

Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it

lunedì 6 dicembre 2021
11:15-12:45
Aula Valdoni

TERMODINAMICA

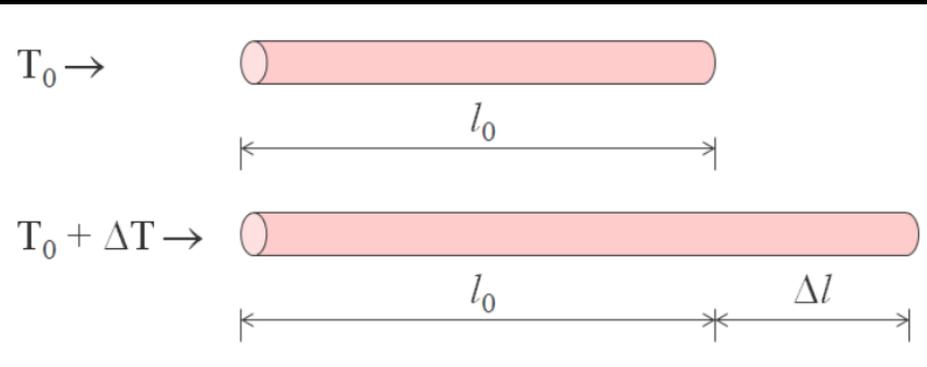
DILATAZIONE TERMICA

temperatura → agitazione termica → distanza interatomica

$$\ell(T) = \ell(T_0) [1 + \alpha (T - T_0)] \quad \alpha = 0,1-10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/K}$$

lineare

$$\Delta \ell = \ell(T_0) \alpha \Delta T$$



se $V(T_0) = l_1(T_0) l_2(T_0) l_3(T_0)$

$$= l_1(T_0) [1 + \alpha \Delta T] \times l_2(T_0) [1 + \alpha \Delta T] \times l_3(T_0) [1 + \alpha \Delta T] =$$

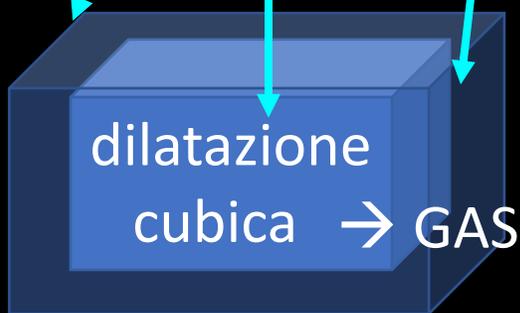
$$= l_1(T_0) l_2(T_0) l_3(T_0) [1 + \alpha \Delta T]^3$$

$$(1 + \alpha \Delta T)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 (\alpha \Delta T) + 3 \cdot 1 (\alpha \Delta T)^2 + (\alpha \Delta T)^3$$

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

$$\Delta V = V(T_0) 3\alpha \Delta T = V(T_0) \gamma \Delta T$$

$$V(T) = V(T_0) + \Delta V =$$



TERMODINAMICA

EQUAZIONE DI STATO DEI GAS PERFETTI

$$pV = nRT$$

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

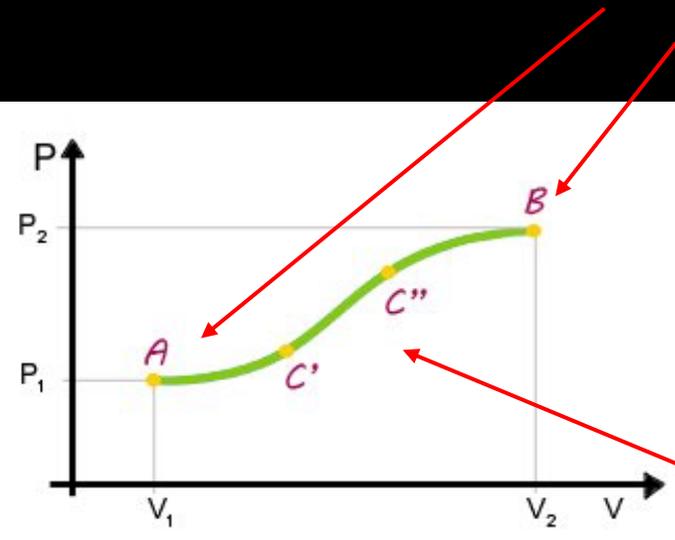
$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

pressione
volume
temperatura

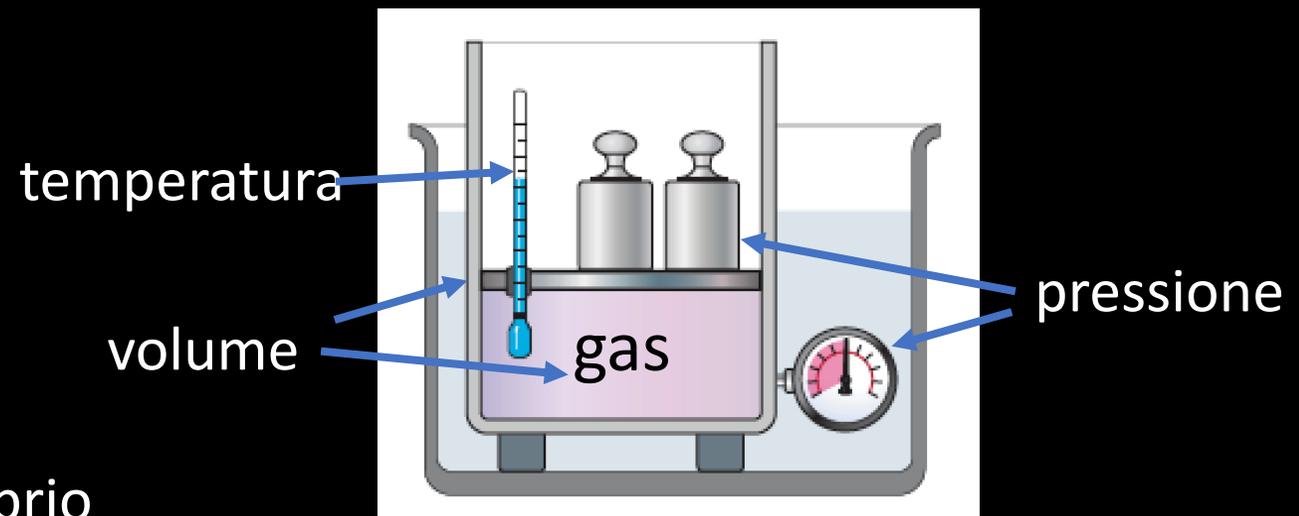
un gas occupa tutto il **volume** del contenitore esercitando sulle sue pareti una **pressione** ($p=F/S$) che è anche funzione della **temperatura**

EQUILIBRIO
calore lavoro

le tre variabili di stato p, V, T non sono indipendenti:
per descrivere lo **stato di equilibrio** ne bastano due → Clayperon: p, V



pistone fermo,
temperatura fissa
→ sistema in equilibrio



$$\begin{array}{ccc} \text{pressione (Pa)} & & \text{quantità di gas (mol)} \\ & \swarrow & \searrow \\ & pV = nRT & \\ & \swarrow & \searrow \\ \text{volume (m}^3\text{)} & & \text{temperatura (K)} \end{array}$$

