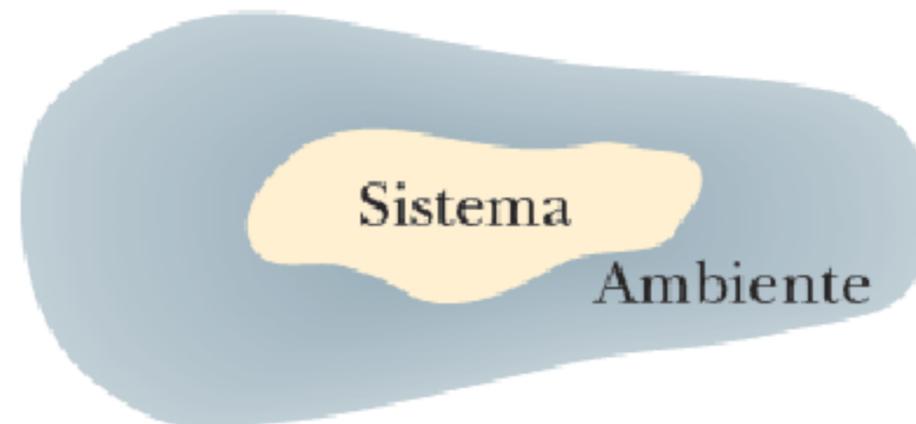


Termodinamica:

Studio del bilancio energetico **COMPLESSIVO** di un processo fisico, estendo l'indagine a scambi di energia non meccanici (nel senso macroscopico trattato in precedenza) come il calore.

- Sistema Termodinamico: Porzione di universo, costituita da una o più parti (e.g. un volume di gas, un liquido in equilibrio con il suo vapore, un insieme di blocchi di solidi) oggetto dello studio delle sue proprietà fisiche macroscopiche e le loro eventuali trasformazioni
- Ambiente: l'insieme, costituito da una (e.g. l'aria o il fluido in cui è immerso il sistema) o più parti (e.g. diversi corpi a contatto con il sistema), con cui il sistema può interagire.
- Universo: l'insieme di sistema più ambiente



Equilibrio Termodinamico:

Un sistema si dice in equilibrio termodinamico se le variabili termodinamiche che lo descrivono (e.g. pressione, temperatura, volume) sono costanti nel tempo. Un sistema in equilibrio termodinamico rimane invariato se non cambiano le condizioni esterne.

Affinché ci sia equilibrio termodinamico è necessario:

- i) equilibrio MECCANICO (equilibrio di forze e momenti)
- ii) equilibrio TERMICO (stessa temperatura ovunque)
- iii) equilibrio CHIMICO (non avvengono reazioni chimiche)

Principio Zero della Termodinamica:

Se due corpi A e B si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo C - i.e. $T(A)=T(C)$ e $T(B)=T(C)$ - allora A e B sono in equilibrio termico tra loro: $T(A)=T(B)$

Temperatura:

• U.d.m. Kelvin [K]

• ha un limite inferiore: zero assoluto 0 K

- Definizione & Misura:

1) Definizione di un p.to fisso standard

$$T_{\text{pt}} = 273,16\text{ K}$$

↳ punto triplo dell'acqua

2) Trovare una grandezza fisica che

varia con la temperatura

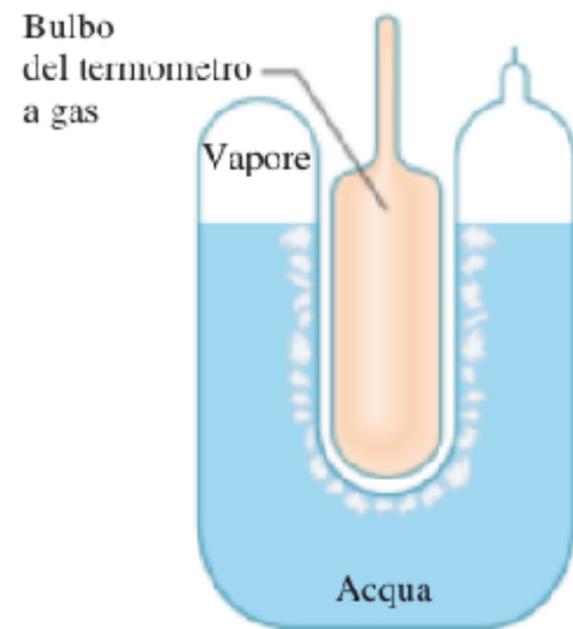


Figura 18.4 Una cella a punto triplo, nella quale ghiaccio solido, acqua liquida e vapore acqueo coesistono all'equilibrio termico. Secondo un accordo internazionale, la temperatura di questo insieme è stata fissata convenzionalmente a $273,16\text{ K}$. All'interno della cella è mostrato il bulbo di un termometro a gas a volume costante.

