

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

TERMODINAMICA

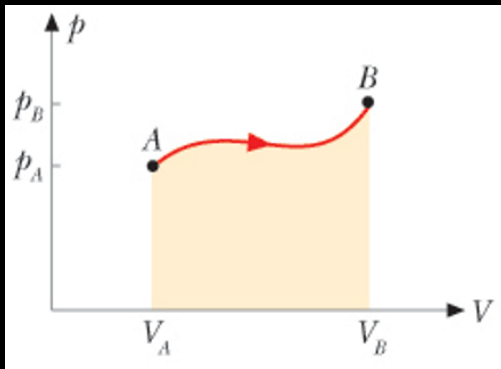
TRASFORMAZIONI

$dQ = dL + dU$ 1° principio della termodinamica

$p V = n R T$ equazione di stato dei gas perfetti

$dU = n c_v dT$ energia interna di un gas perfetto

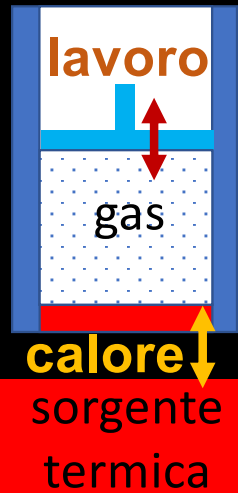
considereremo solo trasformazioni in cui si passa da uno stato di equilibrio A a uno stato di equilibrio B attraversando **stati successivi di equilibrio** (trasformazione lenta, quasi statica)



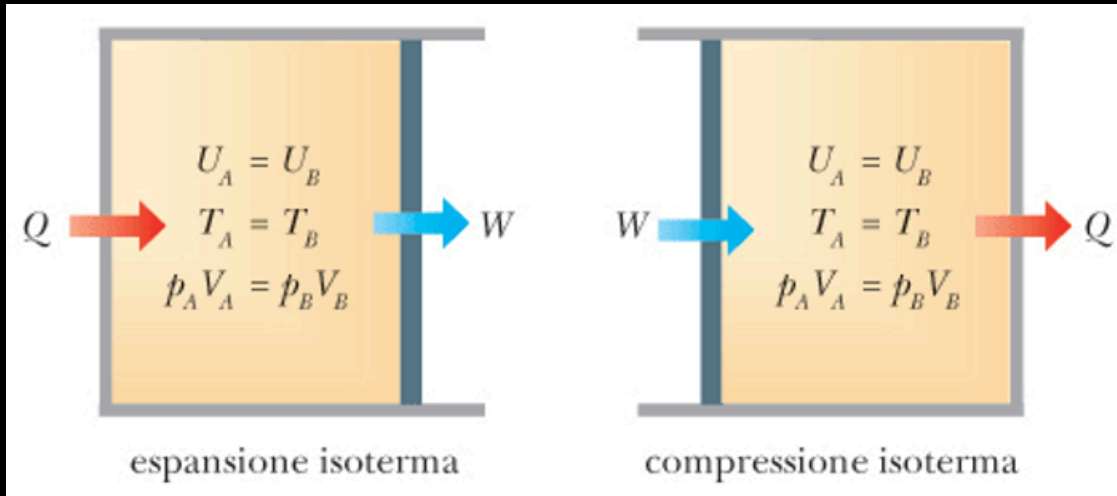
graficamente nel piano, per esempio, di Clapeyron significa che la funzione $p(V)$ associata a una trasformazione termodinamica reversibile è una **funzione continua**

