

Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it

Lunedì 23 novembre 2020

15:00-17:00

(15:30-17:00)

registrazione disponibile per chi
sarà in presenza la mattina

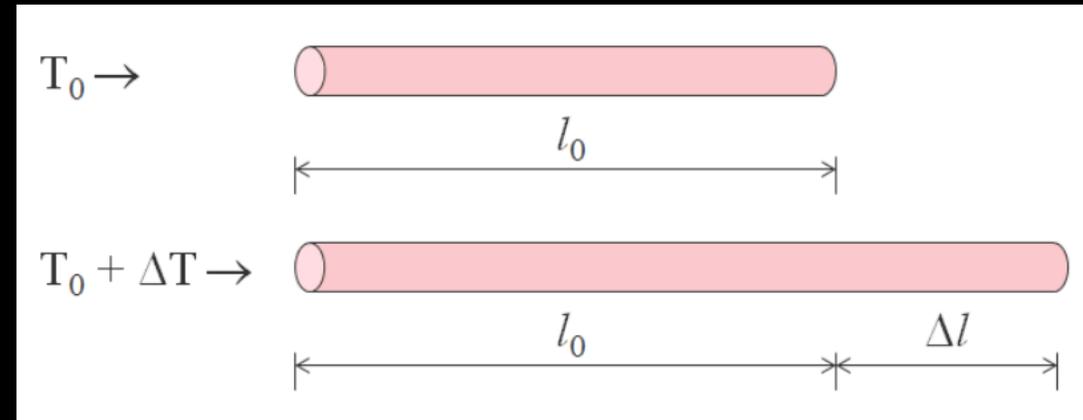
meet.google.com/khp-neqs-kgd

temperatura → agitazione termica → distanza interatomica

lineare → $l(T) = l(T_0) [1 + \alpha (T - T_0)]$

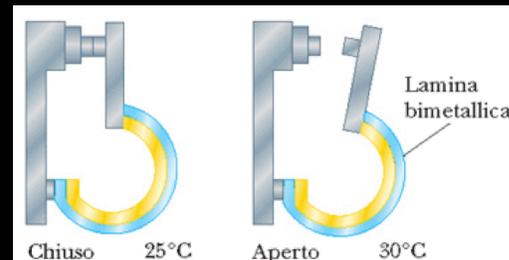
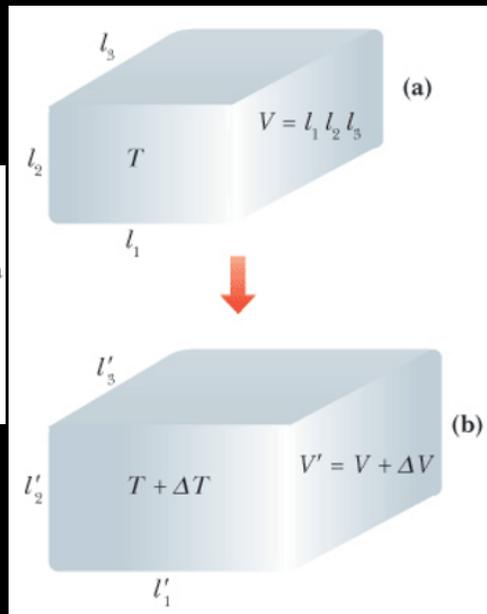
$\alpha = 0,1-10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta T$$



se $V(T_0) = l_1 l_2 l_3$ allora $V(T) = V(T_0) + \Delta V =$
 $= l_1 [1 + \alpha \Delta T] l_2 [1 + \alpha \Delta T] l_3 [1 + \alpha \Delta T] = l_1 l_2 l_3 [1 + \alpha \Delta T]^3$
 $\sim l_1 l_2 l_3 [1 + 3\alpha \Delta T] = V(T_0) + V(T_0) 3\alpha \Delta T$

$$\frac{\Delta V}{V(T_0)} = 3\alpha \Delta T$$



$$pV = nRT$$

pressione (Pa) ————— quantità di gas (mol)
volume (m³) ————— temperatura (K)

$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

un gas occupa tutto il **volume** del contenitore esercitando sulle sue pareti una **pressione** che è anche funzione della **temperatura**

le tre variabili di stato p , V , T non sono indipendenti:

per descrivere lo **stato di equilibrio** ne bastano due \rightarrow Clapeyron: p , V

pressione $p = F/S$

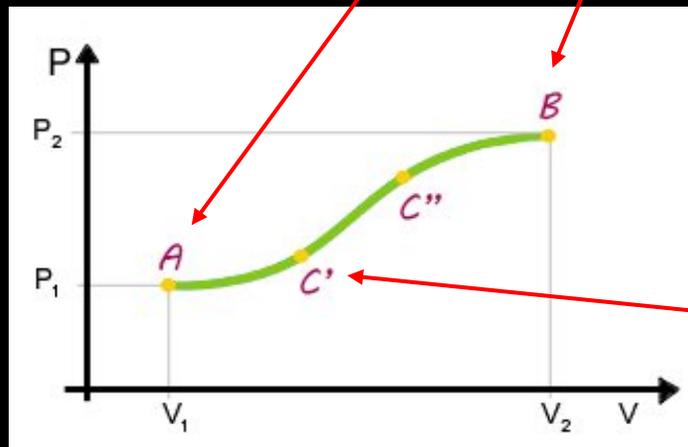
1 pascal = 1 newton/1 metro quadro

1 Pa = 1 N / 1 m²

(1 atm = 101,3 kPa = 760 mmHg)

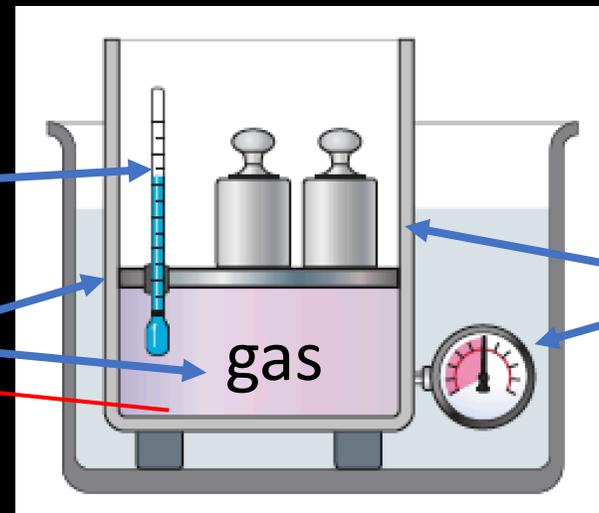
volume molare \leftrightarrow pressione atmosferica, 0°C

$$V_m = RT/p = 8,31 \times 273,15 / 101,3 \cdot 10^3 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$