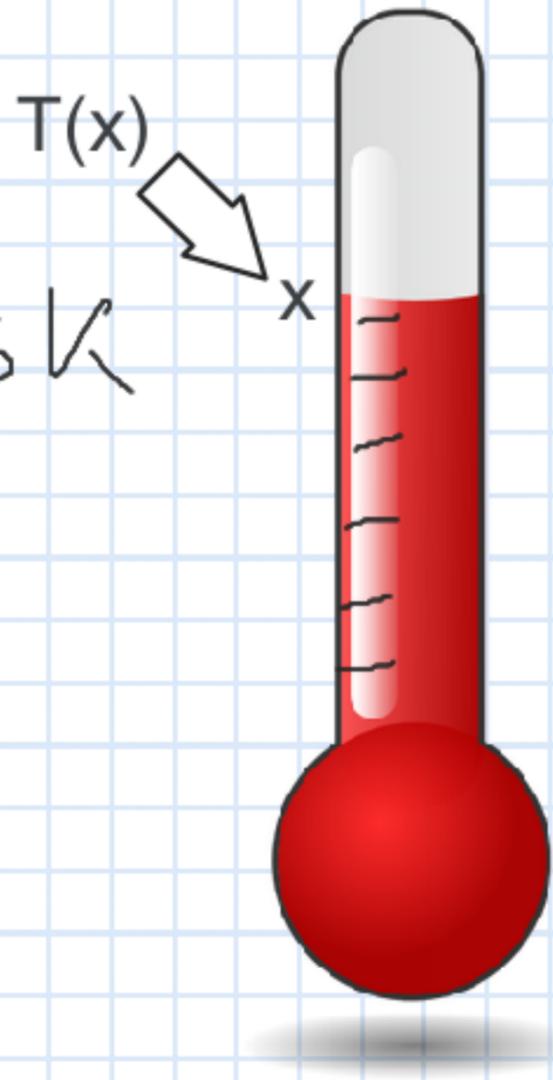
Assumiamo $T(x) = a X$ com $a = \text{costante}$

\downarrow
La grandezza
misurata

Al p. lo li-pes $T(x_{pt}) = a X_{pt} = 273,16 K$

$$a = \frac{273,16 [K]}{X_{pt}}$$

$$\Rightarrow T(x) = 273,16 \frac{X}{X_{pt}} [K]$$



Termometro a gas a volume costante:

⇒ Utilizza la pressione del gas per misurare la temperatura

$$P = P_0 - \rho g h$$

$$T = \frac{P}{P_{tp}} \cdot 273,16 [K]$$

↓
 P_{tp}

La temperatura dipende dal tipo di gas e dalla quantità di gas utilizzato

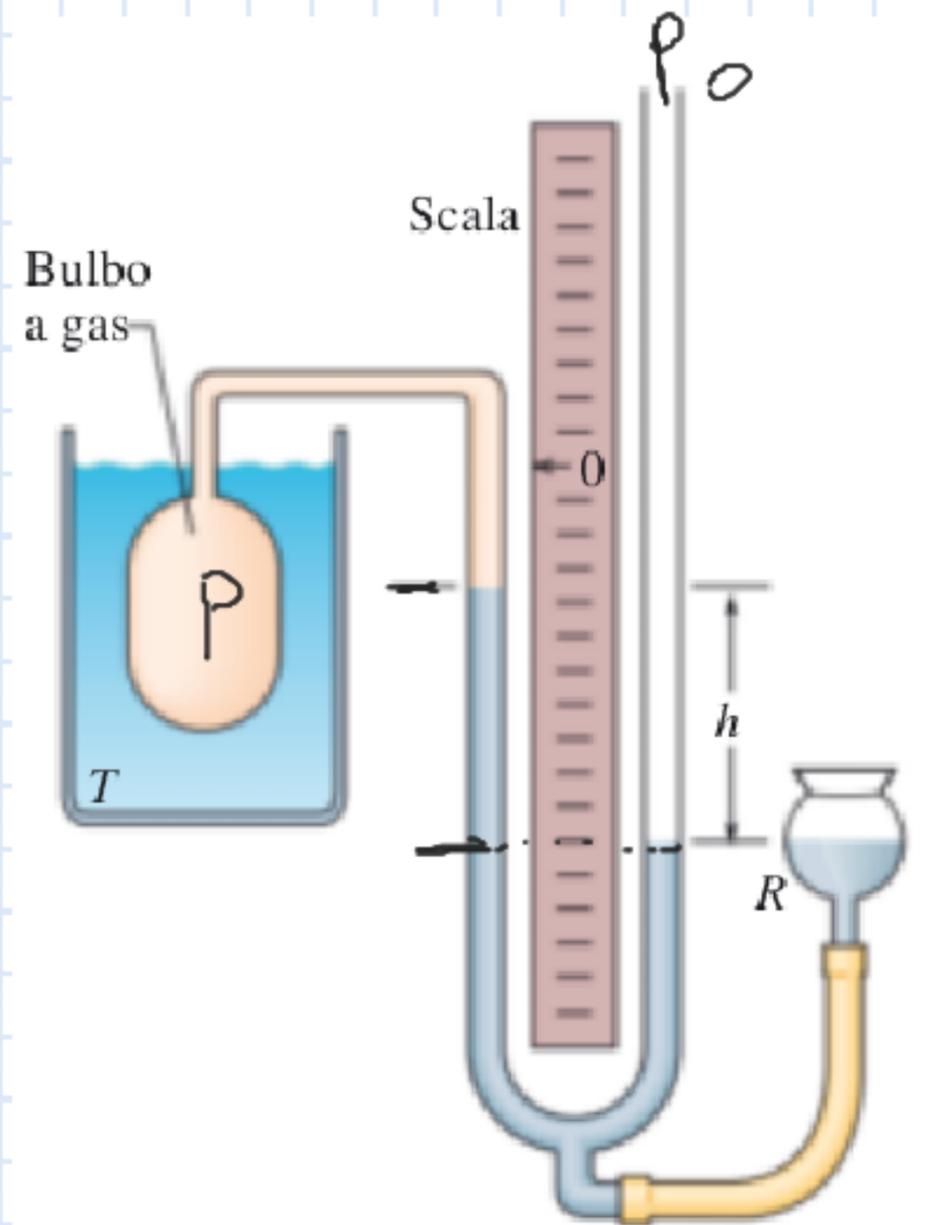


Figura 18.5 Un termometro a gas a volume costante; il suo bulbo viene immerso in un bagno di cui si vuole misurare la temperatura T .

Termometro a gas a volume costante:

→ Si dimostra che riducendo la quantità di gas usata, le letture del termometro convergono alla stessa misura

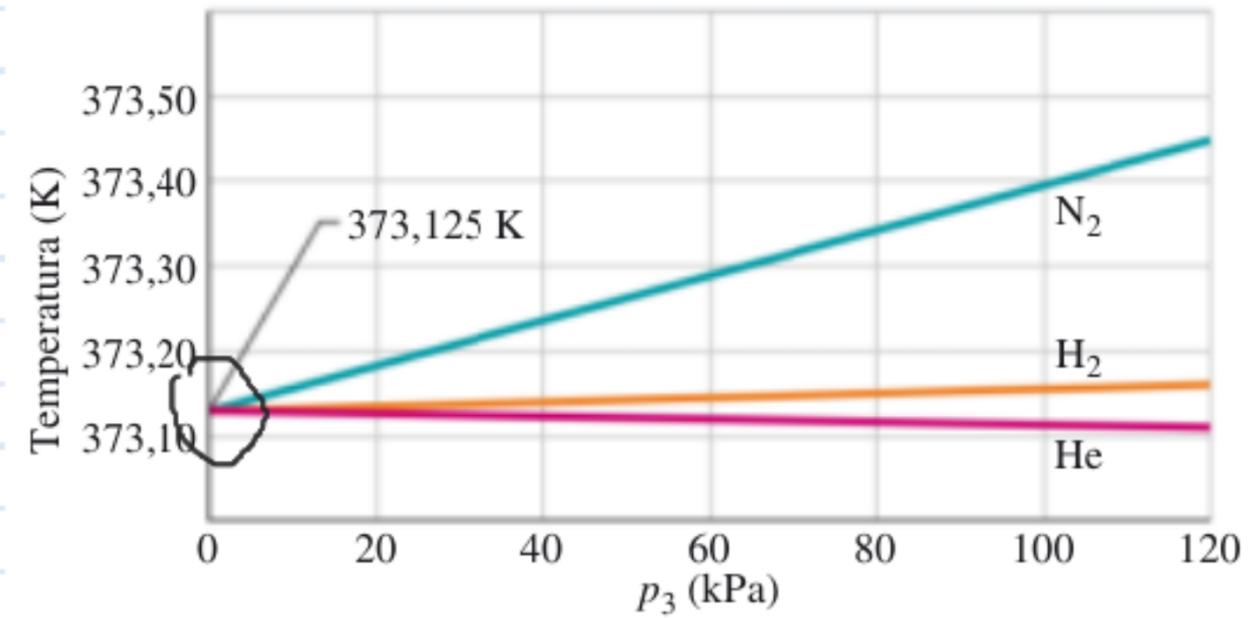


Figura 18.6 Temperature misurate con un termometro a gas a volume costante il cui bulbo è immerso in acqua bollente. Per i calcoli delle temperature mediante l'equazione 18.5 la pressione p_3 è stata misurata al punto triplo dell'acqua. Tre gas diversi sono stati utilizzati nel bulbo, ciascuno con massa volumica differente. Si osservi che tutte le registrazioni convergono a una temperatura di 373,125 K, quando la massa del gas tende a zero (insieme a p_3).

$$T = 273,16 \lim_{p \rightarrow 0} \frac{p}{p_{TP}}$$

Le condizioni di riferimento a p_0 pressione corrispondente alle condizioni di gas ideale

