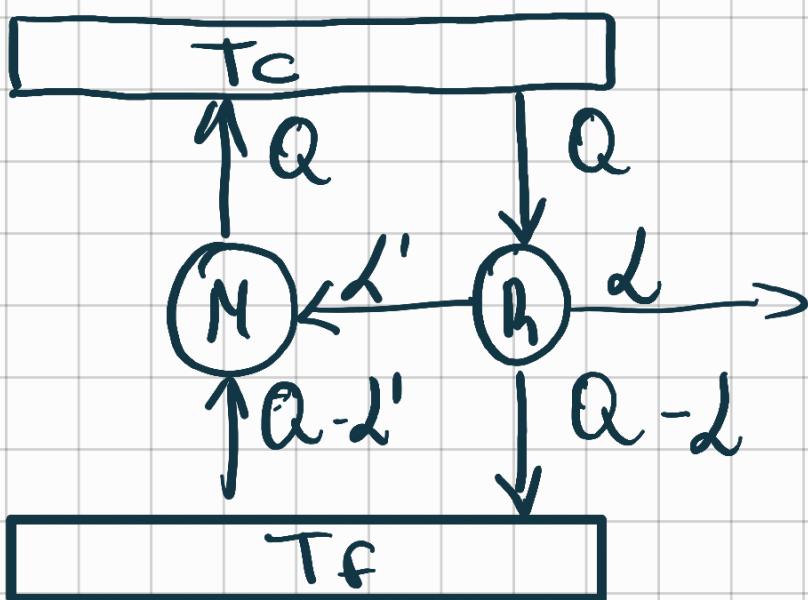
Tf ossorbe  $\Delta L'$  e cede  $\Delta L$   
ossia complessivamente cede  
 $\Delta L - \Delta L' = L' - L$  ma  $L' - L$  è  
il lavoro totale generato  
da H  $\Rightarrow$  Ho convertito tutto  
il calore in lavoro scombinando  
temperature con una sola  
sigente (Anti Kelvin)

quindi se avessi supposto  
che  $\gamma_N > \gamma_R$  ma questo  
è sbagliato allora

$$\text{no } \eta_M \leq \eta_R$$

Il punto ora considero anche N reversibile e dico che  $\eta_R > \eta_M$ .

Perseguendo gli stessi passi di prima ma invertendo M ottengo:



$T_F$  cede  $Q - l'$  e ottiene  $Q - l$   
=> cede complessivamente

$$Q - l' - Q + l = l - l'$$

lavoro di R

$$\eta_R \leq \eta_M$$

ma poiché deve valere

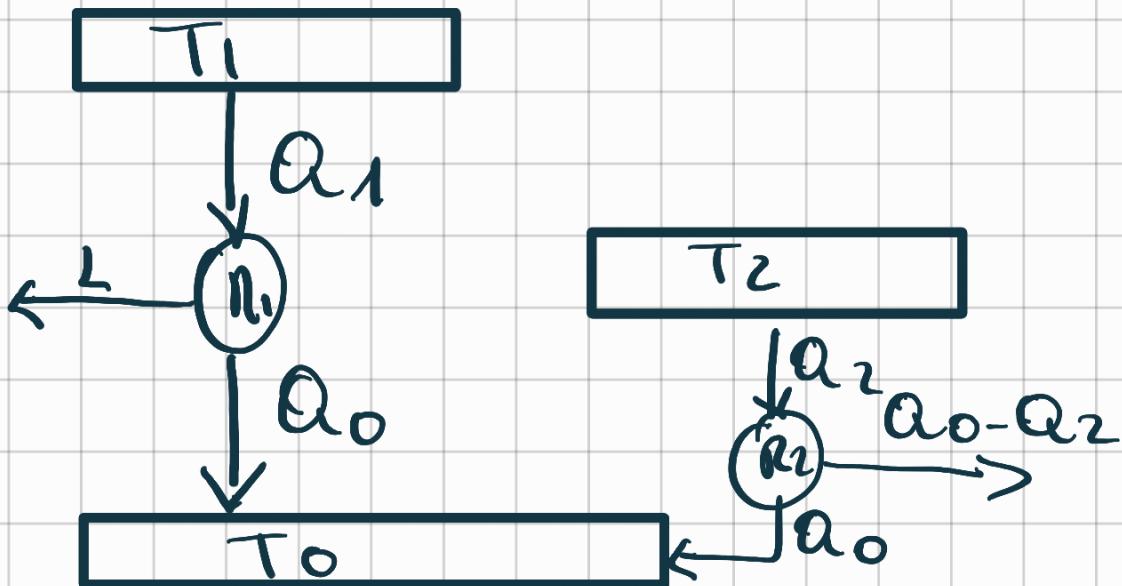
$$\eta_M \leq \eta_R$$

$$\text{allora } \eta_M = \eta_R$$

Cioè significa che indipendentemente dalla struttura delle maccchine termiche, se queste sono reversibili e operano tra le stesse T devono avere lo stesso rendimento  
=> dipende solo dal rapporto tra  $\frac{\eta_C}{\eta_F}$  che dipendono solo da bzgenti