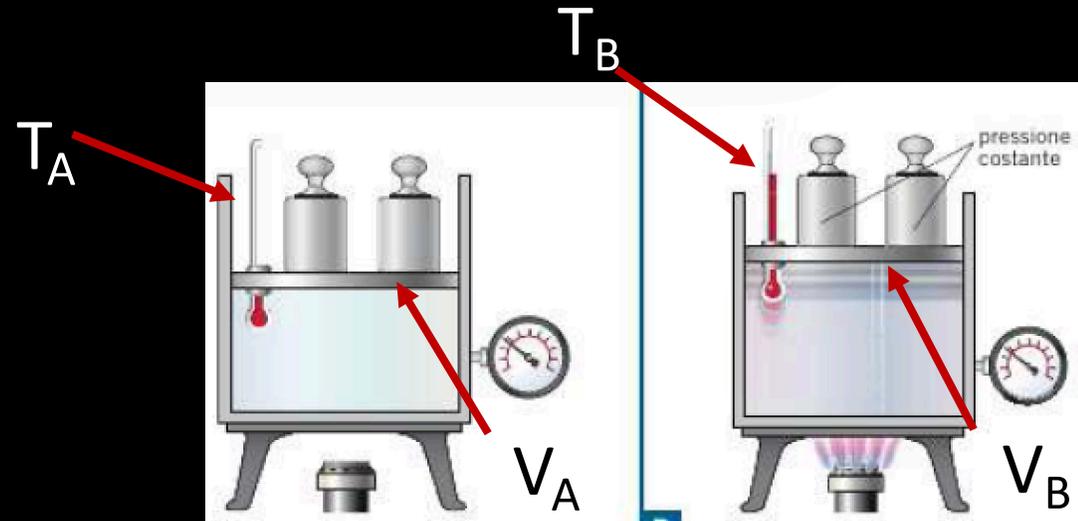
temperatura

volume



pressione

pistone fermo,
temperatura fissa
 \rightarrow sistema in equilibrio

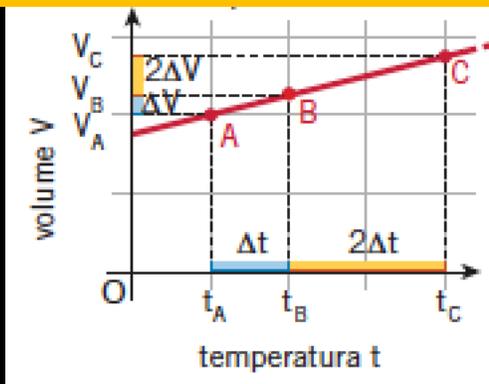


$$p V = n R T$$

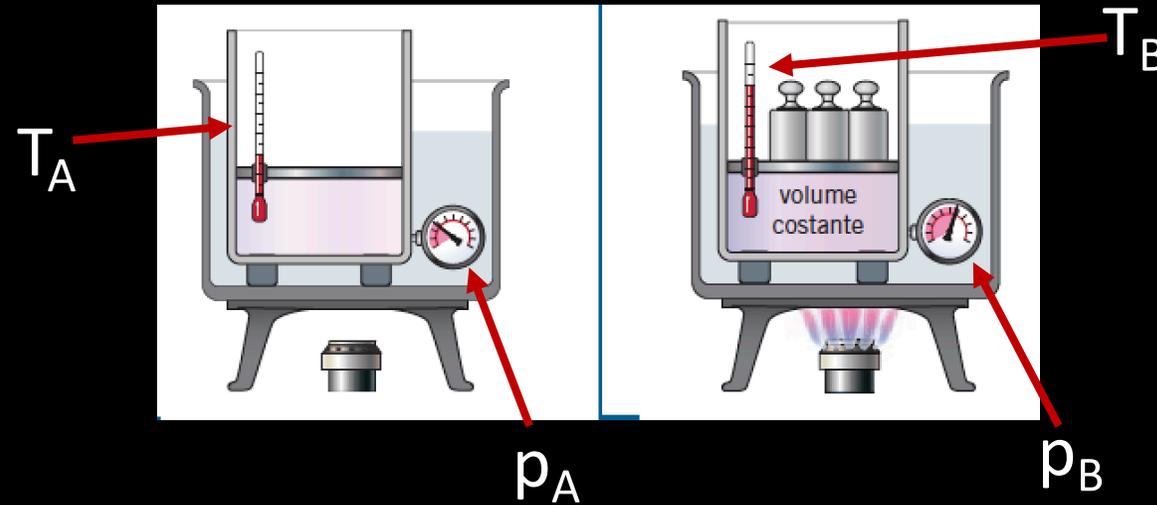
$$V = (n R/p) T$$

legge di Volta - Gay Lussac

pressione costante



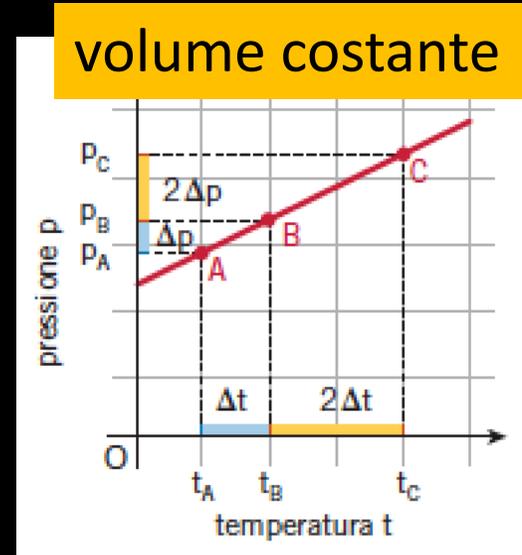
$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

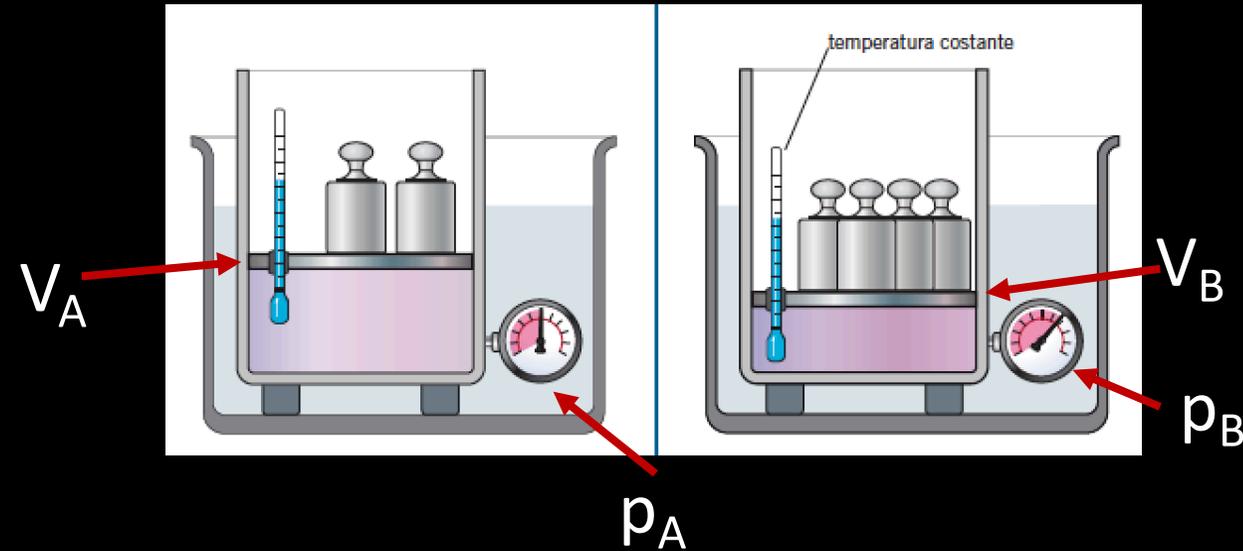


$$p V = n R T$$

$$p = (n R/V) T$$

legge di Volta - Gay Lussac



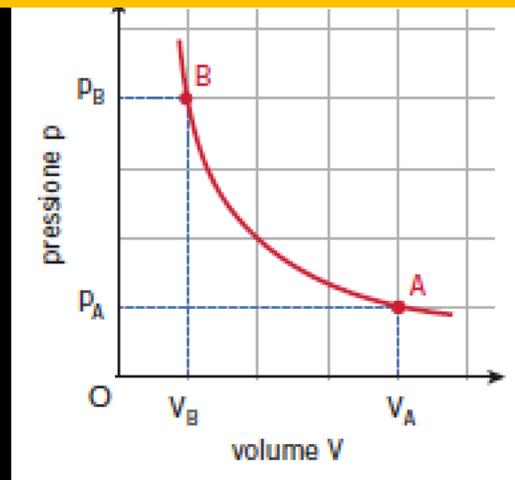


$$p V = n R T$$

$$p = (n R T)/V$$

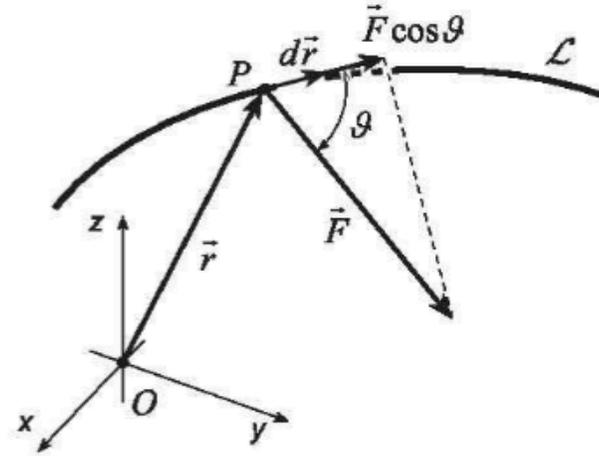
legge di Boyle

temperatura costante



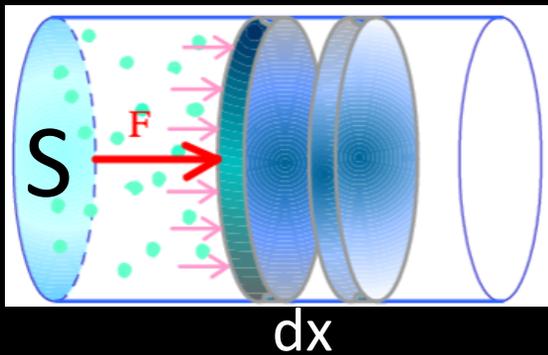
Consideriamo un punto materiale P in moto lungo una curva \mathcal{L} per effetto di una forza \vec{F} ; sia \vec{r} il vettore posizione del punto in un sistema di riferimento inerziale. In un intervallo di tempo dt il punto compie uno spostamento $d\vec{r}$. Si definisce *lavoro* elementare della forza \vec{F} agente sul punto materiale P che si sposta di $d\vec{r}$ la quantità scalare:

$$dW \equiv \vec{F} \cdot d\vec{r} = F dr \cos \vartheta. \quad (5.1)$$



Lavoro
Work

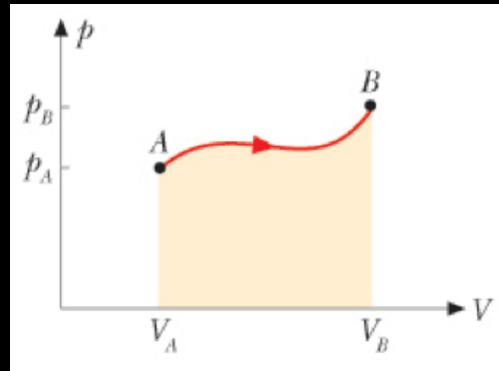
$$dL = \vec{F} \cdot d\vec{r}$$



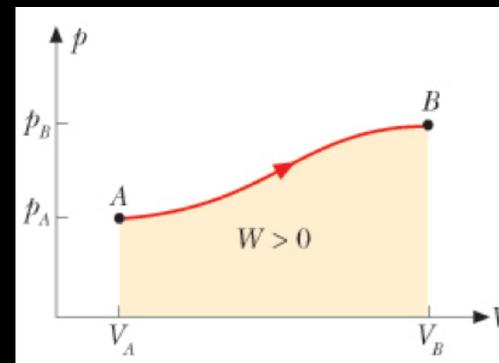
$$dV = S dx$$

$$p = F/S \rightarrow F = p S$$

$$dL = F dx = pS dx = p dV$$

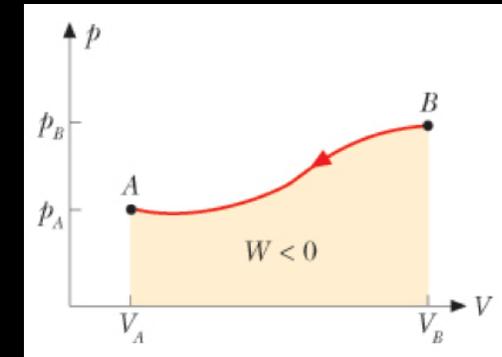


$$L = \int_A^B p dV$$



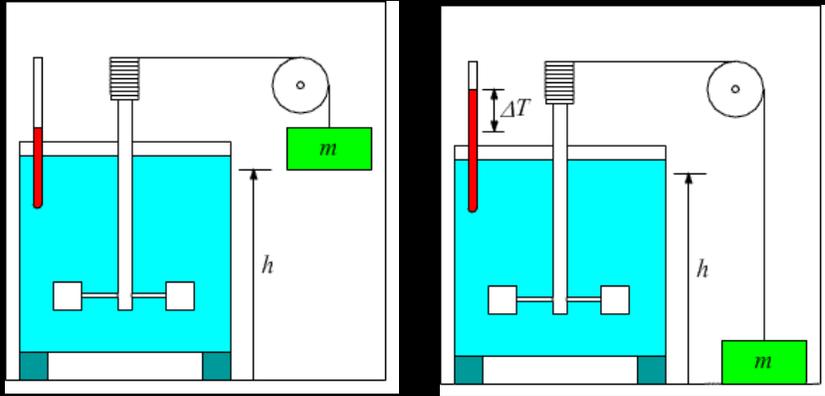
$$L = \int_{V_A}^{V_B} p dV > 0$$

espansione



$$L = \int_{V_B}^{V_A} p dV < 0$$

compressione

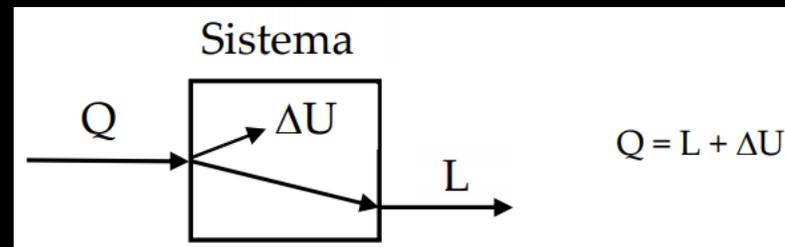


esperienze di Joule: in un sistema adiabatico, in qualunque modo venga trasformata la stessa quantità di energia (meccanica, elettrica, chimica, ...) si ottiene la stessa quantità di calore

sperimentalmente: a parità di capacità termica la stessa quantità di calore produce la stessa variazione di temperatura

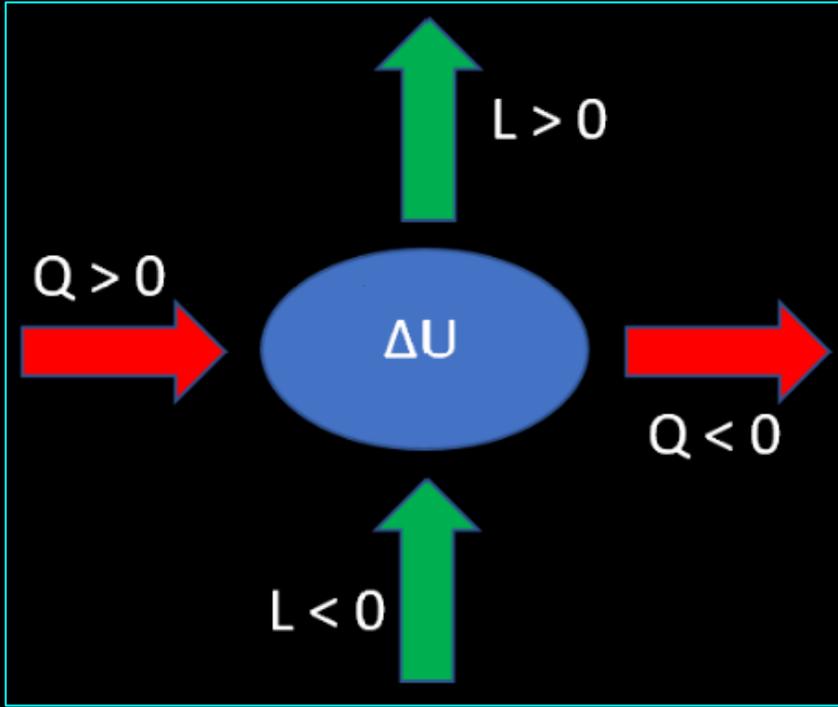
$Q - L = \text{costante}$ indipendentemente da come si passa dallo stato iniziale a quello finale

$Q - L = \Delta U$ con U energia interna (dovuta a moti molecolari e forze intermolecolari conservative)



$Q = L + \Delta U \iff [\text{fornisco del calore } Q] = [\text{ottengo del lavoro } L] + [\text{aumenta l'energia interna } U]$

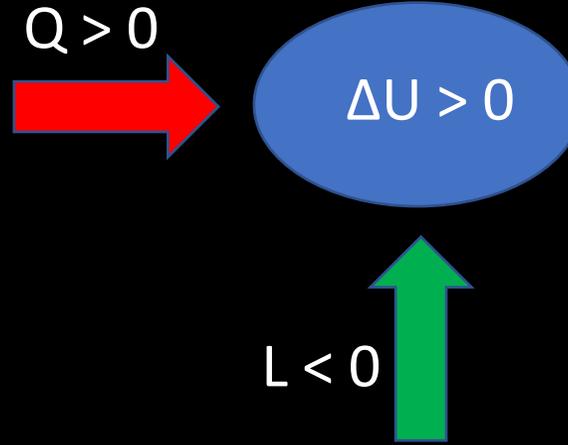
TERMODINAMICA



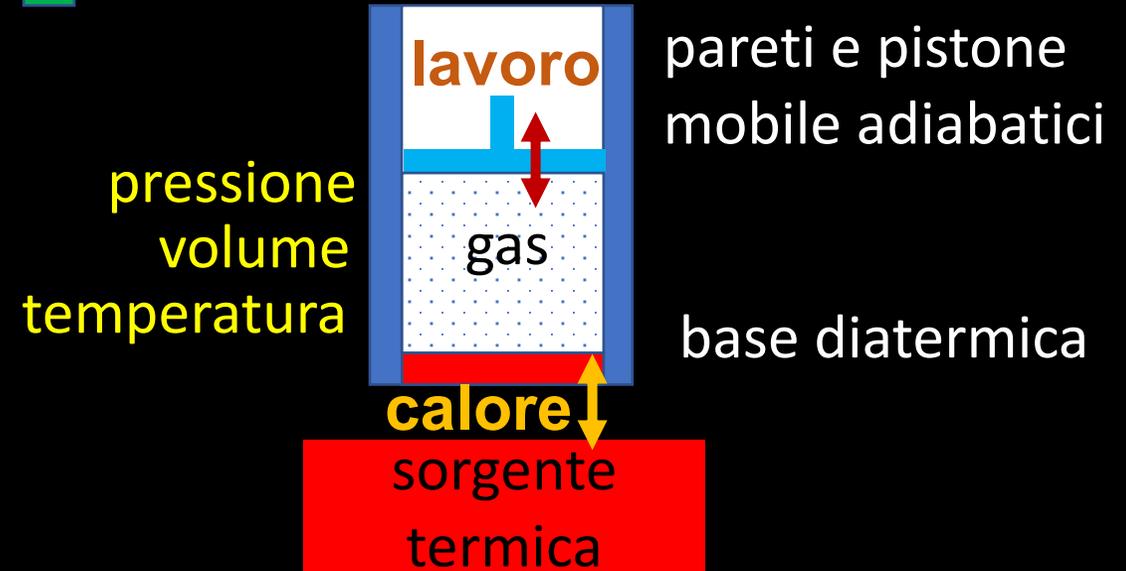
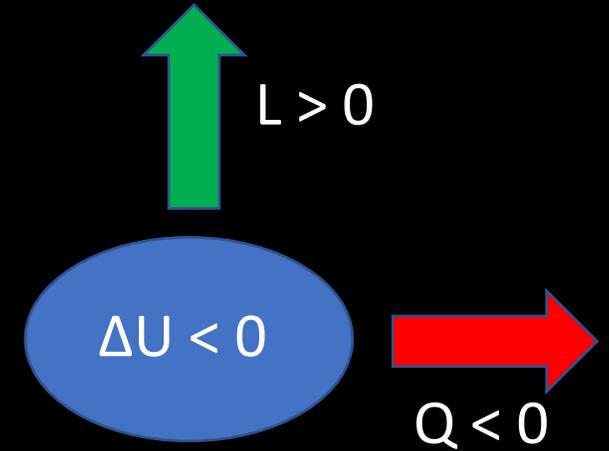
convenzione segni