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

pressione $p = F/S$

1 pascal = 1 newton/1 metro quadro

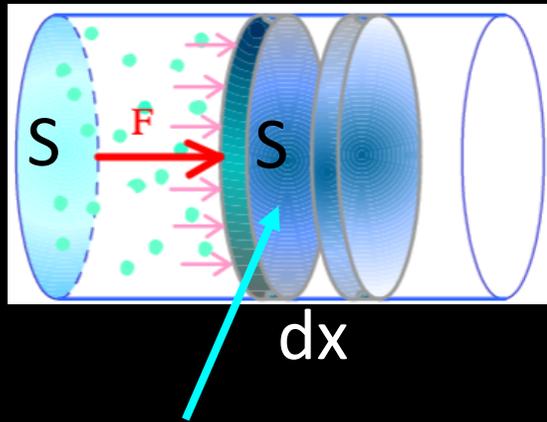
1 Pa = 1 N/1 m²

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

volume molare (n=1) \leftrightarrow pressione atmosferica, 0°C

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

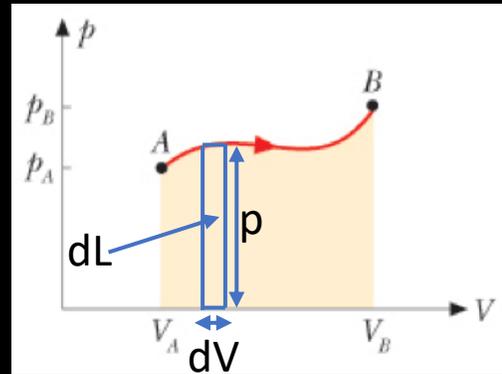
$$dL = \vec{F} \cdot d\vec{s}$$



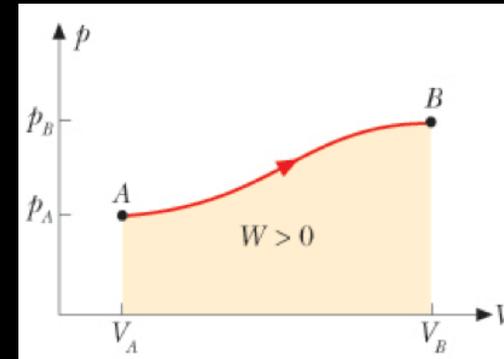
$$dV = S dx$$

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

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

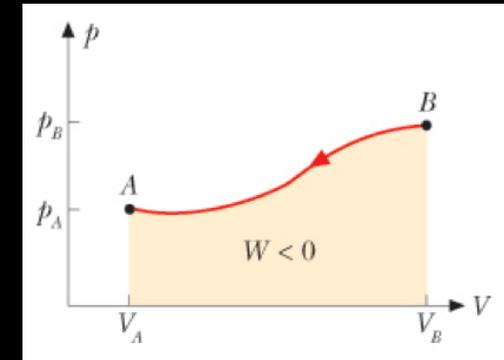


$$L = \int_A^B p dV$$



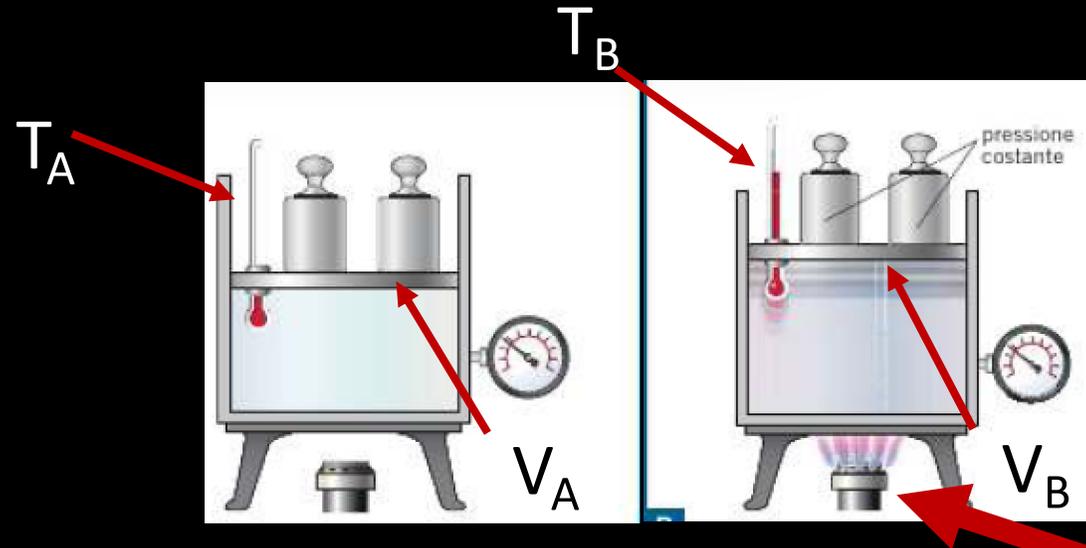
$$L = \int_{V_A}^{V_B} p dV > 0$$

espansione



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

compressione

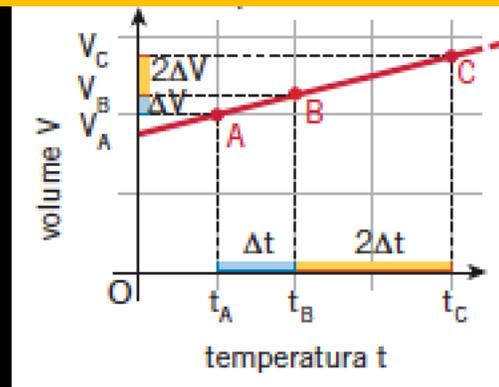


legge di Volta - Gay Lussac

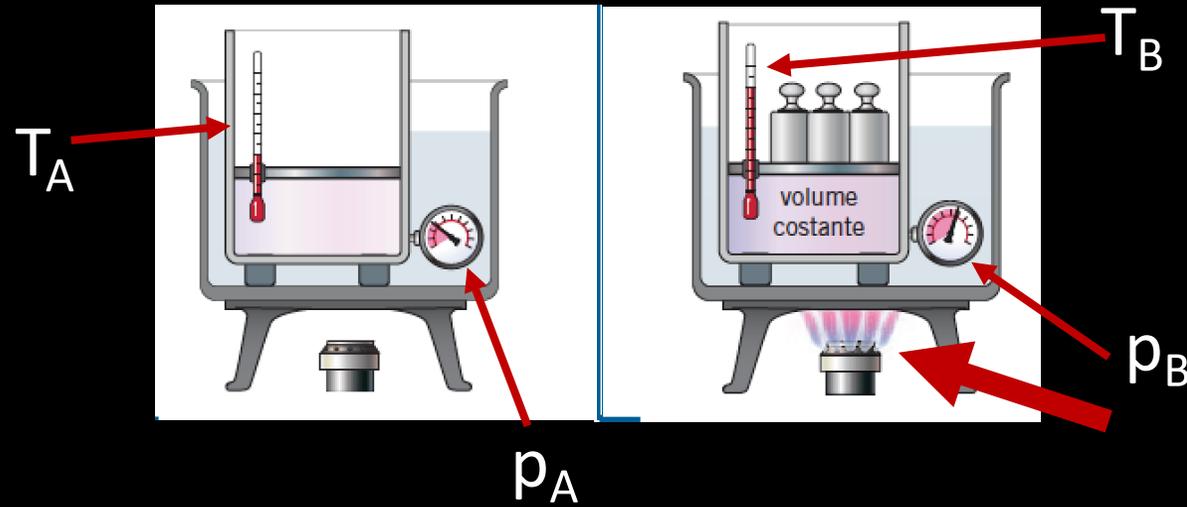
pressione costante

$$p V = n R T$$

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



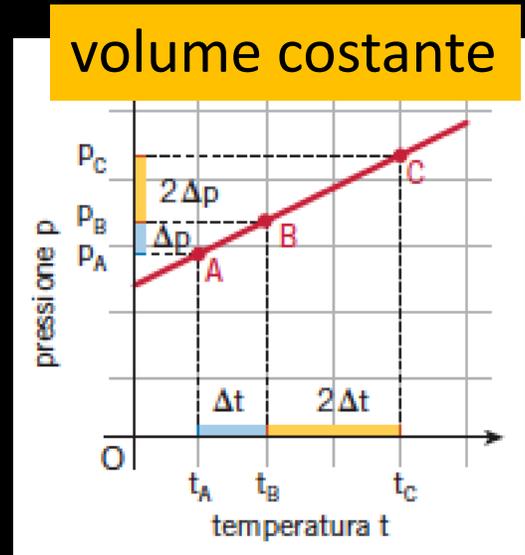
$$R = 8,3145 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