# DIMOSTRAZIONE T ASSOLUTA

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{f(t_1, t_0)}{f(t_2, t_0)}$$



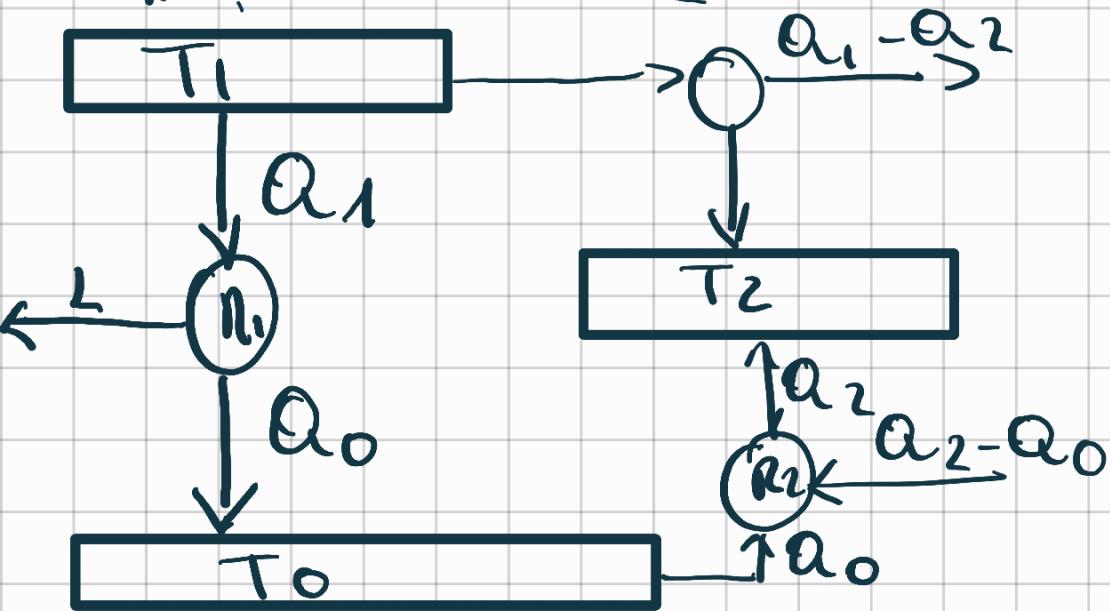
immagino di avere un macchina  
termica che opera tra  $T_1$  e  $T_0$   
e posso dire che se queste  
è reversibile allora deve  
valere  $\frac{Q_1}{Q_2} = f(t_1, t_2)$

$$\frac{Q_1}{Q_0} = f(t_1, t_0)$$

$$\frac{Q_2}{Q_0} = f(t_2, t_0)$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{f(t_1, t_0)}{f(t_2, t_0)}$$

INVENTO  $R_2$



Dopo un ciclo considero i lavori  
TOTALE  $\Rightarrow$  CREATI:  $Q_1 - Q_0$  ASSORBITI:  $Q_2 - Q_0$   
TOTALE =  $Q_1 - Q_0 - Q_2 + Q_0 = Q_1 - Q_2 \Rightarrow$

**Dico STAZIONE ENTRERIA**





L'entropia non dipende dal percorso  $\Rightarrow F_2$  di stato

$$\int_A^C \frac{dq}{T} + \int_C^B \frac{nC_V dT}{T}$$

$$nC_V \log\left(\frac{T_C}{T_A}\right) + nC_P \log\left(\frac{T_B}{T_C}\right)$$

$$C_P = C_V + R$$

$$nC_V \log\left(\frac{T_C}{T_A}\right) + nR \log\left(\frac{T_B}{T_C}\right) + nC_V \log\left(\frac{T_B}{T_C}\right) = 0$$

$$nC_V \log\left[\frac{T_C}{T_A} \cdot \frac{T_B}{T_C}\right] + nR \log\frac{T_B}{T_C}$$

$$ncv \log \frac{TB}{TA} + n n \log \frac{TB}{TC} = 0$$

Sfatto il fatto che  $C \rightarrow B$

è ISOBARA

$$P_B = P_C$$

$$\left. \begin{array}{l} P_B V_B = NRT_B \\ P_C V_C = NRT_C \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{V_B}{V_C} = \frac{TB}{TC}$$