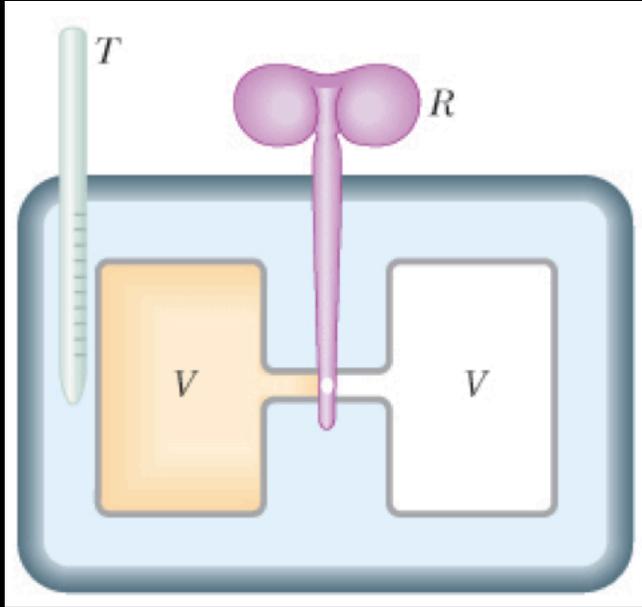
$$Q = L + \Delta U$$

$$dQ = dL + dU$$



PRIMO PRINCIPIO





recipiente rigido e adiabatico

$$U(p, V, T) = U(T)$$

espansione nel vuoto: non si compie lavoro perché non c'è una pressione esterna contro cui lavorare

esternamente: il volume non cambia ($L = 0$), non ci sono scambi di calore ($Q = 0$)
essendo $Q = L + \Delta U \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow U = \text{costante}$

sperimentalmente la temperatura rimane uguale

internamente: il gas cambia volume, la pressione cambia ($pV = nRT$)

cambia tutto ma non $T \rightarrow U(p, V, T) = U(T)$

TERMODINAMICA

calori specifici gas

$$C = dQ/dT = n c_x$$

C: capacità termica

c_x : calore specifico molare nella trasformazione x

$$dQ = dL + dU = pdV + dU$$

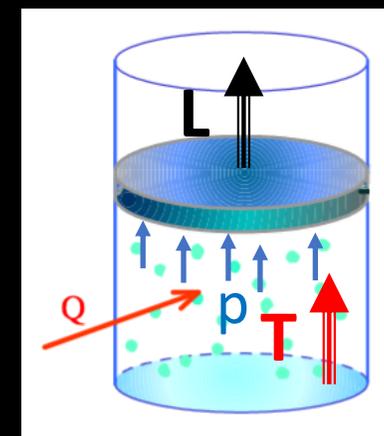
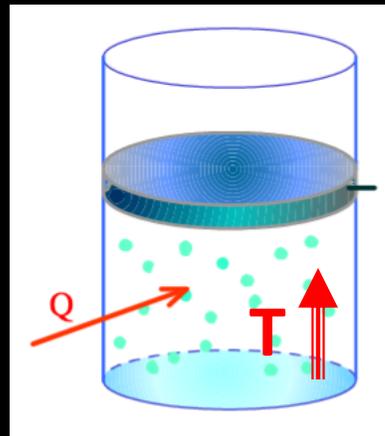
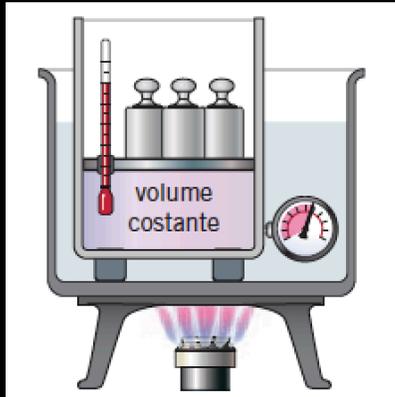
$$dQ/dT = pdV/dT + dU/dT$$

$$(dQ/dT)_v = n c_v = p \cdot 0 + (dU/dT)_v \rightarrow dU_v = n c_v dT = dU \text{ (Il Joule)}$$

$$(dQ/dT)_p = n c_p = d(pV)/dT + (dU/dT)_p = d(nRT)/dT + n c_v dT/dT = n R + n c_v = n (R + c_v)$$

$$\rightarrow c_p = c_v + R \text{ (relazione di Mayer)}$$

	c_v	c_p	$\gamma = c_p/c_v$
gas mono-atomico	$3/2 R$	$5/2 R$	$5/3 = 1,67$
gas bi-atomico	$5/2 R$	$7/2 R$	$7/5 = 1,40$
gas poli-atomico	$3 R$	$4 R$	$4/3 = 1,33$



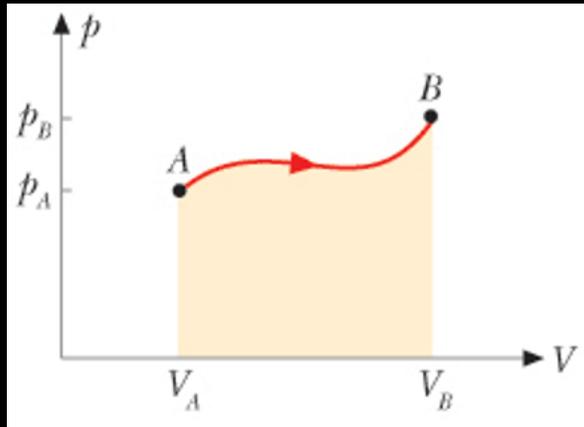
a volume costante $L = 0 \rightarrow Q = \Delta U$
(come nei solidi/liquidi)

a pressione costante $L \neq 0 \rightarrow Q = L + \Delta U$
(soprattutto i gas)

considereremo solo trasformazioni in cui si passa da uno stato di equilibrio A a uno stato di equilibrio B attraversando **stati successivi di equilibrio** (trasformazione lenta, quasi statica)

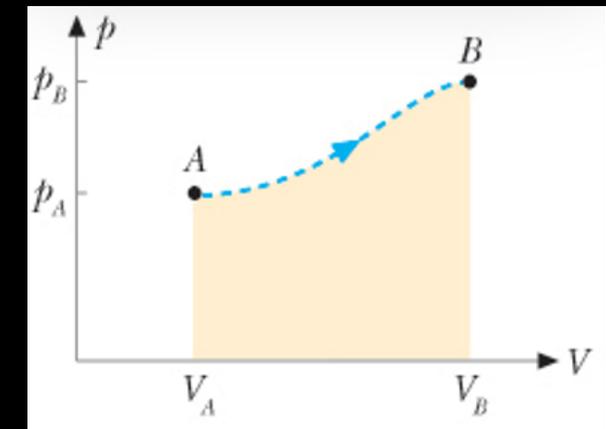
il sistema passa da uno stato di equilibrio $S = (p, V, T)$ a uno stato di equilibrio infinitamente vicino $S' = (p+dp, V+dV, T+dT)$ scambiando con l'ambiente quantità infinitesime dQ e dL .

Questo significa che invertendo il verso di dQ e di dL si torna da S' a $S \rightarrow$ **trasformazione reversibile**



graficamente nel piano, per esempio, di Clapeyron significa che la funzione $p(V)$ associata a una trasformazione termodinamica reversibile è una **funzione continua**

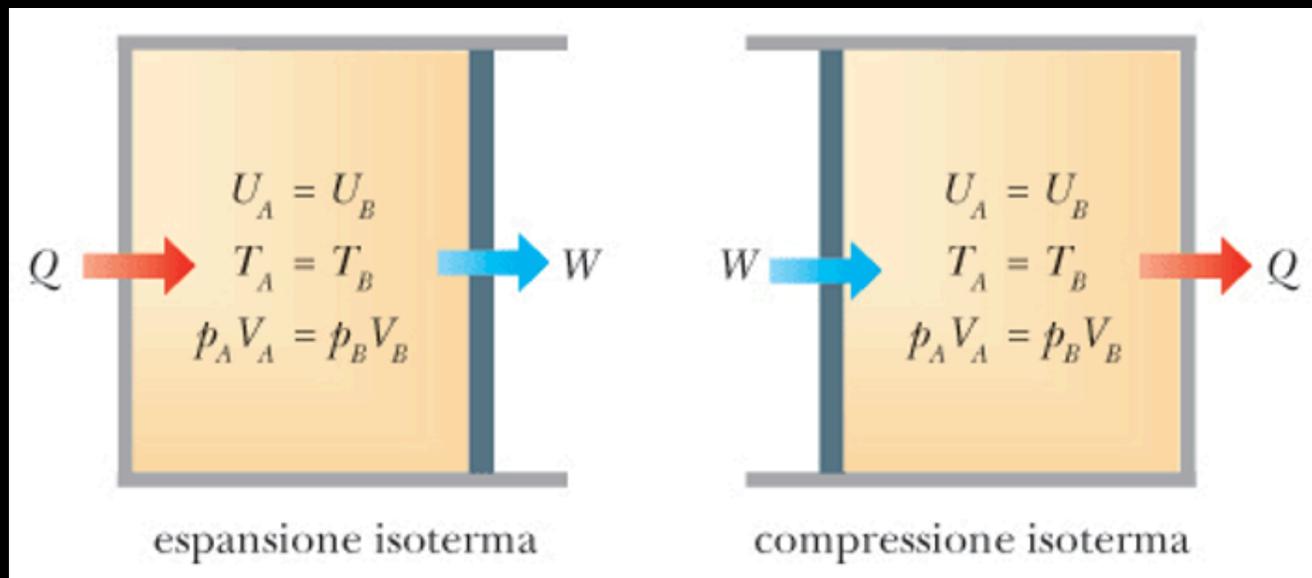
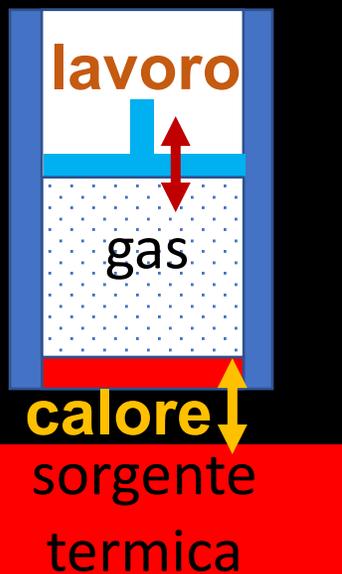
una trasformazione spontanea è spesso molto rapida. Questo significa che andando da A a B non si dà tempo per raggiungere stati intermedi di equilibrio. La trasformazione è quindi irreversibile. Graficamente una **trasformazione irreversibile** da A a B è spesso disegnata con un tratteggio