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

TERMODINAMICA



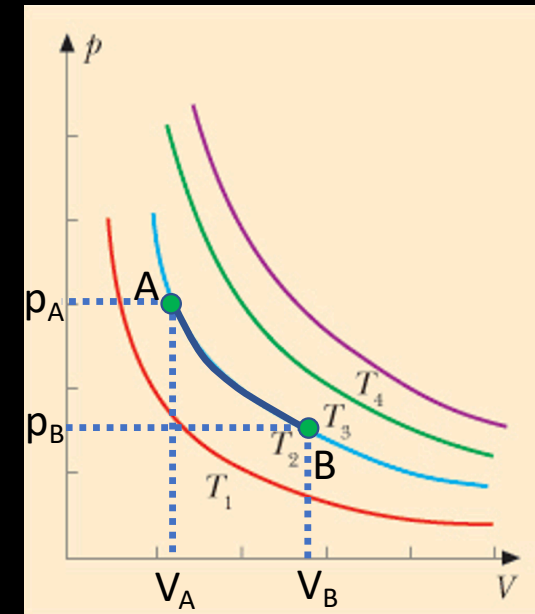
$$p V = n R T$$



A → B

B → A

ISOTERMA



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

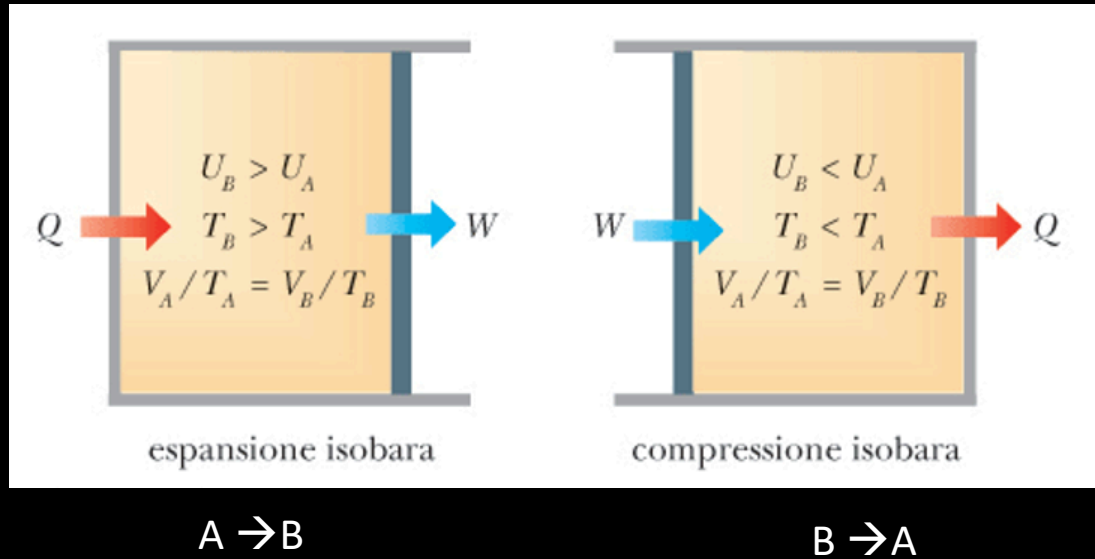
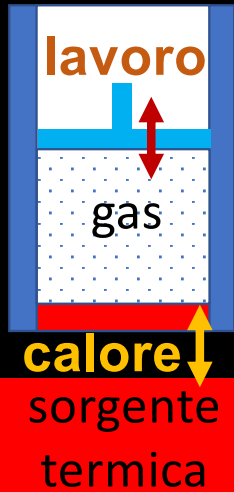
$$dL = p dV = p d(n R T/p) = n R T p d(1/p) = -n R T dp/p \rightarrow L = -n R T \ln (p_B/p_A)$$

$$dU = n c_v dT = 0$$

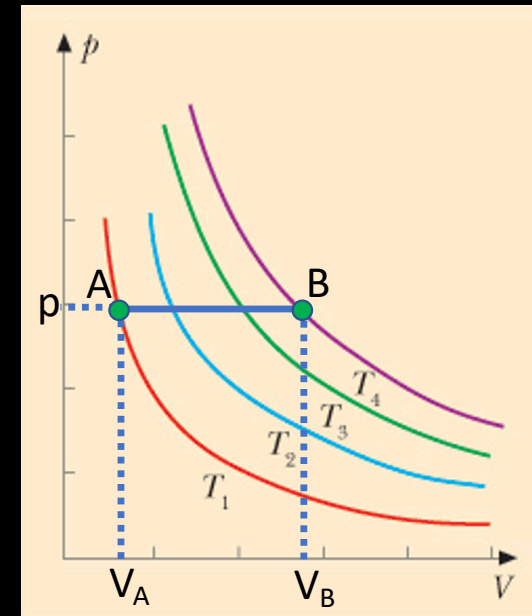
$$\rightarrow Q = L + \Delta U = n R T \ln (V_B/V_A)$$

TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$



ISOBARA



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

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

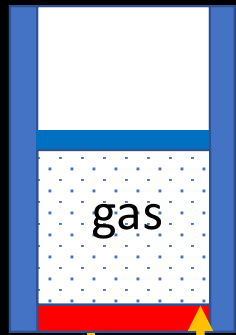
$$dU = n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A)$$