Allora ho che :

$$ncv \log \frac{TB}{TA} + n n \log \frac{TB}{TC} = 0$$

$$ncv \log \frac{TB}{TA} + n R \log \frac{V_B}{V_C} = 0$$

ma  $A \rightarrow C$  è ISOCORA

quindi  $V_A = V_C$  dunque

$$ncv \log \frac{TB}{TA} + n R \log \frac{V_B}{V_A} = 0$$

voglio esplicare il legame

con adiabatiche

esplicito R

$$C_P = C_V + R \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

quindi  $C_P = \gamma C_V$

Sostituendo il C\_P ottengo

$$C_V + R = \gamma C_V$$

$$R = \gamma C_V - C_V$$

$$R = C_V (\gamma - 1)$$

$$\frac{R}{\gamma - 1} = C_V$$

$$n C_V \log \frac{T_B}{T_A} + n R \log \frac{V_B}{V_A}$$

$$n \frac{R}{\gamma - 1} \log \frac{T_B}{T_A} + n R \log \frac{V_B}{V_A}$$

$$n \frac{R}{\gamma - 1} \left[ \log \frac{T_B}{T_A} + (\gamma - 1) \log \frac{V_B}{V_A} \right]$$

$$n \frac{R}{\gamma-1} \left[ \log \frac{T_B}{T_A} + \log \left( \frac{V_B}{V_A} \right)^{\gamma-1} \right]$$

$$n \frac{R}{\gamma-1} \left[ \log \left( \frac{T_B}{T_A} \cdot \frac{V_B^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}} \right) \right]$$

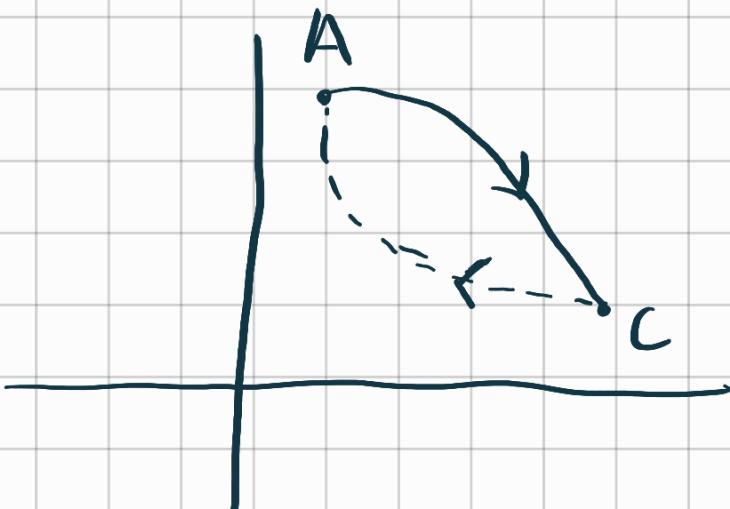
se odiab

$$T_B V_B^{\gamma-1} = T_A V_A^{\gamma-1}$$

dunque  $\log \left( \frac{T_B V_B^{\gamma-1}}{T_A V_A^{\gamma-1}} \right)$

$$= \log (1) = 0$$

$\Rightarrow$  Entropia odiabatica è zero



$$\int_C \frac{dQ}{T} + \int_A \frac{dQ}{T} > 0$$

questa è l'entropia di  
una trasformazione irre  
versibile si può scrivere SB - SA

per trasformazioni  
irreversibili non si può  
calcolare l'entropia a  
meno che non sia una  
condo perché  $dQ = 0$   
quando  $\int \frac{dQ}{T} = 0$

NEL CASO DI ADIABATICO

$$\int_C \frac{dQ}{T}$$

$$\int_C \frac{dQ}{T} + \int_A \frac{dQ}{T} \geq 0$$

$$\int_C \frac{dQ}{T} \geq - \int_A \frac{dQ}{T}$$

$$\text{de } \int \frac{dQ}{T} = 0 \\ \Rightarrow \int = 0$$

$$\int_C \frac{dQ}{T} \geq 0$$

$\underbrace{\phantom{000}}$

REVERSIBLE  $\Rightarrow S_B - S_A$

$$S(B) - S(A) \geq 0$$

$$S(B) \geq S(A)$$