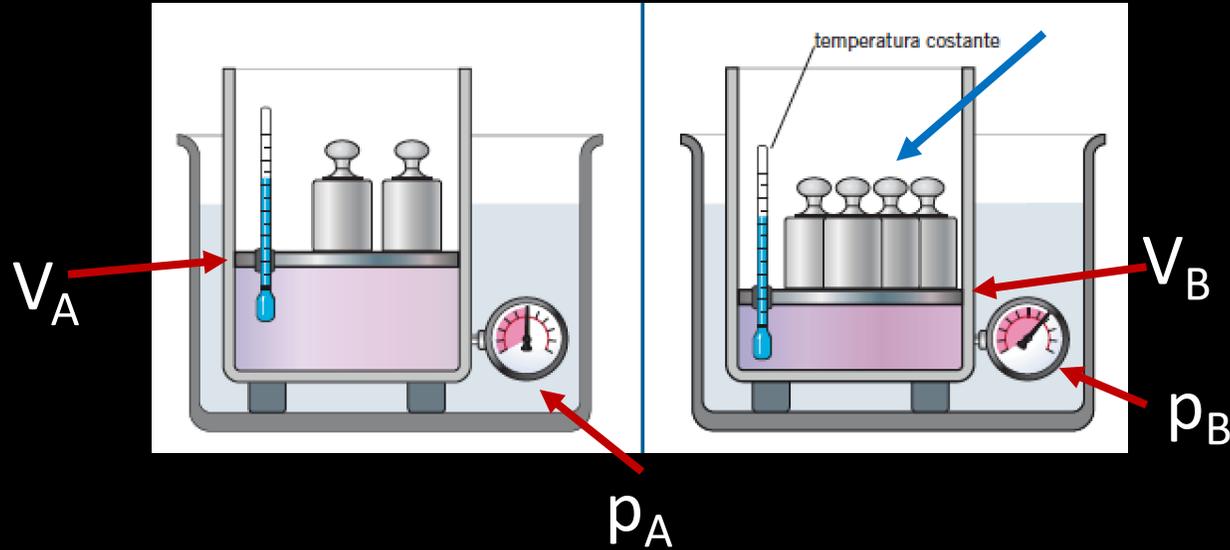


legge di Volta - Gay Lussac

$$p V = n R T$$

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



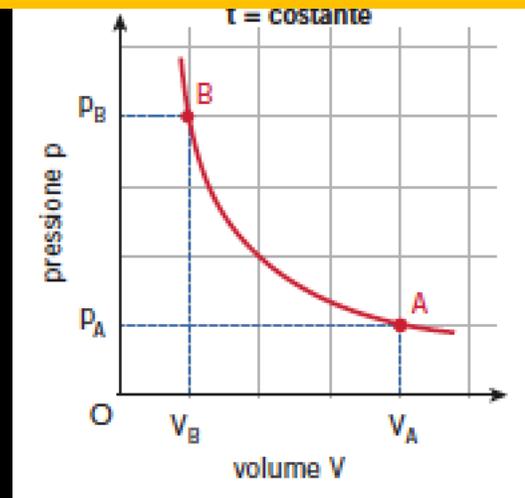


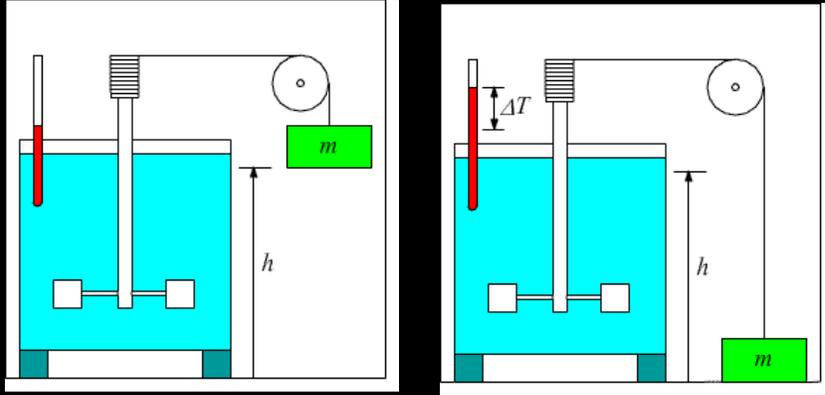
legge di Boyle

temperatura costante

$$p V = n R T$$

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

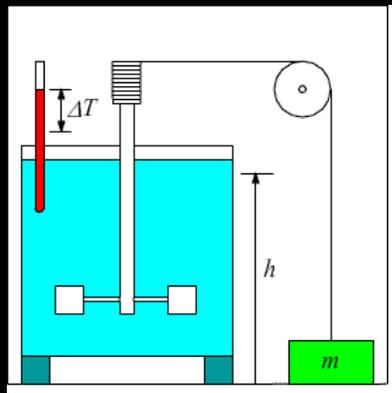
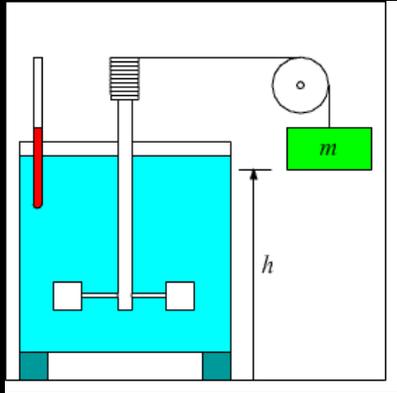




esperienze di Joule: in un sistema adiabatico, in qualunque modo venga trasformata la stessa quantità di energia (meccanica, elettrica, chimica, ...) si ottiene la stessa quantità di calore

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

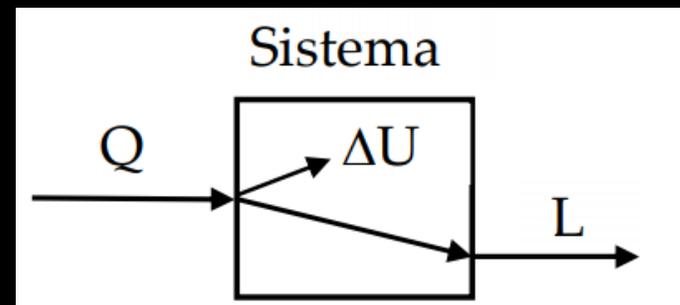


$Q - L = \text{costante}$ indipendentemente da come si passa dallo stato iniziale a quello finale

$Q - L = \Delta U$ con U energia interna

dovuta a moti molecolari e forze intermolecolari conservative (per un gas perfetto U dipende solo dalla temperatura)