TERMODINAMICA

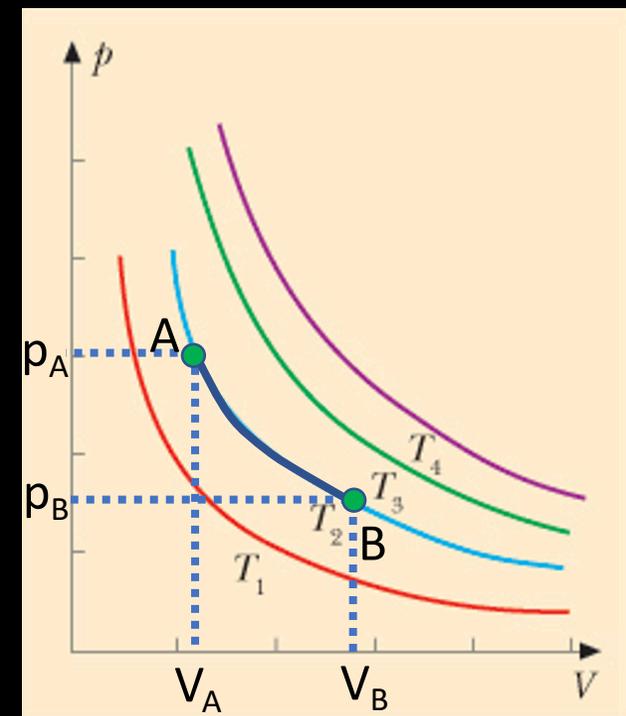
$$p V = n R T$$

ISOTERMA



A → B

B → A



$$dL = p dV = n R T dV/V \rightarrow L = n R T \ln (V_B/V_A)$$

$$dL = p dV = p d(n R T/p) = n R T p d(1/p) = -n R T dp/p \rightarrow L = -n R T \ln (p_B/p_A)$$

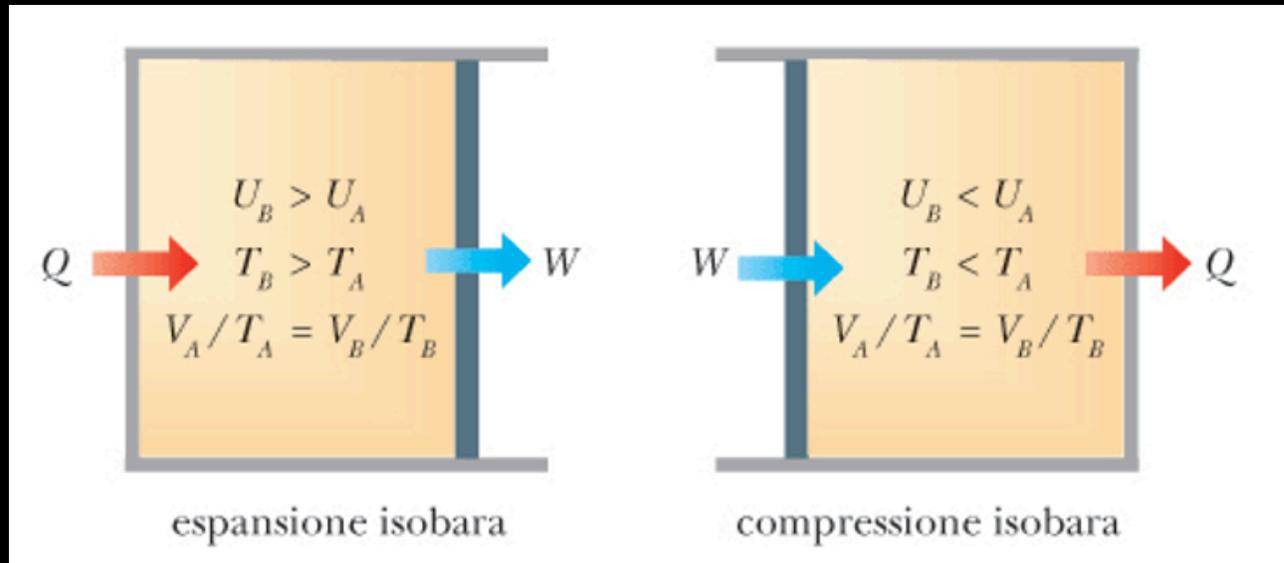
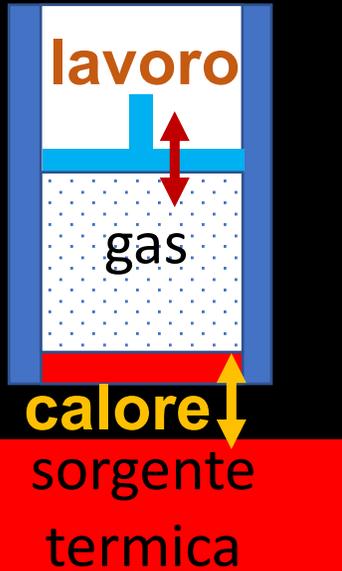
$$dU = n c_v dT = 0$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n R T \ln (V_B/V_A)$$

TERMODINAMICA

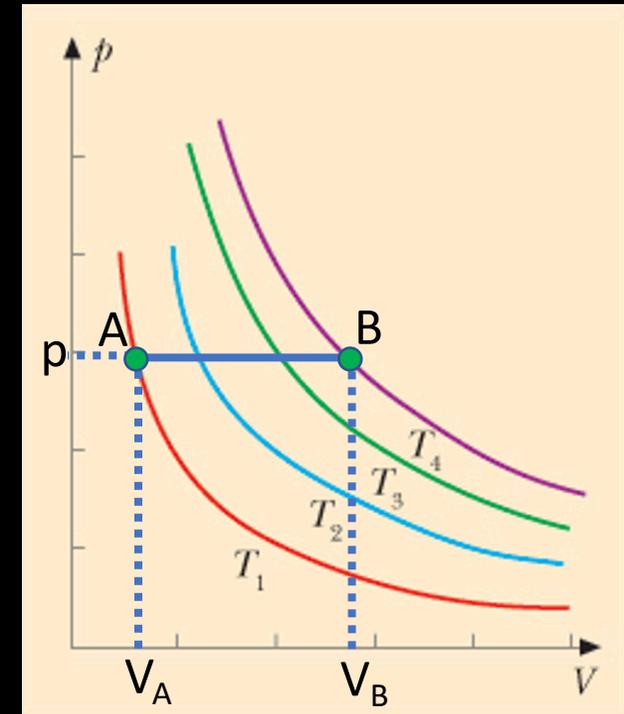
$$p V = n R T$$

ISOBARA



A \rightarrow B

B \rightarrow A



$$dL = p dV \rightarrow L = p (V_B - V_A)$$

$$dL = p dV = d(pV) = d(nRT) \rightarrow L = nR (T_B - T_A)$$

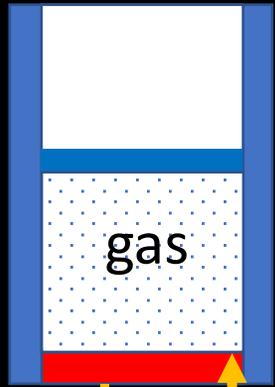
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n R (T_B - T_A) + n c_v (T_B - T_A) = n c_p (T_B - T_A)$$

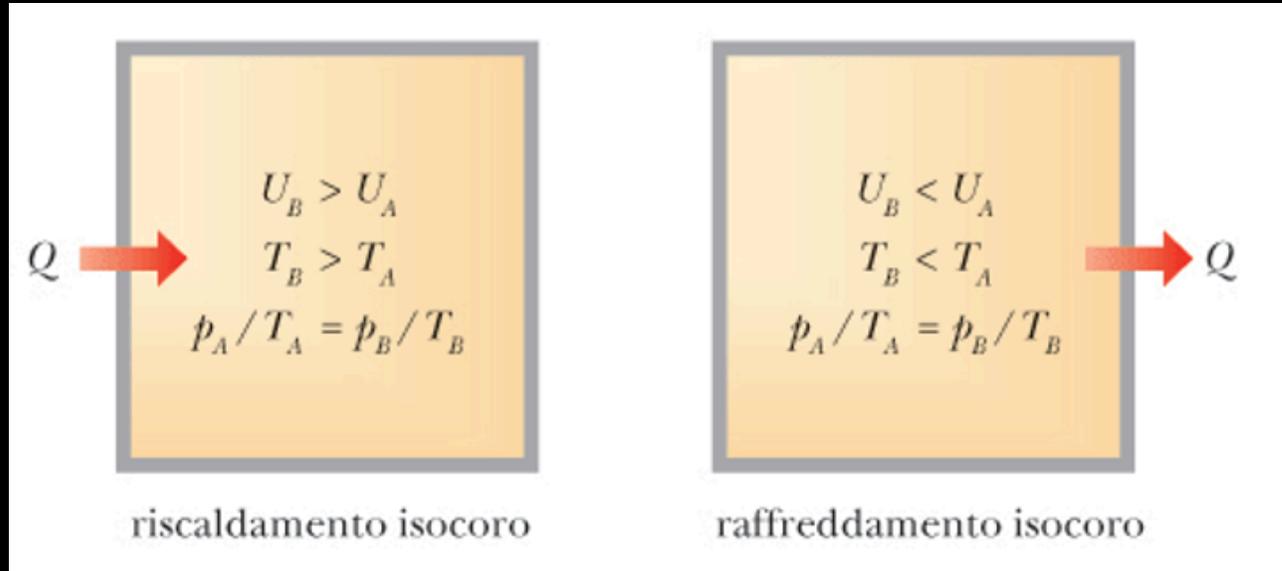
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ISOCORA



calore
sorgente
termica



$$\begin{aligned} U_B &> U_A \\ T_B &> T_A \\ p_A / T_A &= p_B / T_B \end{aligned}$$