Temperatura:

Kelvin / Celsius / Fahrenheit

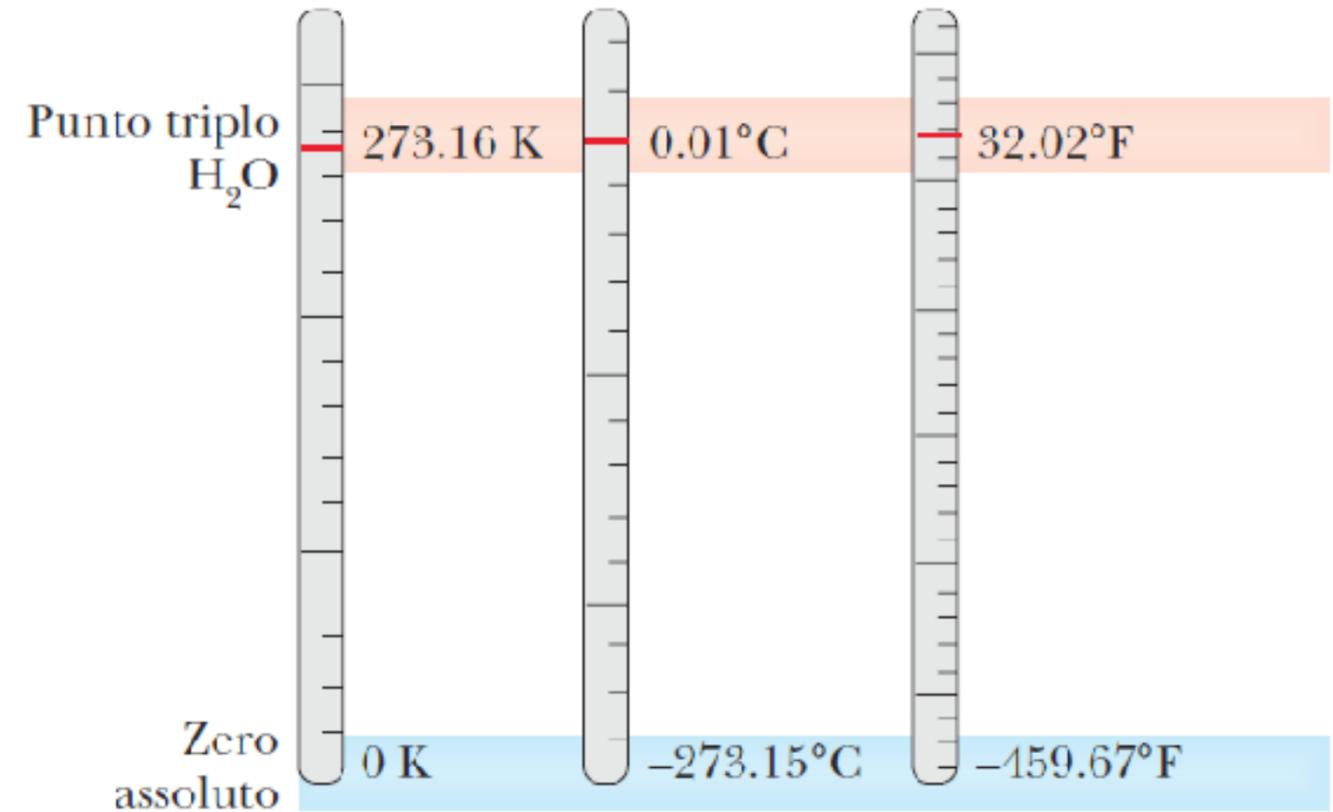
Scala Celsius:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

$$= \frac{5}{9} [T(^{\circ}\text{F}) - 32]$$

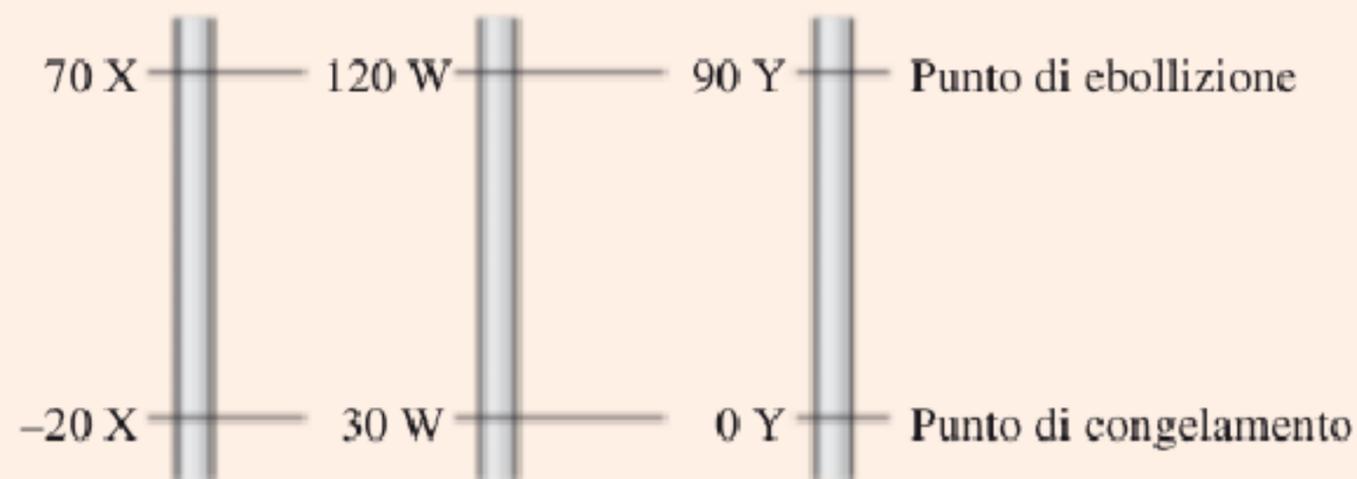
Scala Fahrenheit:

$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(\text{K}) - 459,67$$
$$= \frac{9}{5} T(^{\circ}\text{C}) + 32$$



Esempio: trasformazione scale

La figura mostra tre scale di temperatura con l'indicazione dei punti di congelamento ed ebollizione dell'acqua. (a) Ordinate le scale secondo i valori decrescenti dell'entità unitaria di 1 grado. (b) Mettete in ordine decrescente le seguenti temperature: 50°X , 50°W , 50°Y .



a)

$$\left. \begin{array}{l} 70 + 20 = 90 \\ 120 - 30 = 90 \\ 90 - 0 = 90 \end{array} \right\} \downarrow$$
$$\Delta 1^\circ\text{X} \approx 1^\circ\text{W} \approx 1^\circ\text{Y}$$

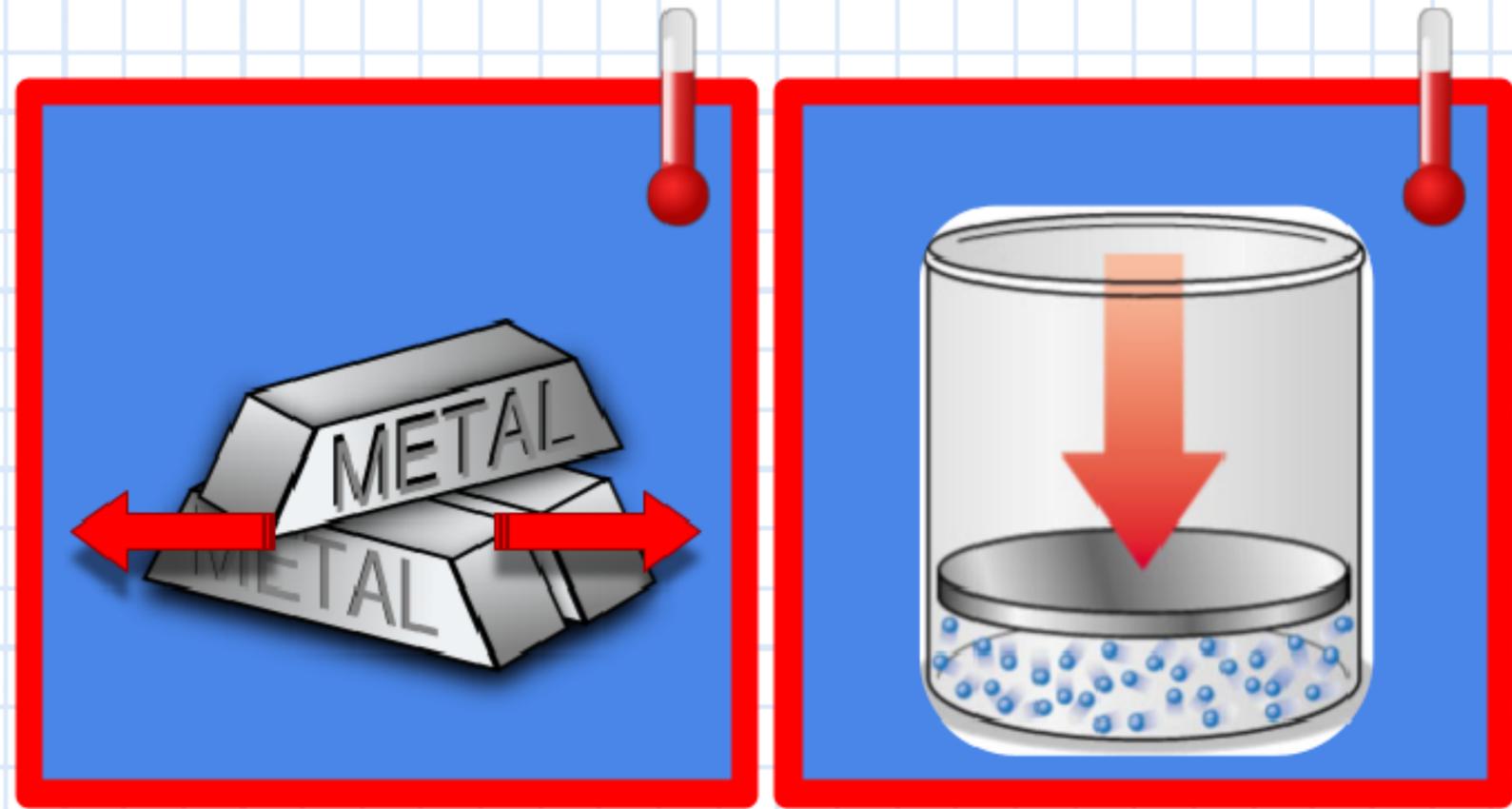