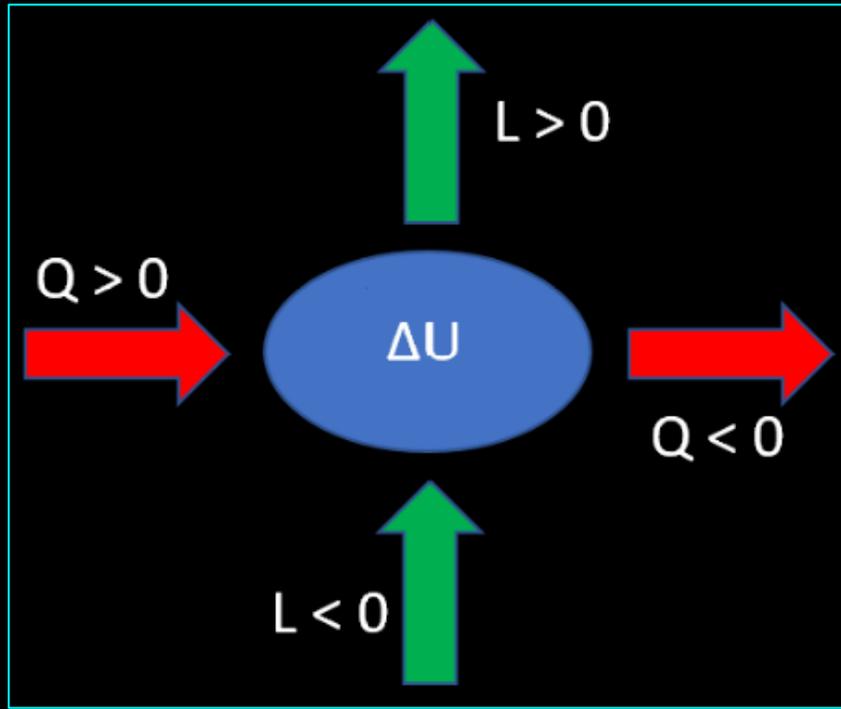
$$Q = L + \Delta U$$



$$Q = L + \Delta U$$

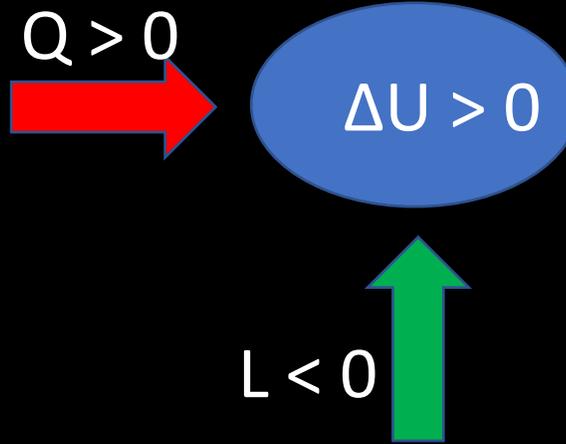
[fornisco del calore Q] = [ottengo del lavoro L] + [aumenta l'energia interna U]

TERMODINAMICA

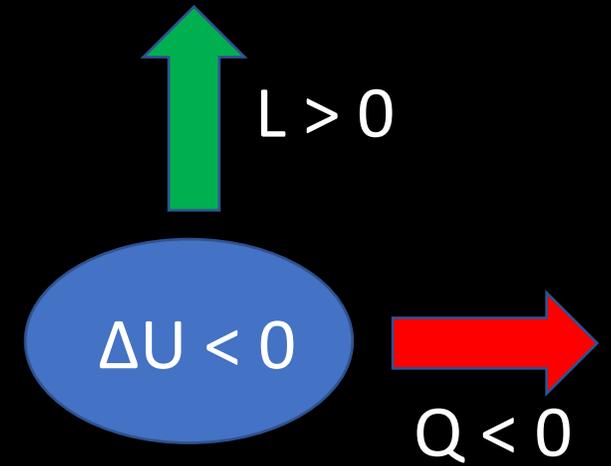


convenzione segni

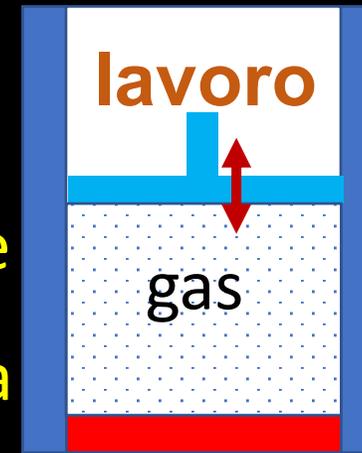
$$Q = L + \Delta U$$



PRIMO PRINCIPIO



pressione
volume
temperatura



pareti e pistone
mobile adiabatici

base diatermica

calore

sorgente termica

TERMODINAMICA

calori specifici gas

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

C: capacità termica

c_x : calore specifico molare nella trasformazione x

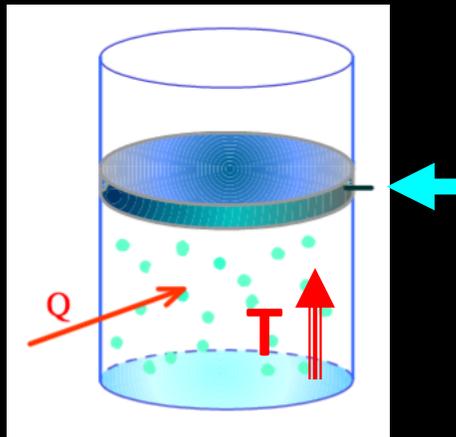
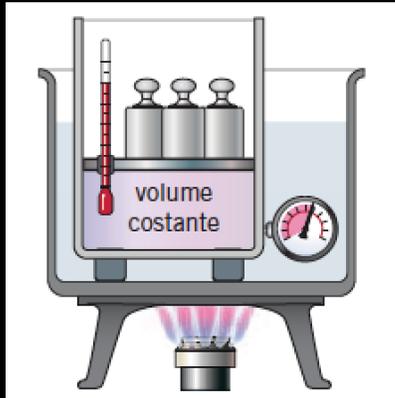
$$Q = L + \Delta U$$

$$dQ = dL + dU = p dV + dU$$

$$dQ/dT = p dV/dT + dU/dT$$

c_v : calore specifico a volume costante

$$(dQ/dT)_v = n c_v = p \cdot 0 + dU/dT \quad \rightarrow \quad n c_v = dU/dT \quad \rightarrow \quad dU = n c_v dT$$



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

TERMODINAMICA

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

calori specifici gas

C: capacità termica

c_x : calore specifico molare nella trasformazione x

$$Q = L + \Delta U$$

$$dQ = dL + dU = p dV + dU$$

$$dQ/dT = p dV/dT + dU/dT$$

c_p : calore specifico a pressione costante

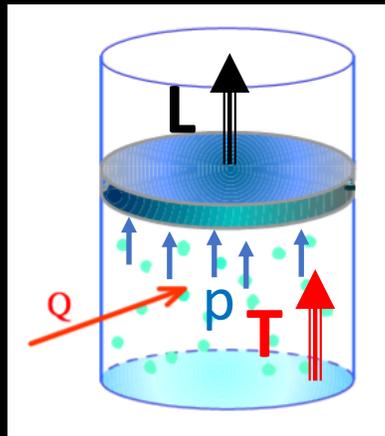
$$pV = nRT \quad dU = n c_v dT$$

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

$$= d(nRT)/dT + n c_v dT/dT$$

$$= n R + n c_v = n (R + c_v)$$

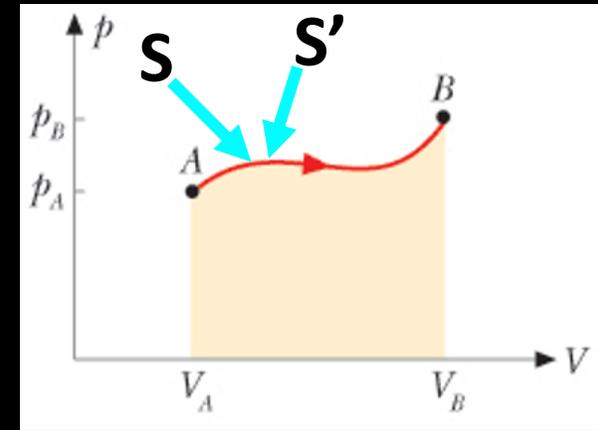
$$\rightarrow c_p = c_v + R \text{ (relazione di Mayer)}$$