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

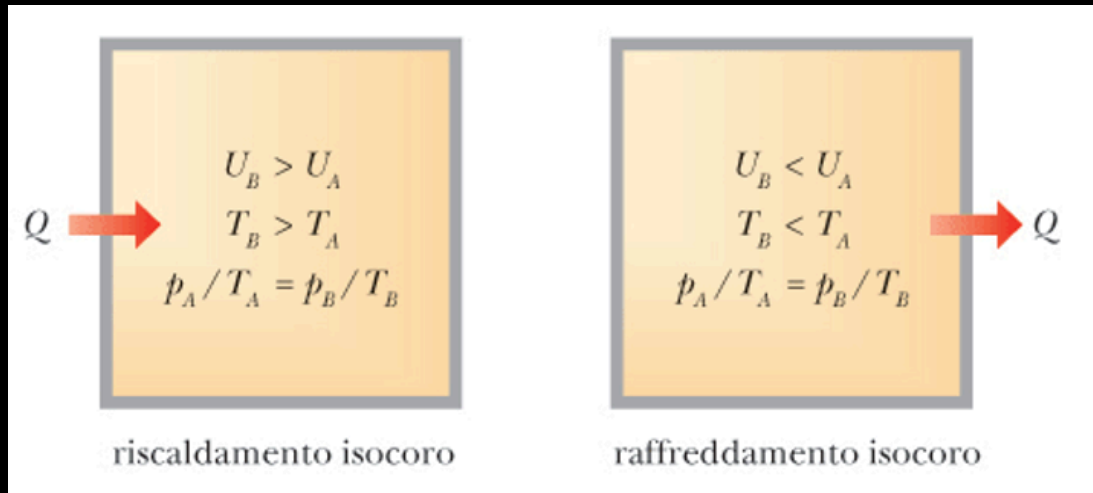
TERMODINAMICA

$$p V = n R T$$

ISOCORA

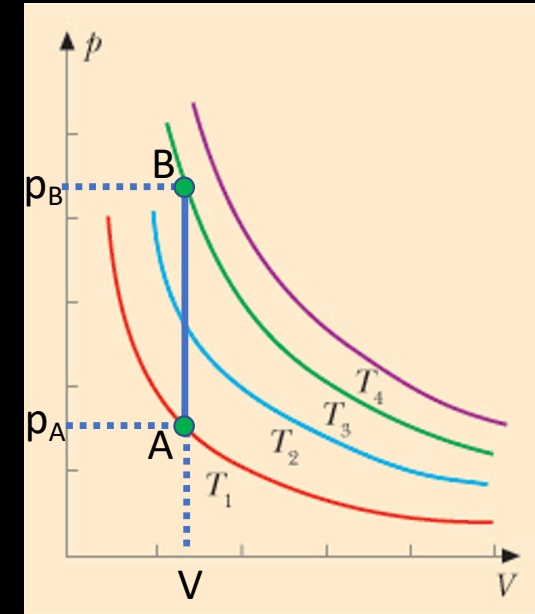


calore
sorgente
termica



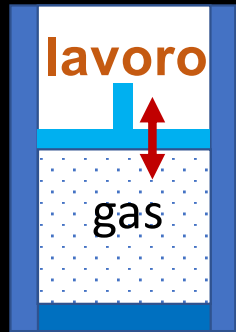
A → B

B → A

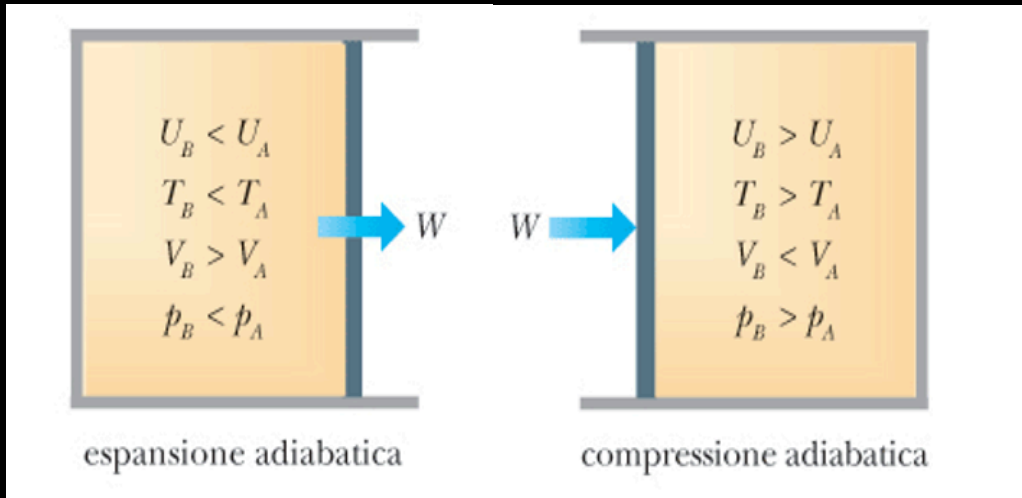


$$\begin{aligned} dL &= p dV \rightarrow L = 0 \\ dU &= n c_v dT \rightarrow \Delta U = n c_v (T_B - T_A) \\ \rightarrow Q &= L + \Delta U = n c_v (T_B - T_A) \end{aligned}$$