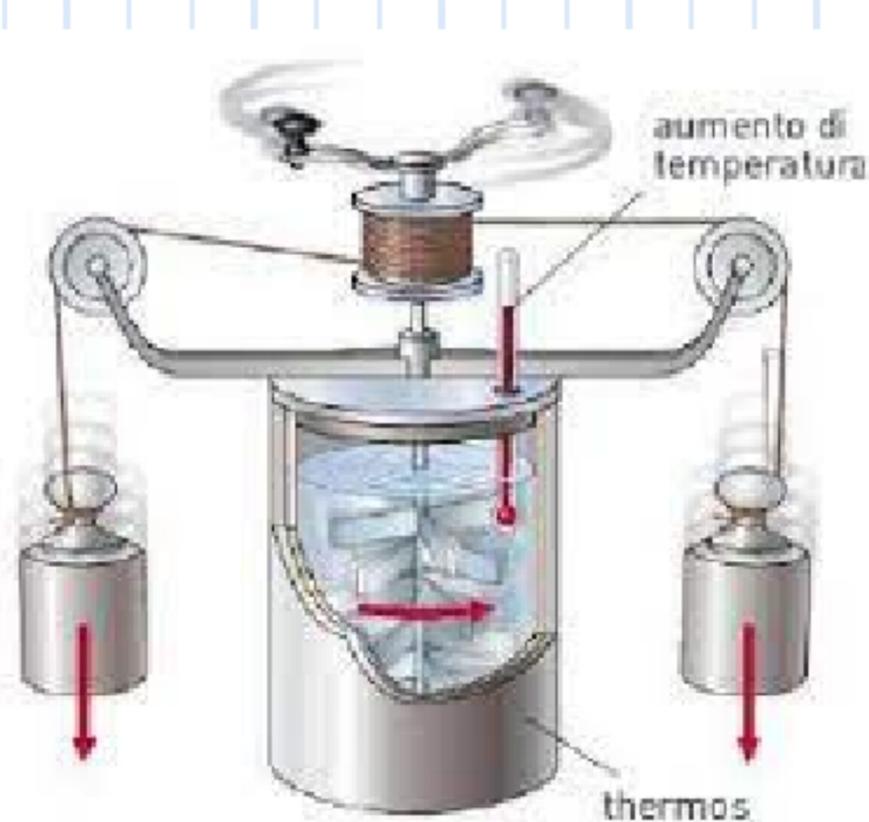
b)

$$X = Y - 20 \Rightarrow Y = X + 20$$
$$W = Y + 30 \Rightarrow Y = W - 30$$

$$50^\circ\text{X} = 70^\circ\text{Y}$$

$$50^\circ\text{W} = 20^\circ\text{Y}$$

Equivalenza Calore-Lavoro: Esperimenti di Joule



$$\Delta W \propto \Delta T \Rightarrow \Delta W = -\Delta U = U_{im} - U_{f,im}$$

Lavoro adiabatico compiuto sul sistema \downarrow Variazione di energia interna del sistema

Equivalenza Calore-Lavoro:

Esperimenti di Joule

→ La stessa variazione di Temperatura ΔT posso ottenere con un processo Non meccanico
⇒ Senza lavoro (meccanico) $W = 0$



i) $Q_{W=0} = \Delta U$

Calore scambiato con il sistema
senza lavoro esterno

i) + ii)