	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	$5/2 R$	$7/2 R$	$7/5 = 1,40$ aria
gas poli-atomico	$3 R$	$4 R$	$4/3 = 1,33$

a pressione costante $L \neq 0 \rightarrow Q = L + \Delta U$

(soprattutto i gas)

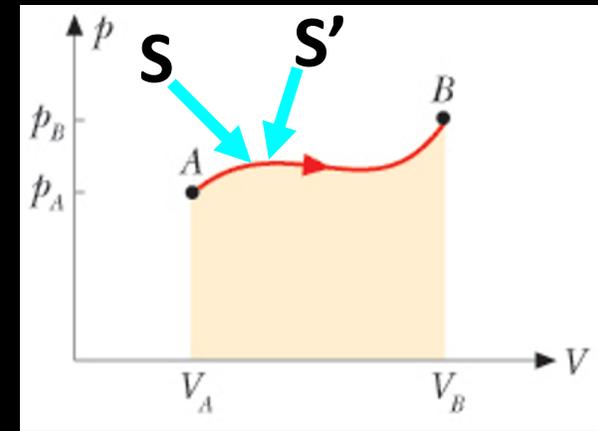


considereremo solo trasformazioni in cui si passa da uno stato di equilibrio A a uno stato di equilibrio B attraversando **stati successivi di equilibrio** (trasformazione lenta, quasi statica):

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 .

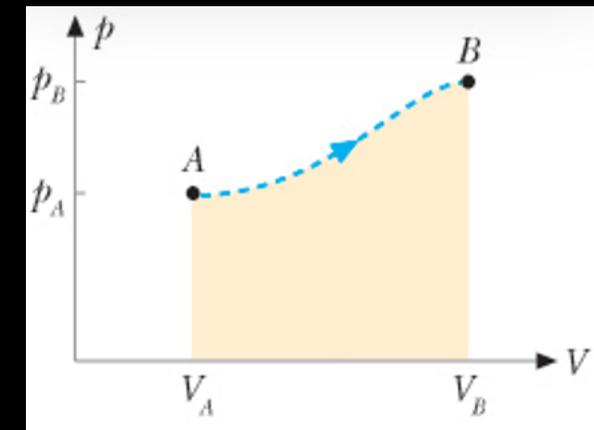
Questo significa che invertendo il verso di dQ e di dL si torna da S' a S
 → **trasformazione reversibile**

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



Nel piano di Clapeyron la funzione $p(V)$ associata a una trasformazione termodinamica reversibile (quasi statica) è una **funzione continua**

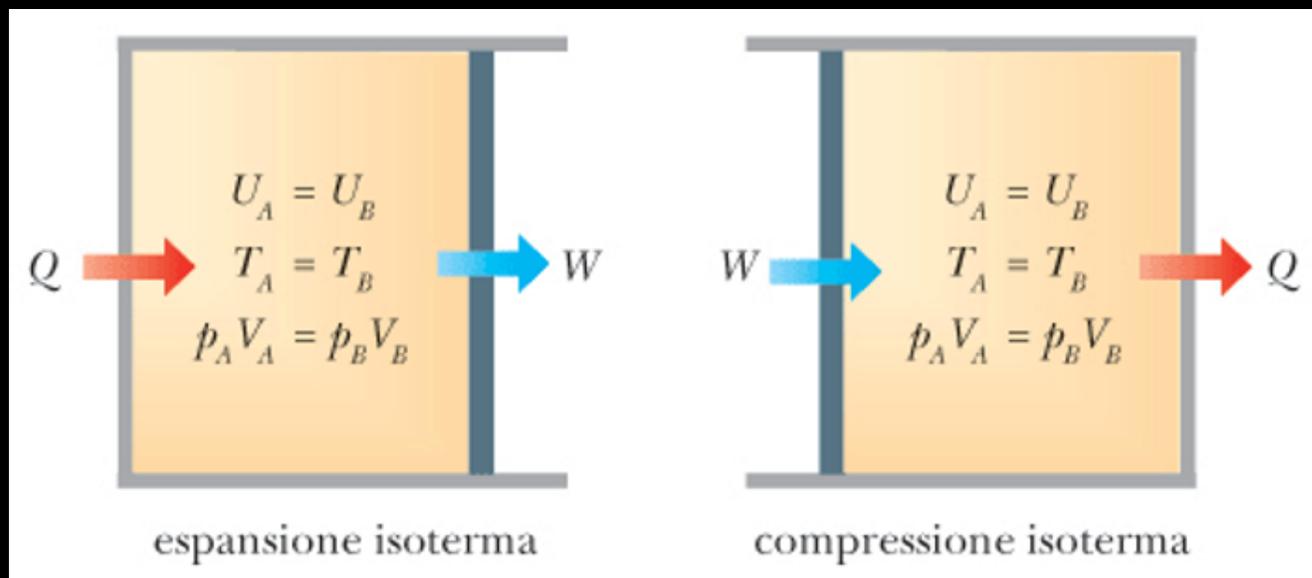
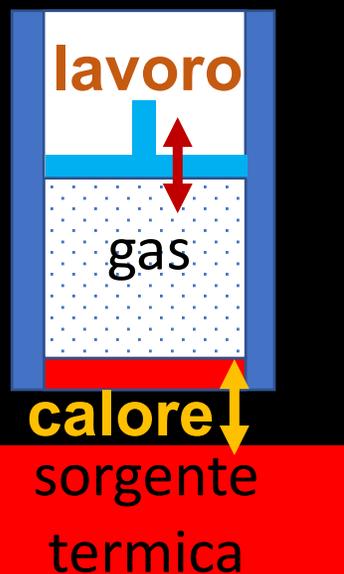
Una trasformazione spontanea è spesso molto rapida. Questo significa che andando da A a B non si dà tempo per raggiungere stati intermedi di equilibrio. La trasformazione è quindi irreversibile. Graficamente una **trasformazione irreversibile** da A a B è spesso disegnata con un tratteggio