TERMODINAMICA



~~sergente
termica~~



A → B

B → A

$p V^\gamma = \text{costante}$ $\gamma = \text{coefficiente adiabatico} = c_p/c_v$ monoatomici $\gamma = 5/3 = 1,67$

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

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

biatomici $\gamma = 7/5 = 1,40$

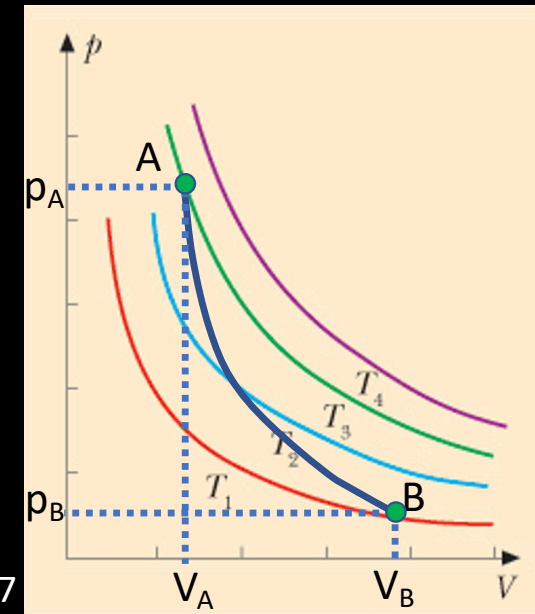
poliatomici $\gamma = 4/3 = 1,33$

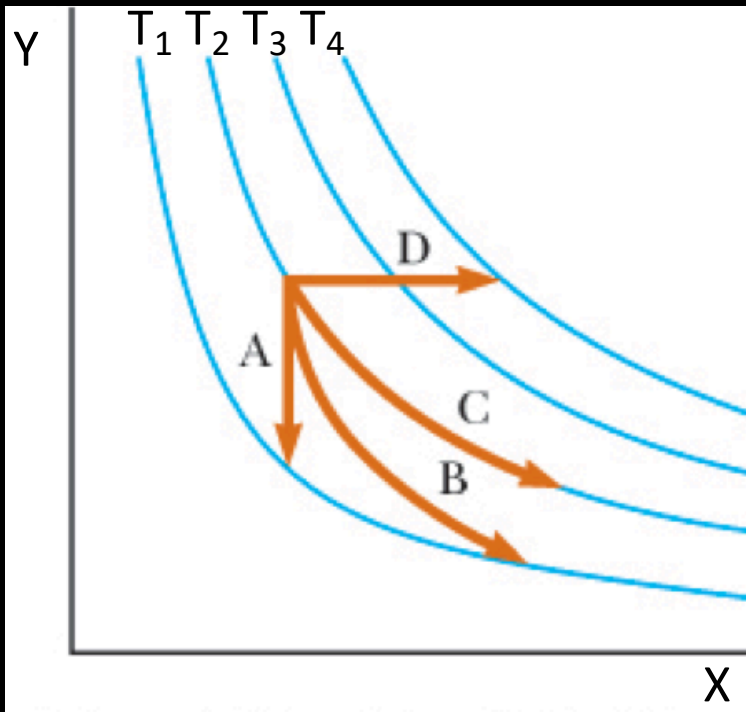
$$dQ = dL + dU \rightarrow 0 = p dV + n c_v dT = n R T dV/V + n c_v dT \rightarrow dV/V = -c_v/R dT/T$$