$$Q_{W=0} = -W_{ad}$$

Equivalenza tra lavoro
e calore

Unit. m del $Q = [J]$

1 caloria [kcal] = 4186,8 J

1 [cal] = 4,1868 J

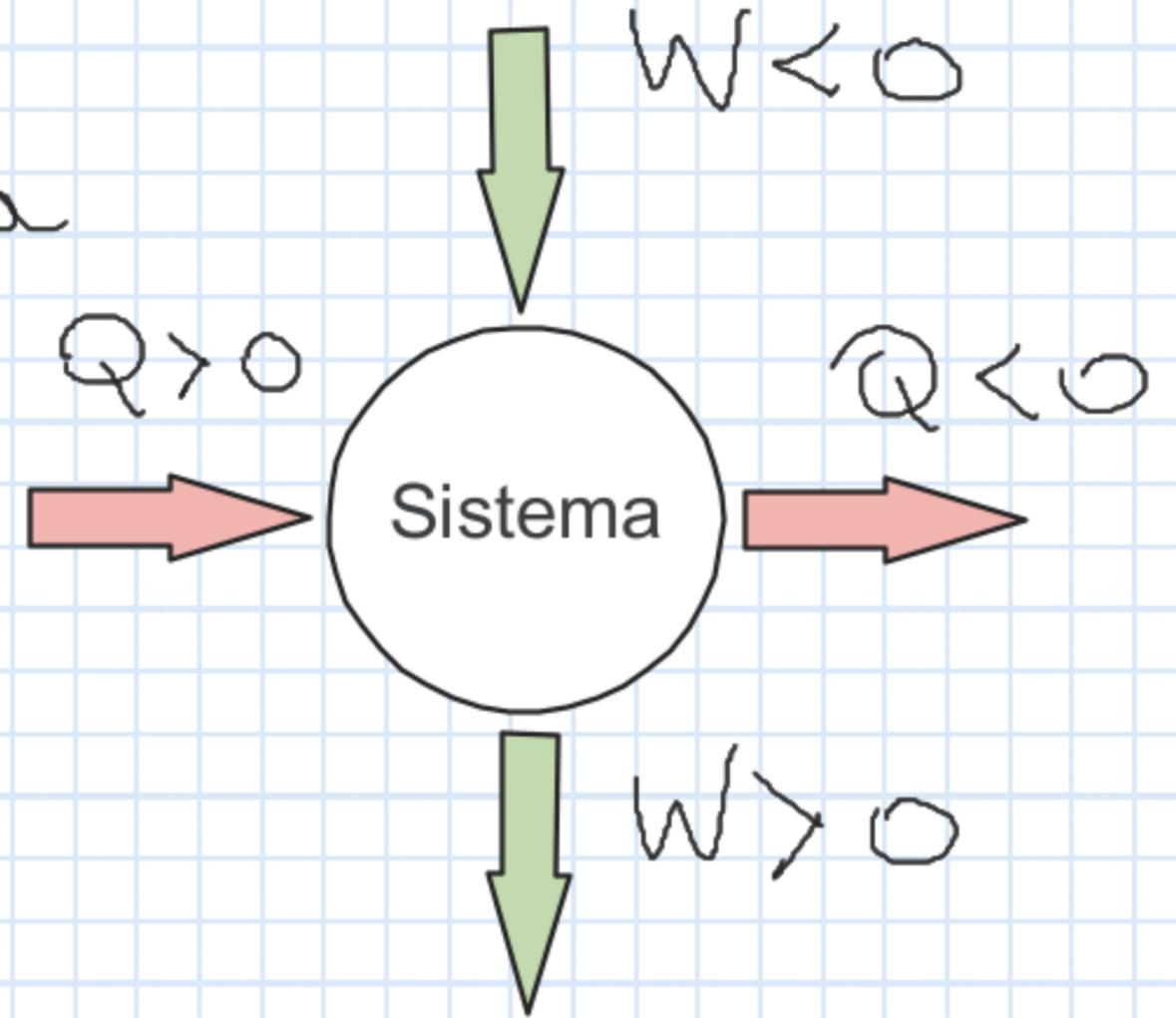
Convenzione Segni:

$Q > 0$ Se assorbito dal sistema

$Q < 0$ Se ceduto dal sistema

$W > 0$ Se fornito dal sistema

$W < 0$ Se somministrato sul sistema



Equivalenza Lavoro-Calore

$$Q = -W_{\text{cal}}$$

Equivalenza Lavoro-Calore
U.d.m. del Q [J]

→ Sia calore che lavoro sono scambi di energia che avvengono tra sistema ed ambiente ~~che avvengono~~ durante le trasformazioni termodinamiche

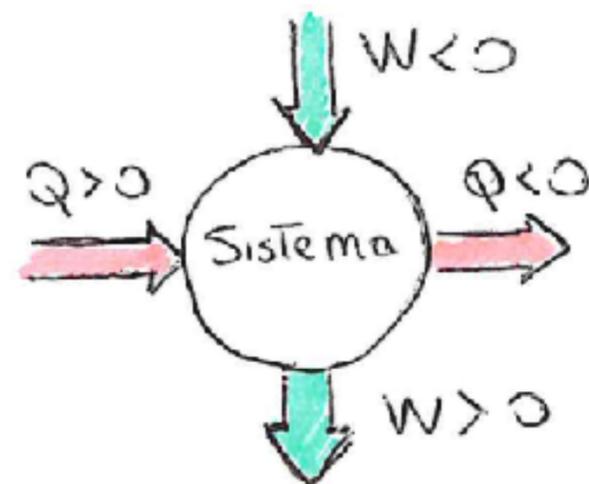
• Convenzione Segni:

$Q > 0$ se assorbito dal sistema

$Q < 0$ se ceduto dal sistema

$W > 0$ se sistema fornisce lavoro

$W < 0$ se si compie lavoro sul sistema



Lavoro in un sistema termodinamico:

- i) R. nuovo 1 ad 1 - pallini di piombo - facendo alzare il pistone, che quindi compie lavoro
- Per ogni pallino mosso il lavoro infinitesimale compiuto dal sistema è.