TERMODINAMICA

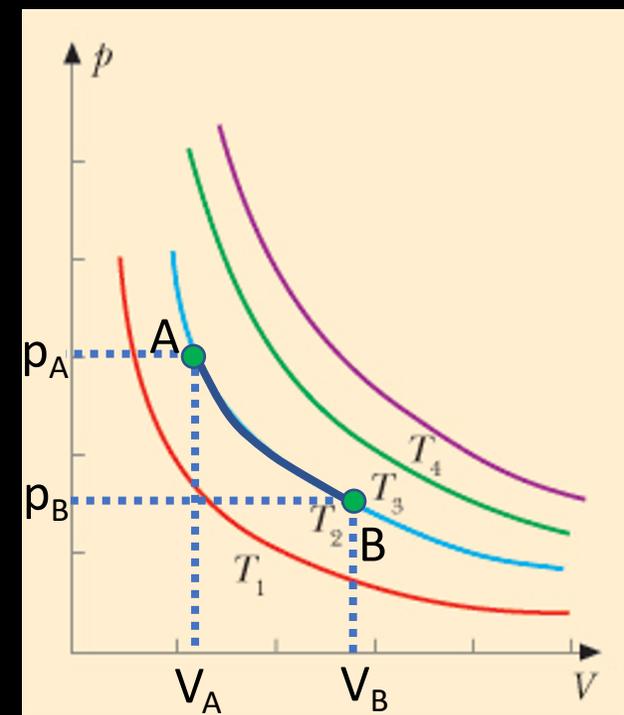
$$p V = n R T$$

ISOTERMA $\Delta T = 0$



A \rightarrow B

B \rightarrow A



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

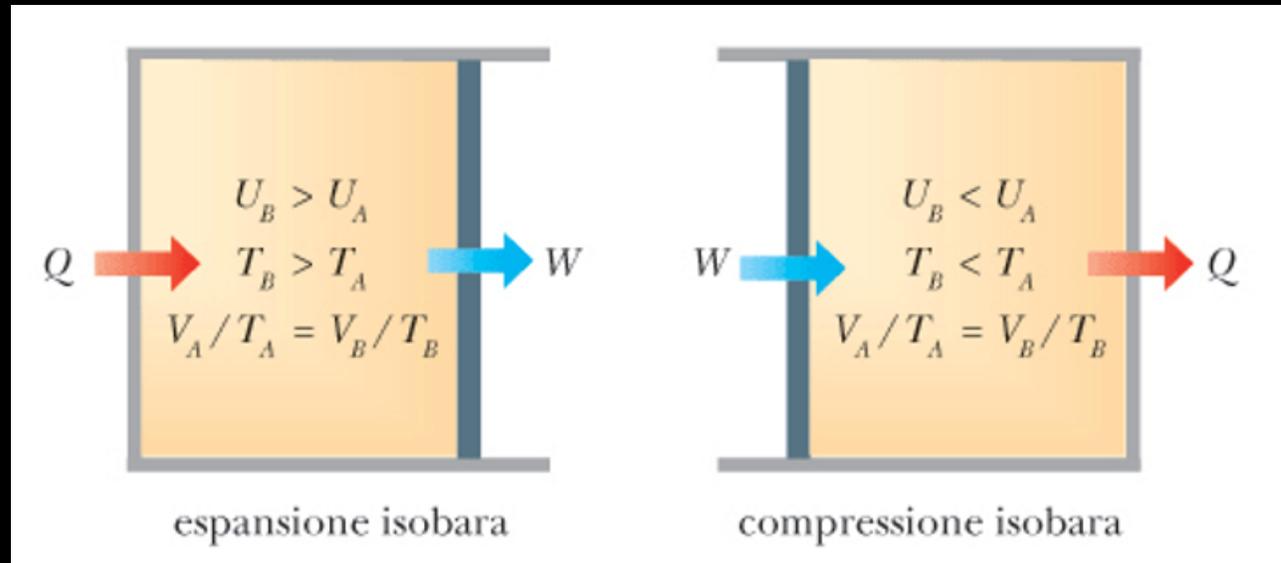
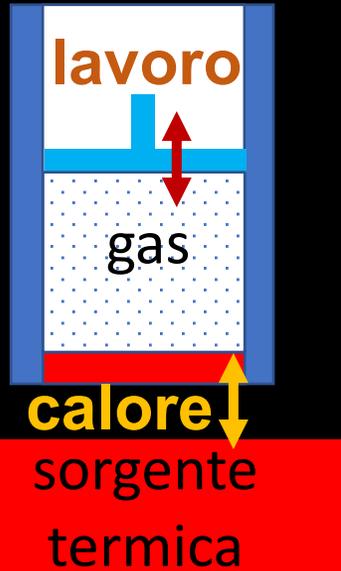
$$dL = p dV = p d(nRT/p) = p nRT d(1/p) = p nRT (-dp/p^2) = -nRT dp/p$$
$$\rightarrow L = -nRT \ln (p_B/p_A) = nRT \ln (p_A/p_B)$$

$$dU = n c_v dT = 0 \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow Q = L + \Delta U = \boxed{L = Q} = nRT \ln (V_B/V_A)$$

TERMODINAMICA

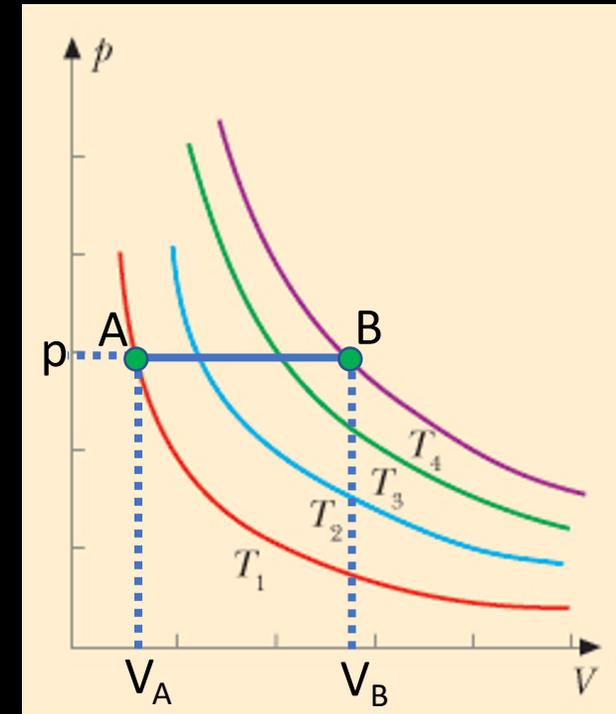
$$p V = n R T$$

ISOBARA



A \rightarrow B

B \rightarrow A



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

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

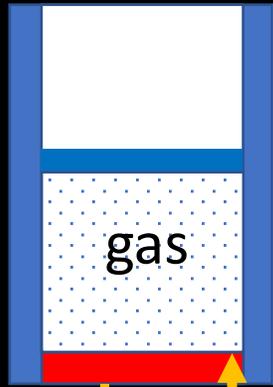
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

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

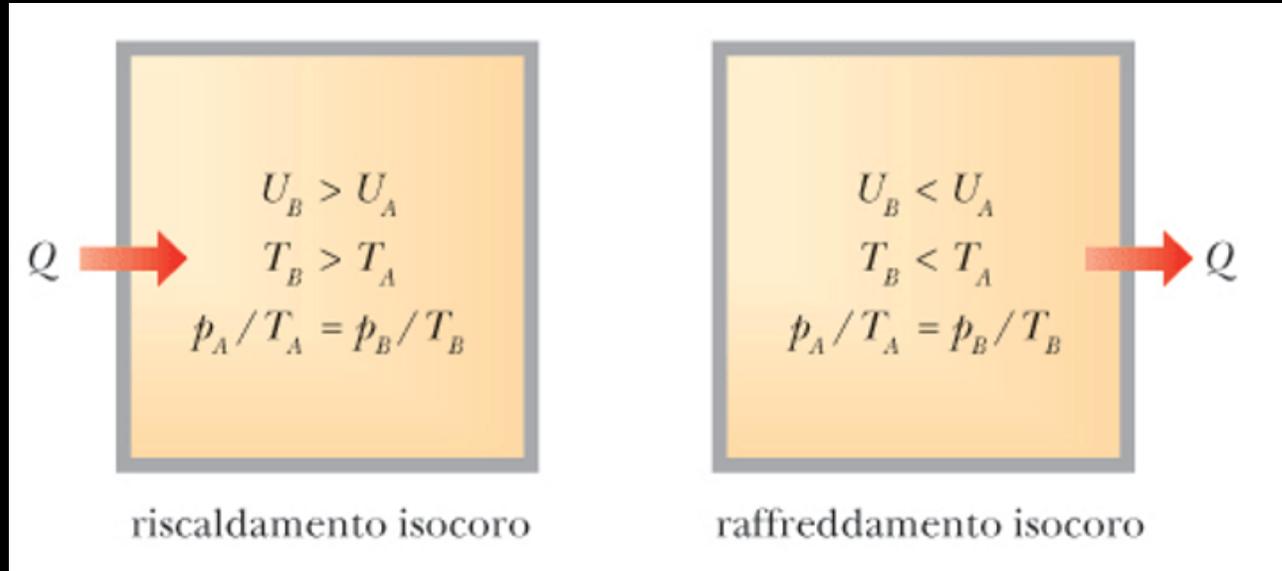
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ISOCORA