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

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

ADIABATICA

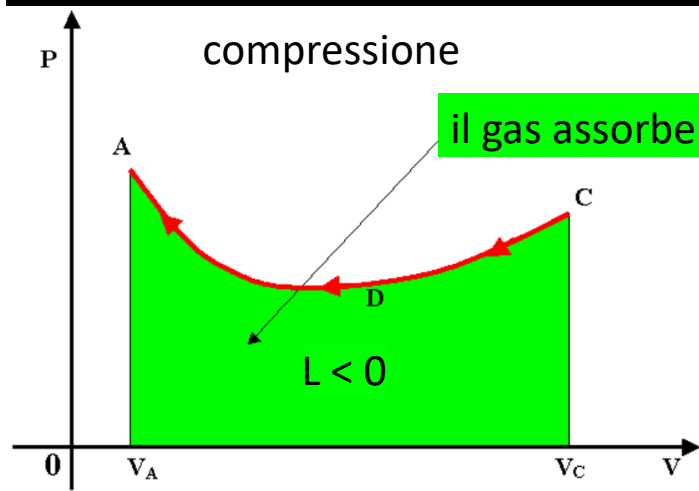
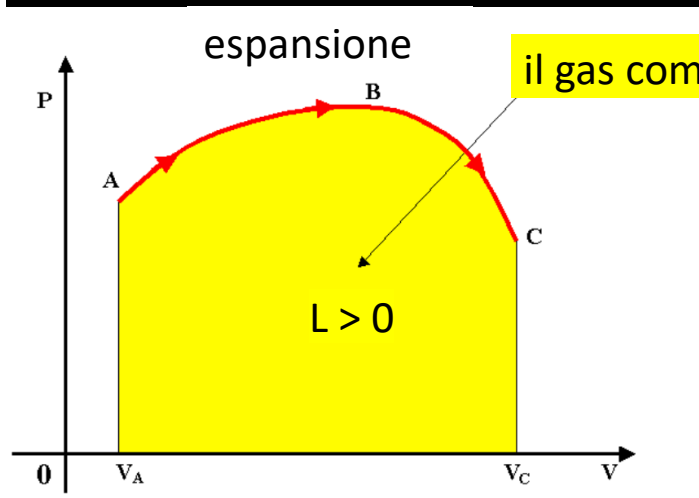




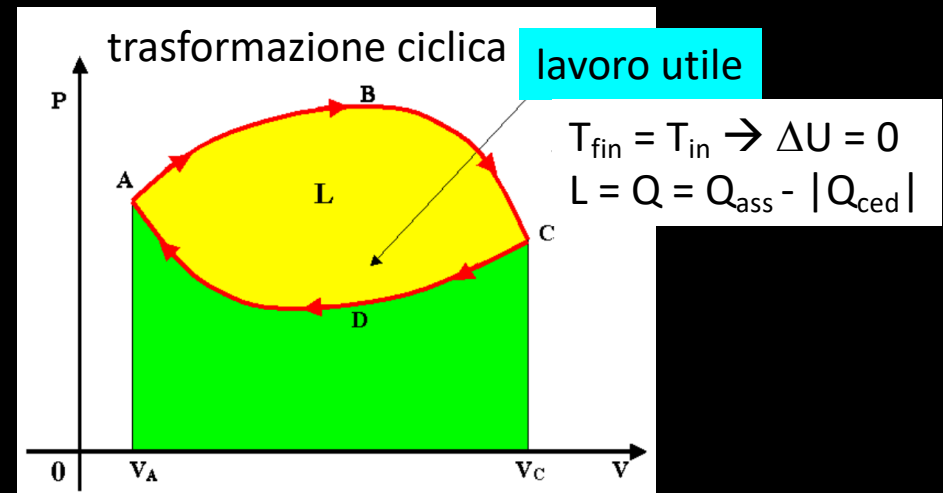
identificare:

- 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

TERMODINAMICA



TRASFORMAZIONE CICLICA



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

TERMODINAMICA

MACCHINE TERMICHE

dispositivo in grado di trasformare calore in lavoro

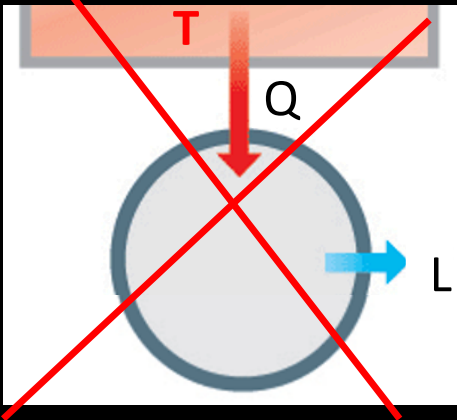
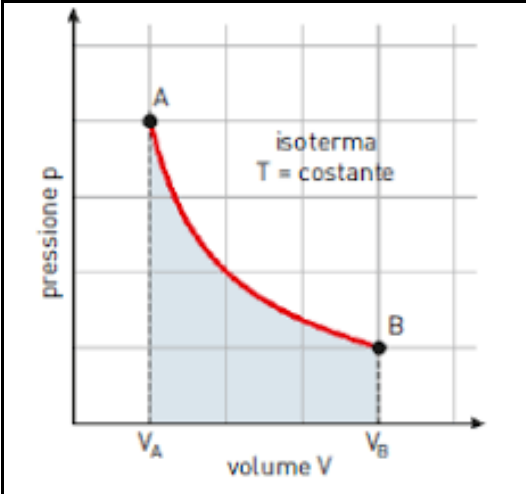
rendimento: $\eta = L/Q$ va massimizzato!