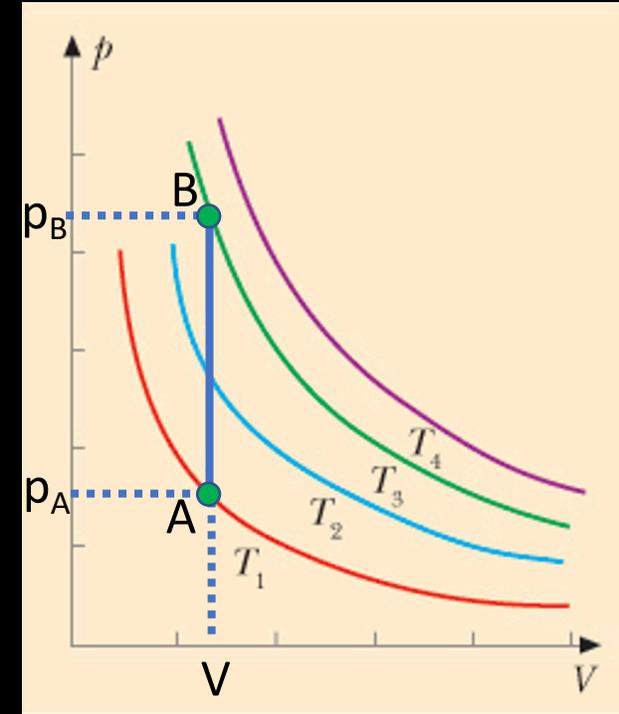
riscaldamento isocoro

A → B

$$\begin{aligned} U_B &< U_A \\ T_B &< T_A \\ p_A / T_A &= p_B / T_B \end{aligned}$$

raffreddamento isocoro

B → A



$$dL = p dV \rightarrow L = 0$$

$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

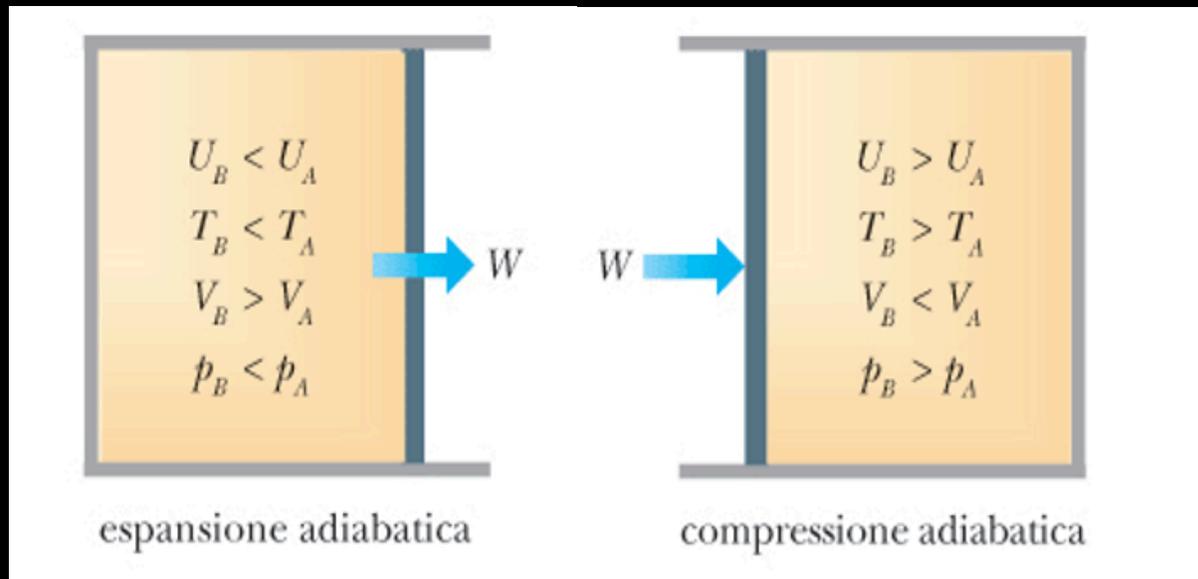
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ADIABATICA

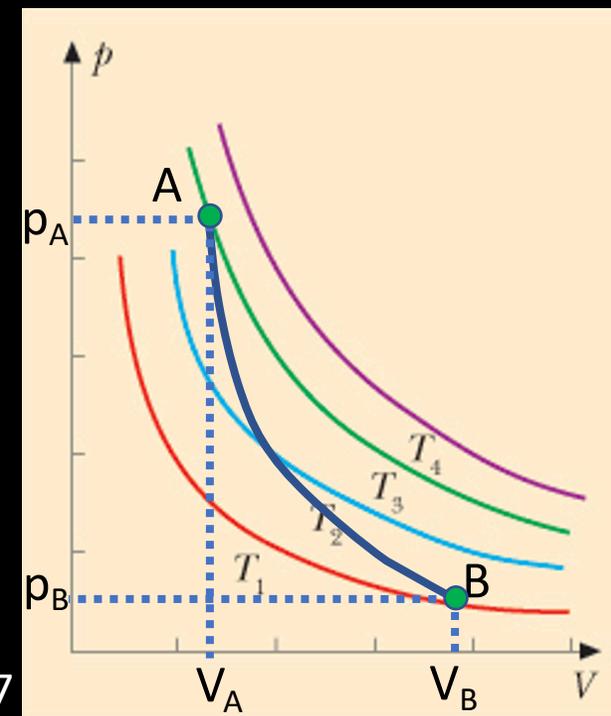


~~sergente termica~~



A → B

B → A



$p V^\gamma = \text{costante}$ $\gamma = \text{coefficiente adiabatico} = c_p/c_v$

$T V^{\gamma-1} = \text{costante}$

$T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}$

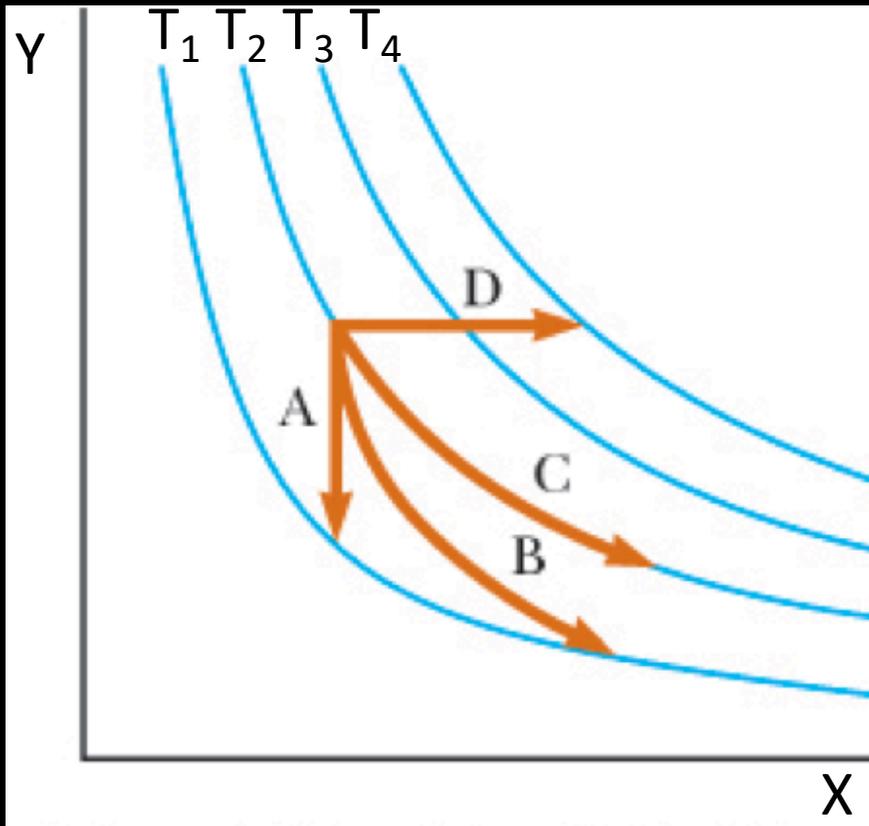
monoatomici $\gamma = 5/3 = 1,67$
 biatomici $\gamma = 7/5 = 1,40$
 poliatomici $\gamma = 4/3 = 1,33$

$$dQ = dL + dU \rightarrow 0 = p dV + n c_v dT = n R T dV/V + n c_v dT \rightarrow dV/V = -c_v/R dT/T$$

$$\ln(V/V_0) = \ln[(T/T_0)^{-c_v/R}] \rightarrow V/V_0 = (T/T_0)^{-c_v/R} \rightarrow V T^{c_v/R} = \text{costante}$$