calore
sorgente
termica

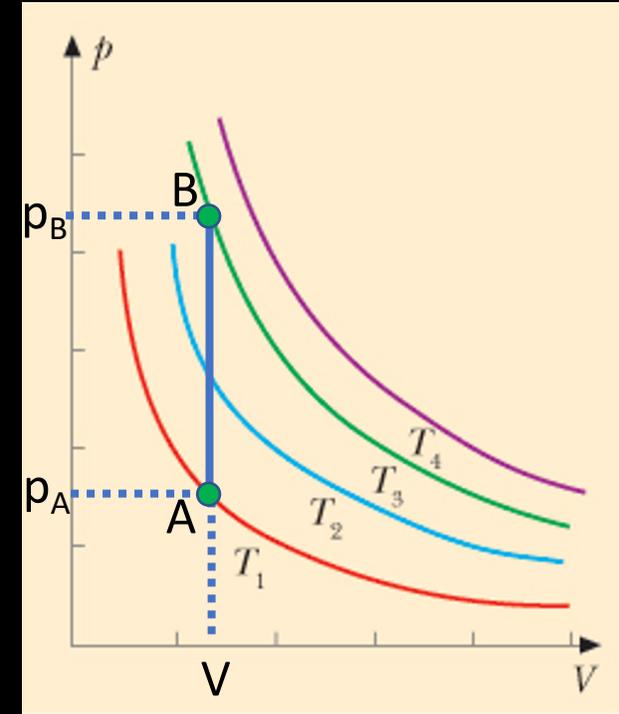


riscaldamento isocoro

raffreddamento isocoro

A → B

B → A

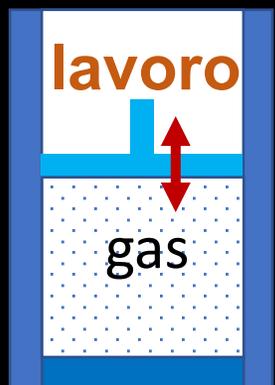


$$dL = p dV \rightarrow L = 0$$

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

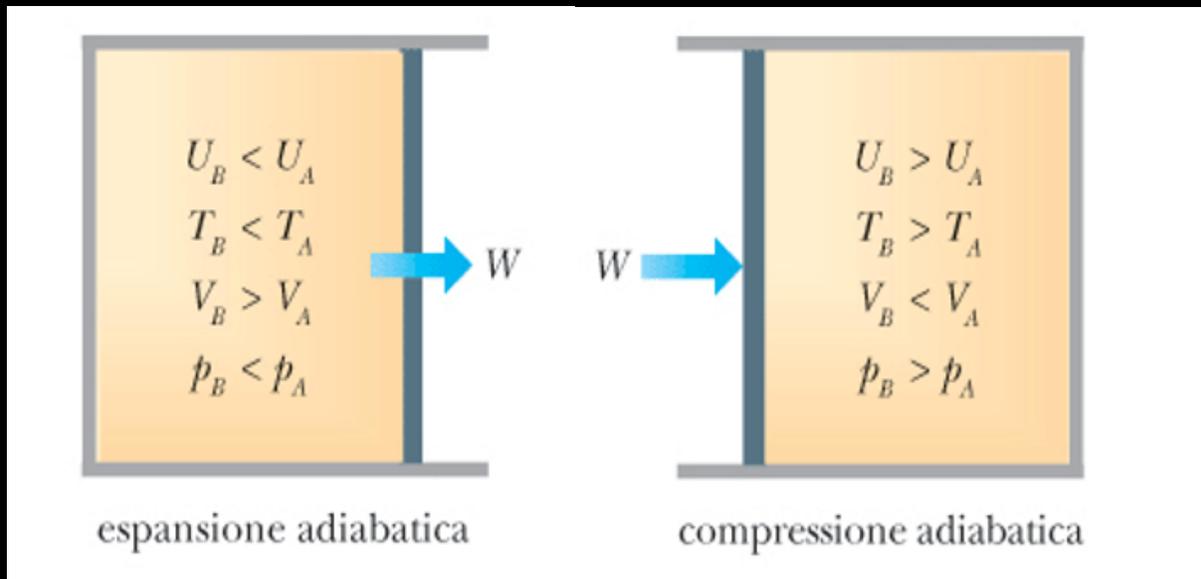
$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