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

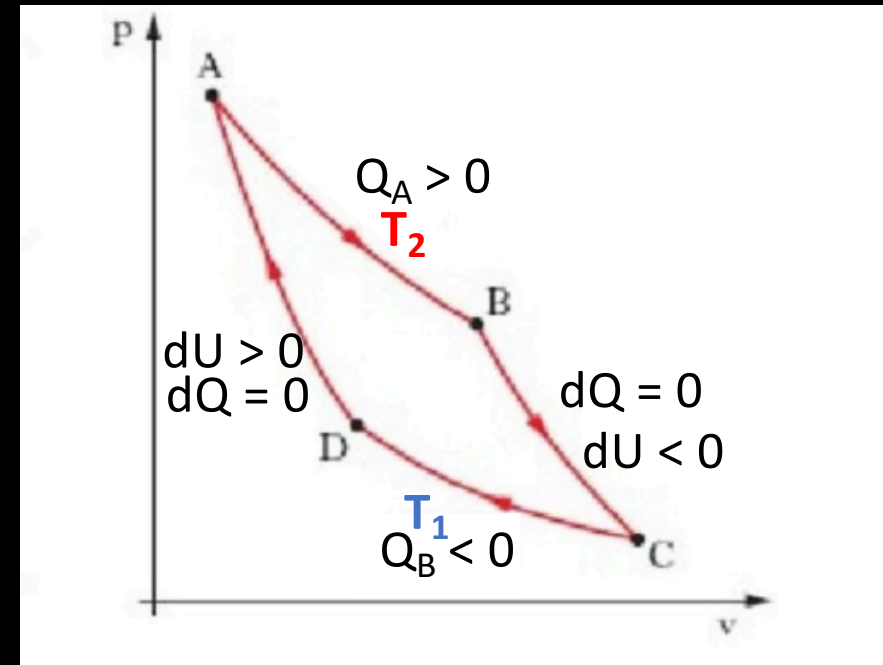
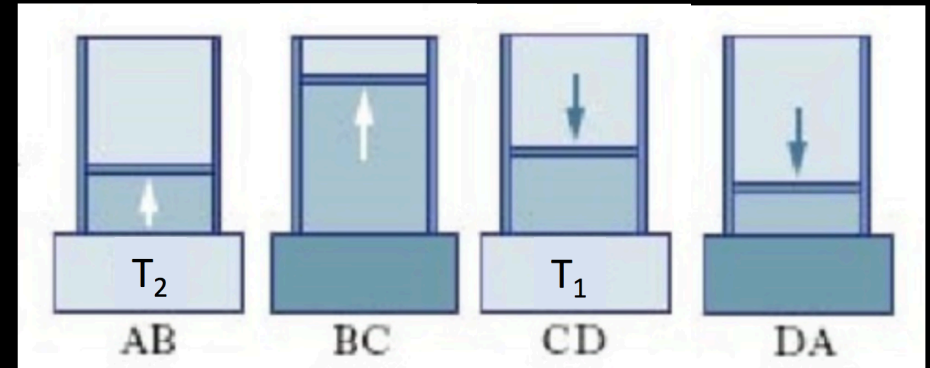
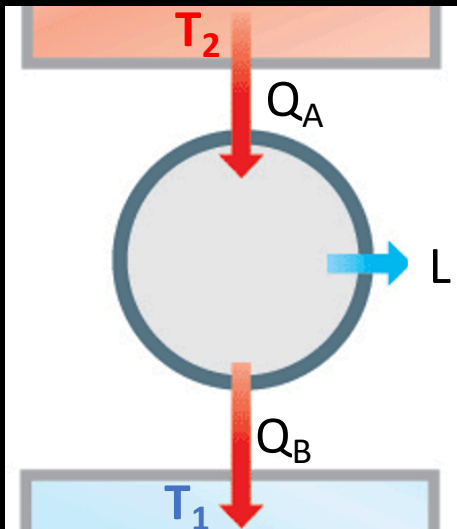
TERMODINAMICA

ciclo di CARNOT

MACCHINE 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



TERMODINAMICA

ciclo di CARNOT

MACCHINE TERMICHE

dispositivo in grado di trasformare calore in lavoro

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

ISOTERMA (se $A \rightarrow B$)