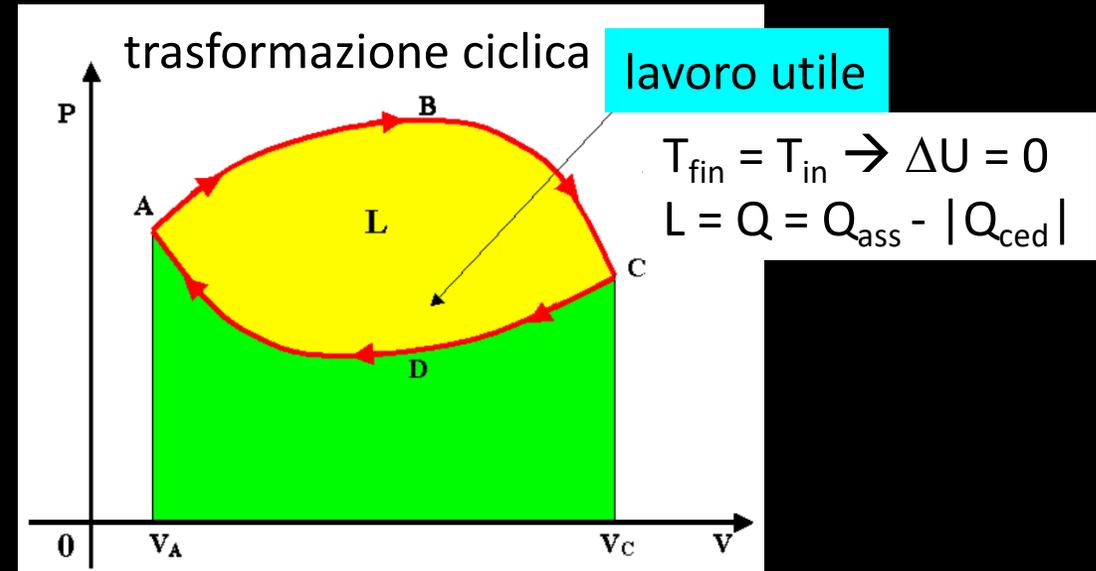
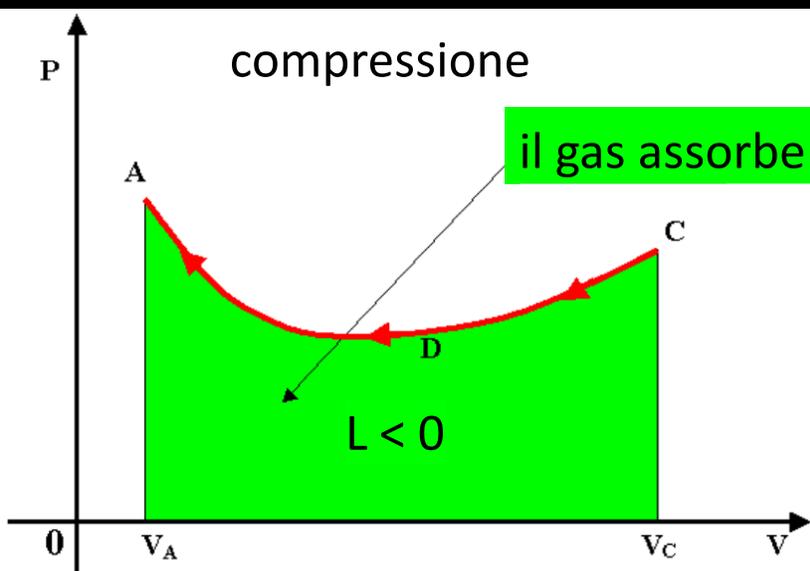
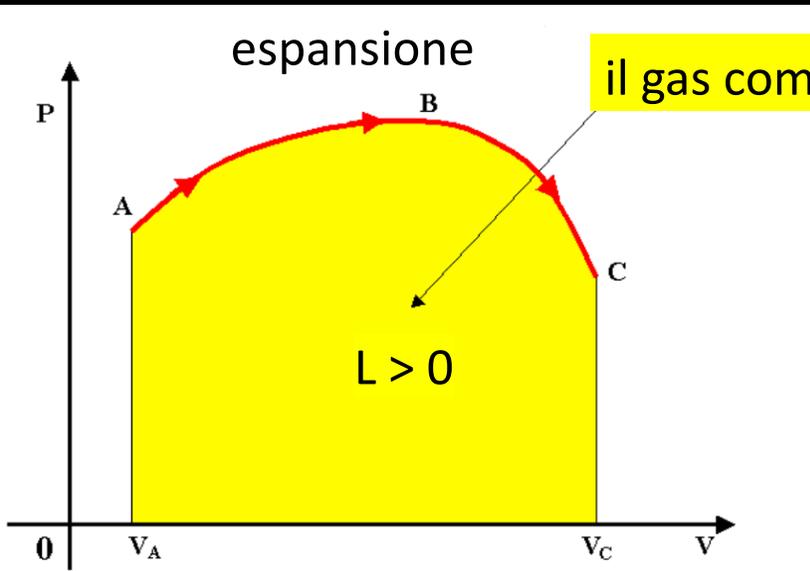
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = 0 \rightarrow L = -\Delta U = -n c_v (T_B - T_A)$$



identificare:

- 1) X e Y
- 2) la temperatura minore e quella maggiore
- 3) i quattro tipi di trasformazione
- 4) il segno del calore scambiato per ognuna delle trasformazioni
- 5) quale trasformazione produce il lavoro minore



in una trasformazione ciclica il gas torna allo stato iniziale

il lavoro complessivamente prodotto (lavoro utile) è pari alla differenza fra il calore assorbito e quello ceduto dal gas

dispositivo in grado di trasformare calore in lavoro

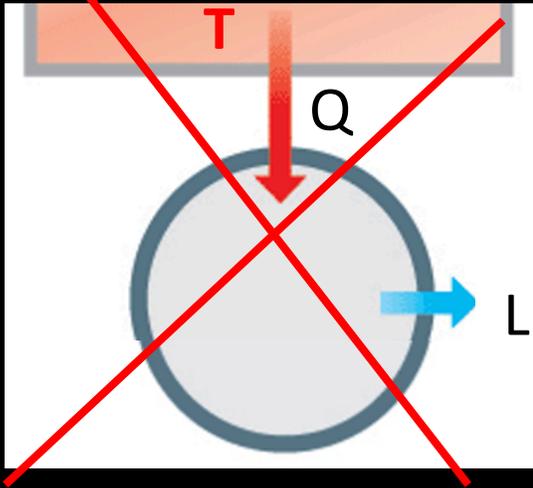
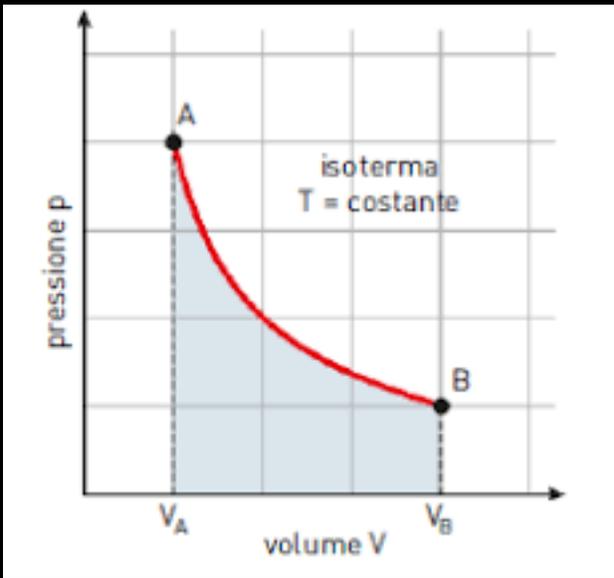
rendimento: $\eta = L/Q$ va massimizzato!

per trasformare tutto Q in L occorre che sia $\Delta U = 0$ come in una isoterma ($\eta = 100\%$)

→ ma una volta che il sistema è passato da A a B la macchina smette di funzionare!

per essere utile la macchina deve lavorare ciclicamente

per tornare da B ad A occorre esattamente lo stesso lavoro che è stato prodotto:
non è sufficiente disporre di una sola sorgente termica

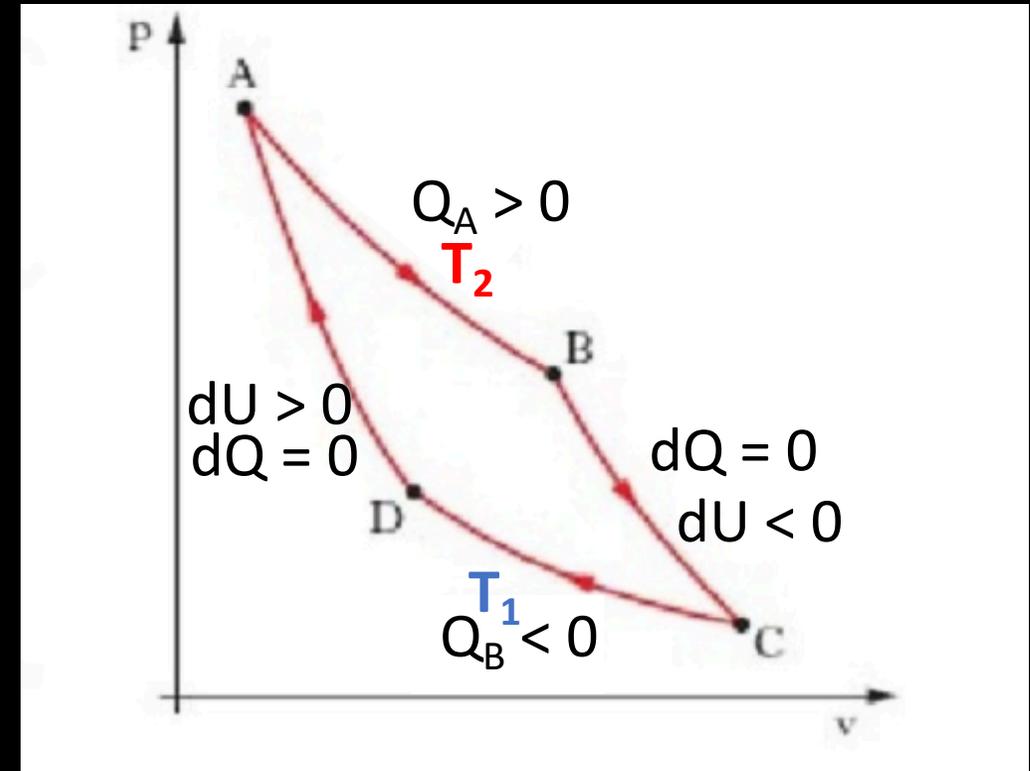
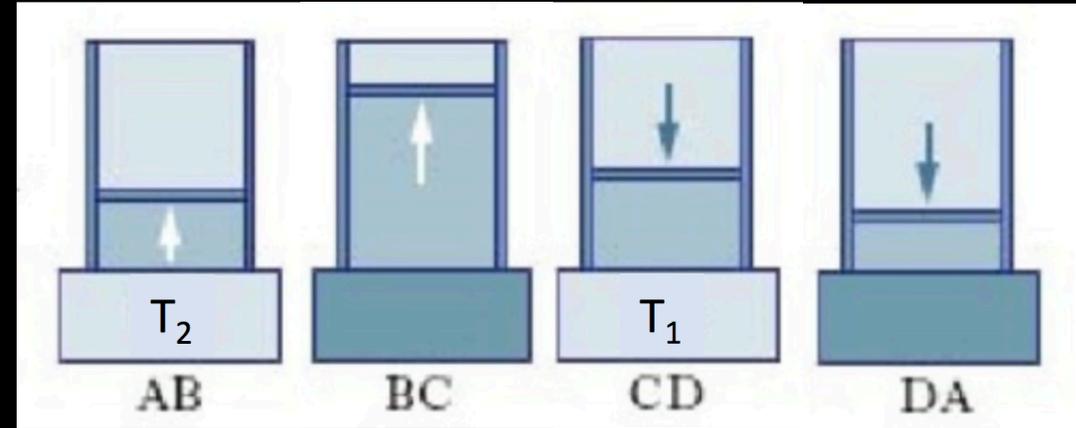
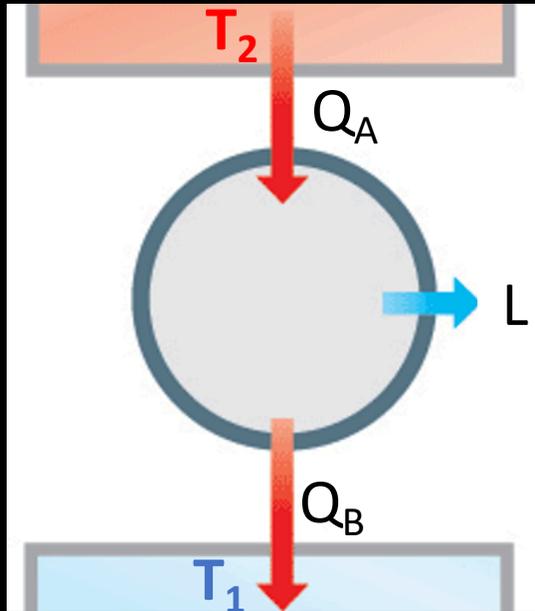