TERMODINAMICA



~~sergente
termica~~

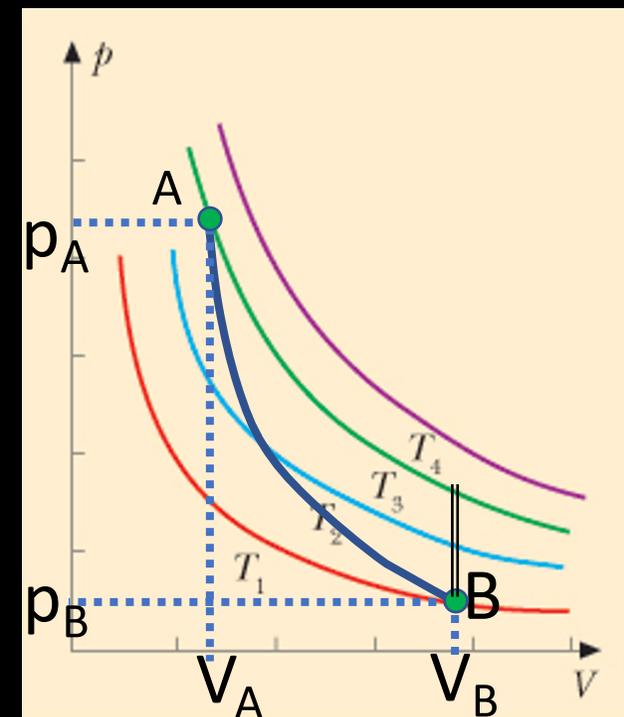
$$p V = n R T$$



espansione adiabatica

compressione adiabatica

ADIABATICA



$$c_p - c_v = R$$

A → B

B → A

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

$T V^{\gamma-1} = \text{costante}$ monoatomici $\gamma = 5/3 = 1,67$

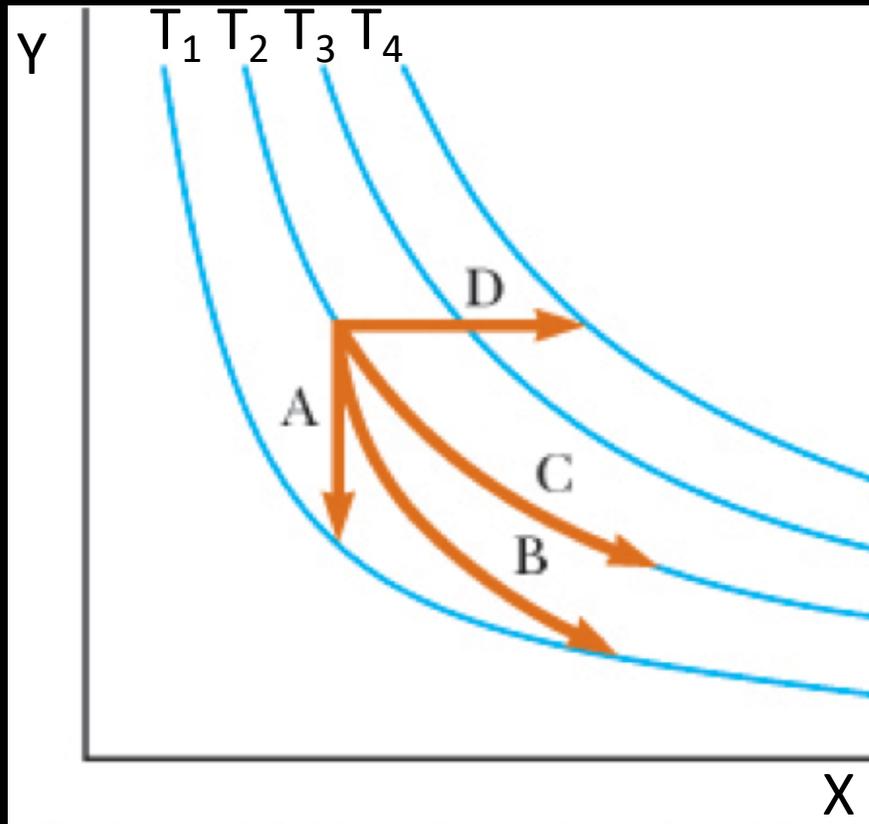
$T p^{1/\gamma-1} = \text{costante}$ biatomici $\gamma = 7/5 = 1,40$

poliatomici $\gamma = 4/3 = 1,33$

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

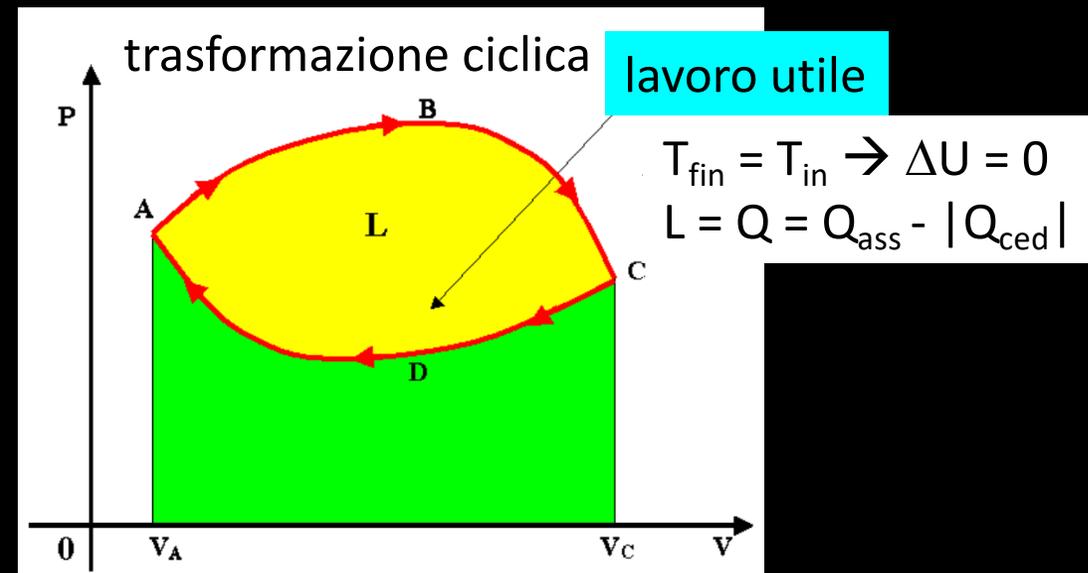
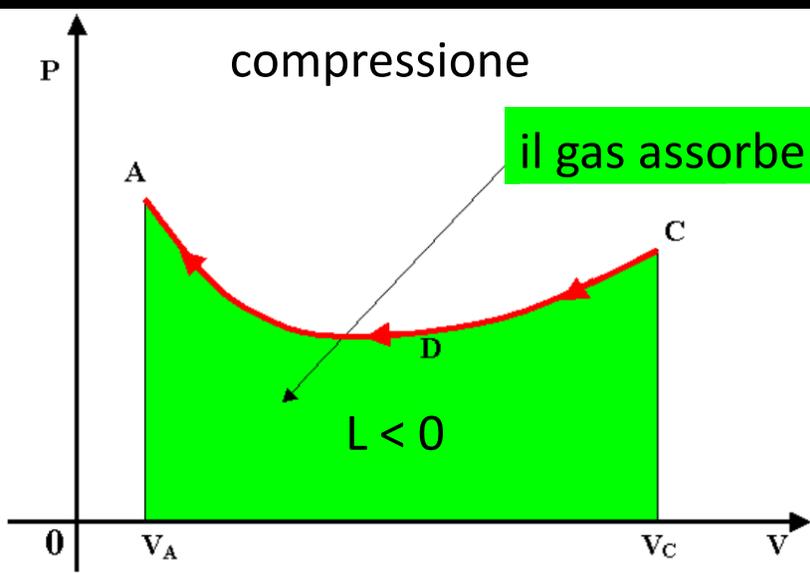
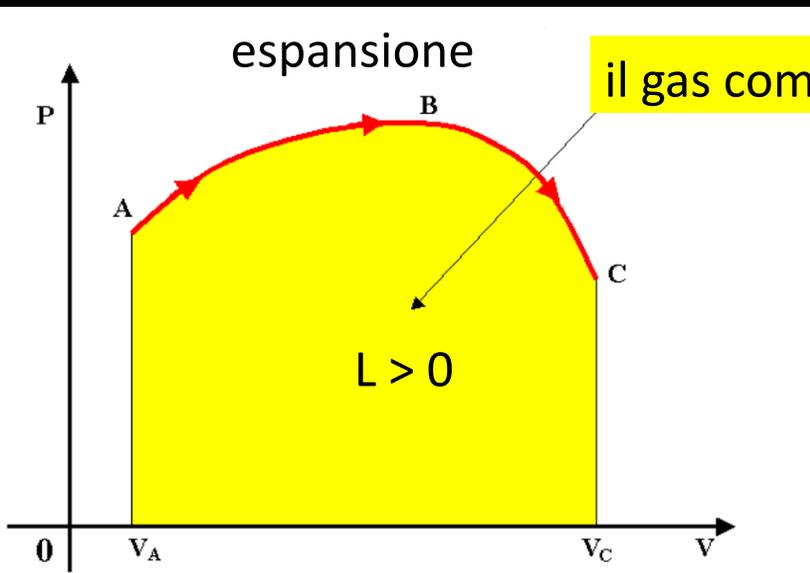
$$\ln(V/V_0) = \ln[(T/T_0)^{-c_v/R}] \rightarrow V/V_0 = (T/T_0)^{-c_v/R} \rightarrow V T^{c_v/R} = \text{costante}$$

$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A) \rightarrow \boxed{Q = 0 \rightarrow L = -\Delta U} = -n c_v (T_B - T_A)$$



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

Fondamenti di fisica generale

adalberto.sciubba@uniroma1.it

mercoledì 22 dicembre 2021
12-13:00
Aula Valdoni