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

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

ADIABATICA (se $A \rightarrow B$)

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

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

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

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

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

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

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

$$V_B/V_A = V_C/V_D$$

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

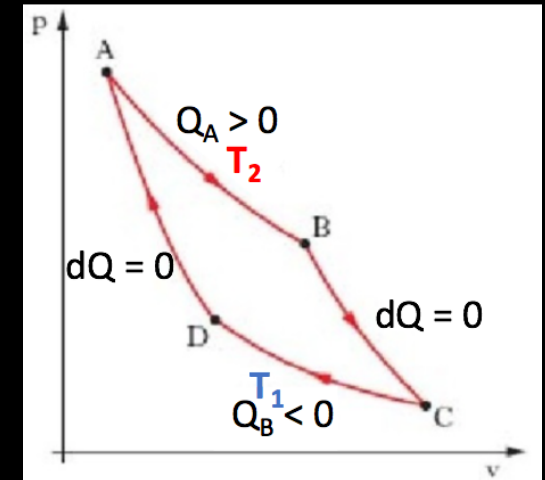
$$= \frac{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} - n c_v (T_1 - T_2) + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C} - n c_v (T_2 - T_1)}{nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A}}$$

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

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: $P = f L$



TERMODINAMICA

$$\eta = L/Q_A = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$$

$$Q_A = L + Q_B$$

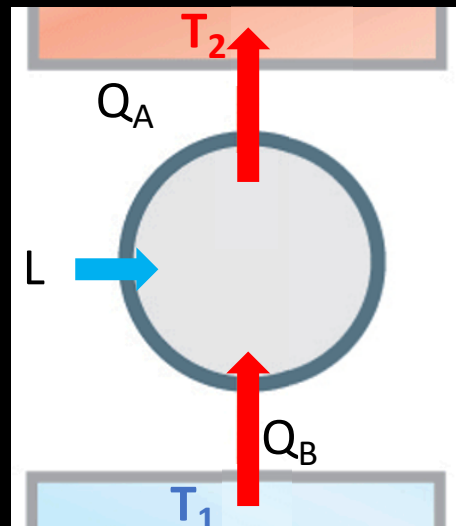
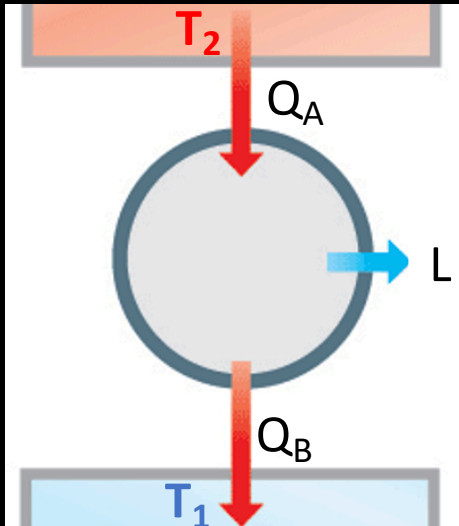
$$Q_B = Q_A - L = L/\eta - L = L(1/\eta - 1)$$

$$\text{COP} = Q_B/L = 1/\eta - 1 = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

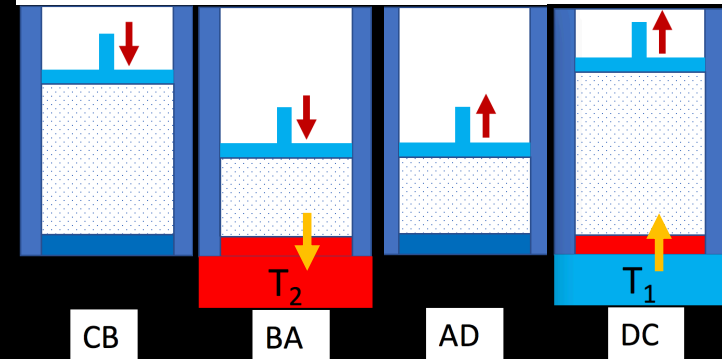
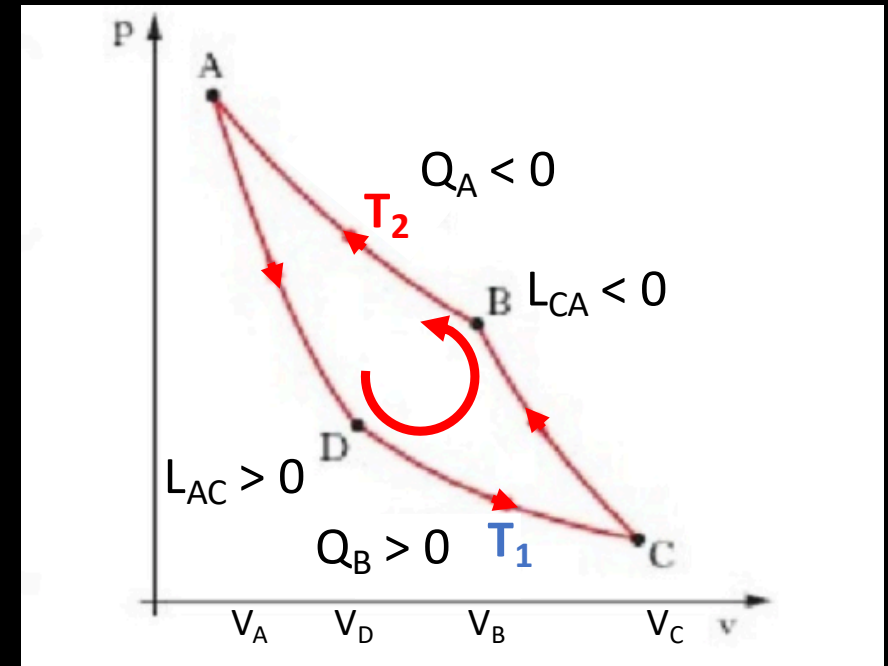
coefficiente di prestazione