la macchina termica più semplice ha bisogno di due sorgenti termiche

rendimento: $\eta = L/Q$

Q_A calore a temperatura T_2 assorbito dalla macchina

Q_B calore a temperatura T_1 ceduto dalla macchina



dispositivo in grado di trasformare calore in lavoro

rendimento: $\eta = L/Q$ va massimizzato!

ISOTERMA (se A → B)

$$dL = p dV = n RT dV/V \rightarrow L = n RT \ln (V_B/V_A)$$

$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n RT \ln (V_B/V_A)$$

ADIABATICA (se A → B)

$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

$$\rightarrow Q = 0 \rightarrow L = -\Delta U = -n c_v (T_B - T_A)$$

$$p V^\gamma = \text{costante}$$

$$T V^{\gamma-1} = \text{costante}$$

$$T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}$$

$$BC: T_2 V_B^{\gamma-1} = T_1 V_C^{\gamma-1}$$

$$AD: T_2 V_A^{\gamma-1} = T_1 V_D^{\gamma-1}$$

$$V_B/V_A = V_C/V_D$$

$$\eta = L/Q = (L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA})/Q_A =$$

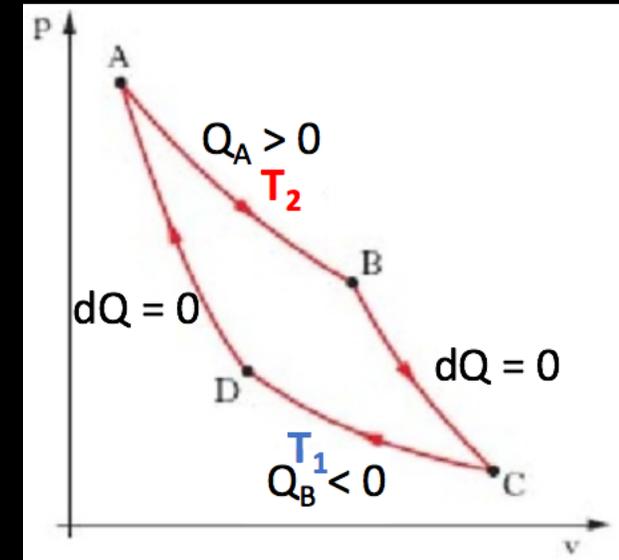
$$= \frac{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} - n c_v (T_1 - T_2) + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C} + n c_v (T_2 - T_1)}{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}}$$

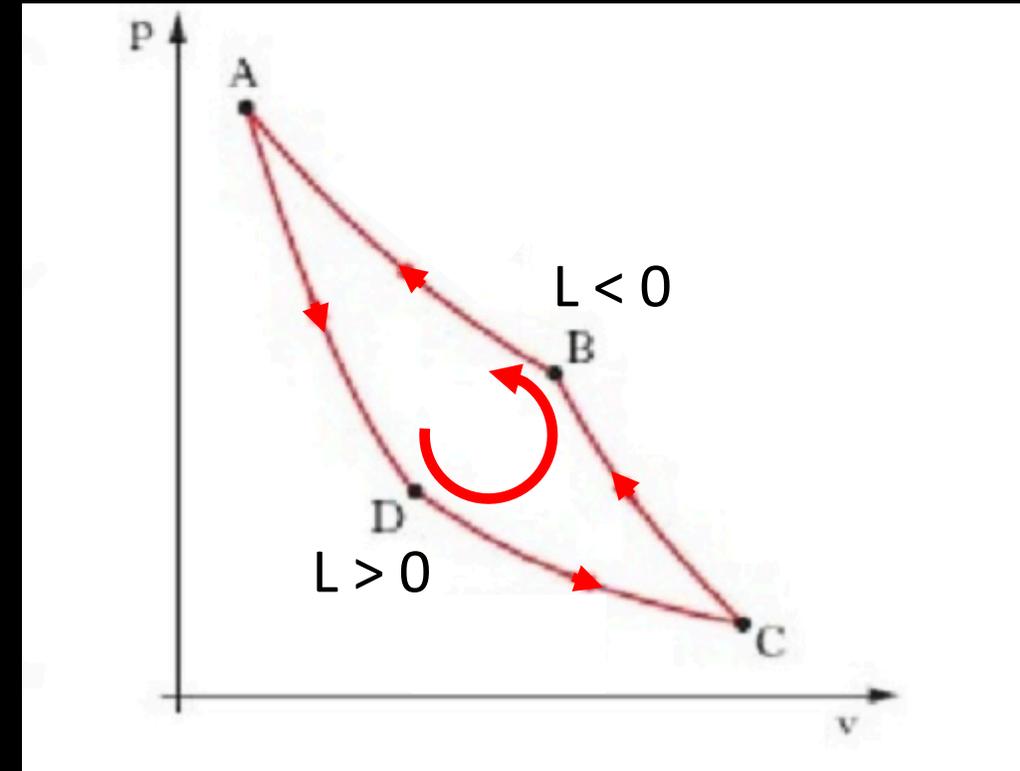
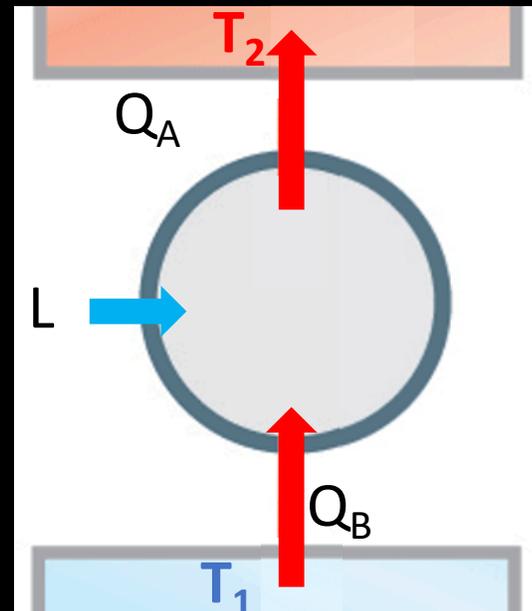
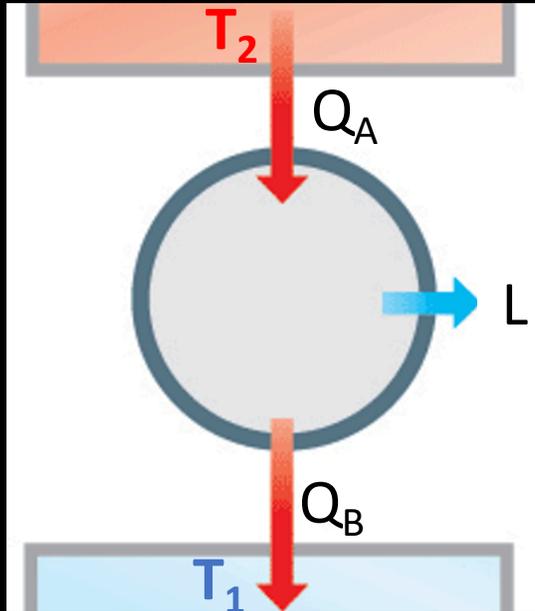
$$= \frac{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}}{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}} = 1 + \frac{T_1 \ln \frac{V_D}{V_C}}{T_2 \ln \frac{V_B}{V_A}} = 1 - \frac{T_1 \ln \frac{V_D}{V_C}}{T_2 \ln \frac{V_D}{V_C}} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

alto **rendimento** se $T_1 \rightarrow 0$ e $T_2 \rightarrow \infty$

fissati T_1 (refrigerante) e T_2 (caldaia), alto **lavoro utile** L se $V_C \gg V_A$

alta **potenza** se elevato numero di giri al secondo: $P = f L$





Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it

Martedì 1 dicembre 2020

11:00-13:00

(11:15-12:45)

meet.google.com/xsc-vwjs-msg