$$Q_A = n R T_2 \ln (V_A/V_B) < 0$$

$$Q_B = n R T_1 \ln (V_C/V_D) > 0$$



MACCHINA FRIGORIFERA



TERMODINAMICA

Una macchina termica utilizza il ciclo di Carnot utilizzando una mole di aria come gas, ghiaccio fondente come refrigerante e acqua all'ebollizione a pressione atmosferica come sorgente ad alta temperatura.

Un ciclo della macchina dura 0,1 s.

Determinare il rendimento della macchina e la sua potenza.

L'espansione isoterma inizia da 300 kPa e termina a 150 kPa.

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_2} = \frac{100 \text{ K}}{373,15 \text{ K}} = 26,8 \%$$

ISOTERMA (se A→B)

$$L = n R T \ln (V_B/V_A)$$

ADIABATICA (se A→B)

$$L = -n c_v (T_B - T_A)$$

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

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

$$V_B/V_A = V_C/V_D$$

$$L = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD} + L_{DA} =$$

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

$$= nRT_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + nRT_1 \ln \frac{V_D}{V_C}$$

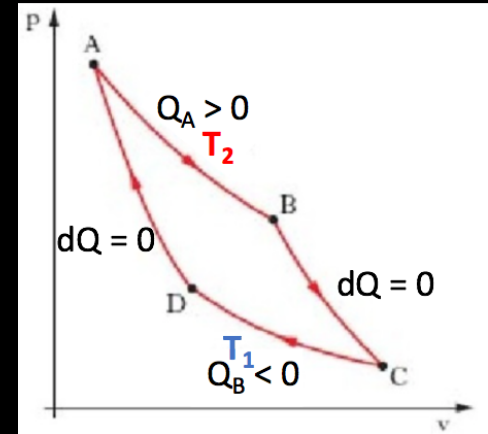
$$= R \left(T_2 \ln \frac{V_B}{V_A} + T_1 \ln \frac{V_D}{V_C} \right)$$

$$= R(T_2 - T_1) \ln \frac{V_B}{V_A}$$

$$= 8,31 \times 100 \ln 2 = 576 \text{ J}$$

$$\rightarrow P = 576 \text{ kW}$$

ESERCIZIO



	c_v	c_p	$\gamma = c_p/c_v$
gas bi-atomic	$5/2 R$	$7/2 R$	$7/5 = 1,40$

$$p V = n R T$$

$$p_A V_A = p_B V_B$$

$$V_B/V_A = p_A/p_B = 300 \text{ kPa}/150 \text{ kPa} = 2$$

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

Fondamenti di fisica generale

a breve pubblicherò sul sito gli esercizi che commenterò martedì 15 dicembre.
Fra oggi e il 15 dicembre siete invitati a scrivermi se occorrono chiarimenti sullo
svolgimento degli esercizi di termodinamica

esonero: M16 G17 V18 ??? o LUN 21?

meet + exam.net

documenti identità...

Martedì 15 dicembre 2020

11:00-13:00
(11:15-12:45)

meet.google.com/xsc-vwjs-msg

RICEVIMENTO ASINCRONO:

scrivere a

adalberto.sciubba@uniroma1.it