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{S} = F ds = p S ds = p dV$$

pressione esercitata dal gas

Variazione di Volume del gas

$$\Rightarrow W = \int_i^f dW = \int_{V_i}^{V_f} dV p(V)$$

in genere la pressione dipende dal Volume

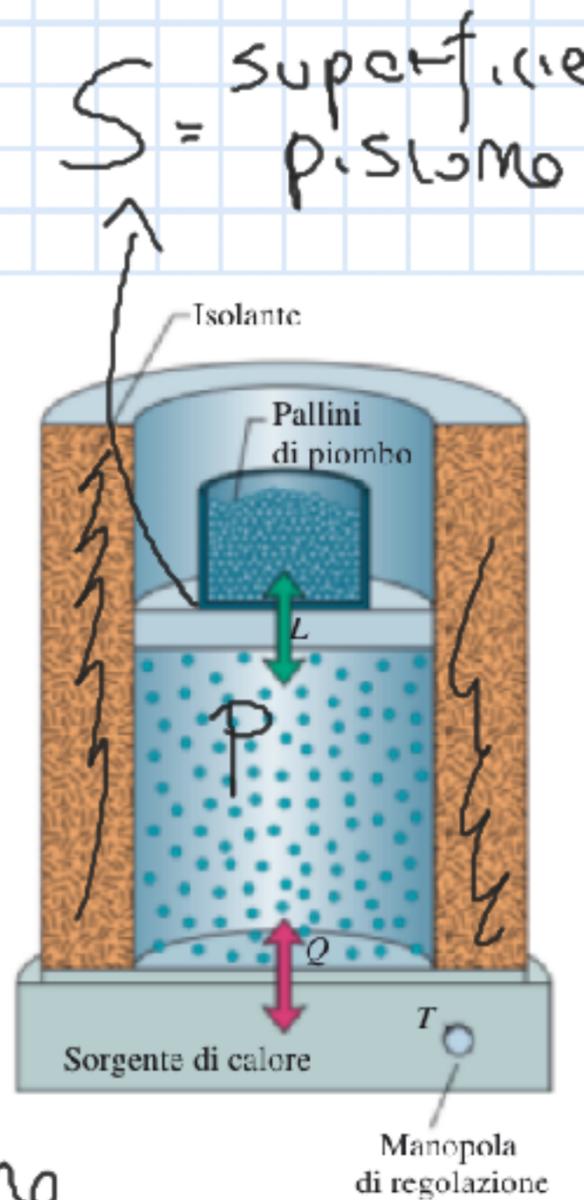
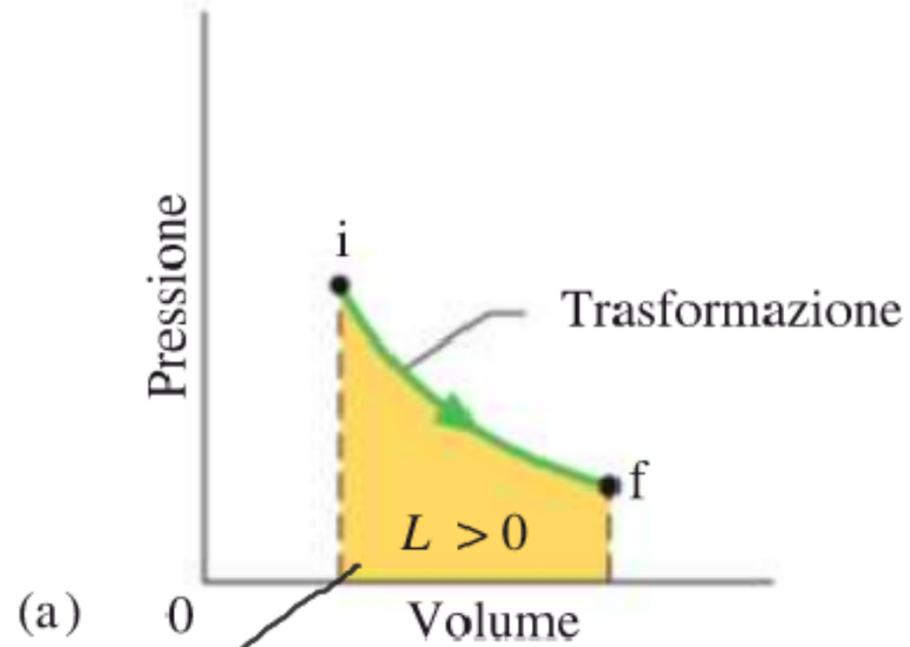
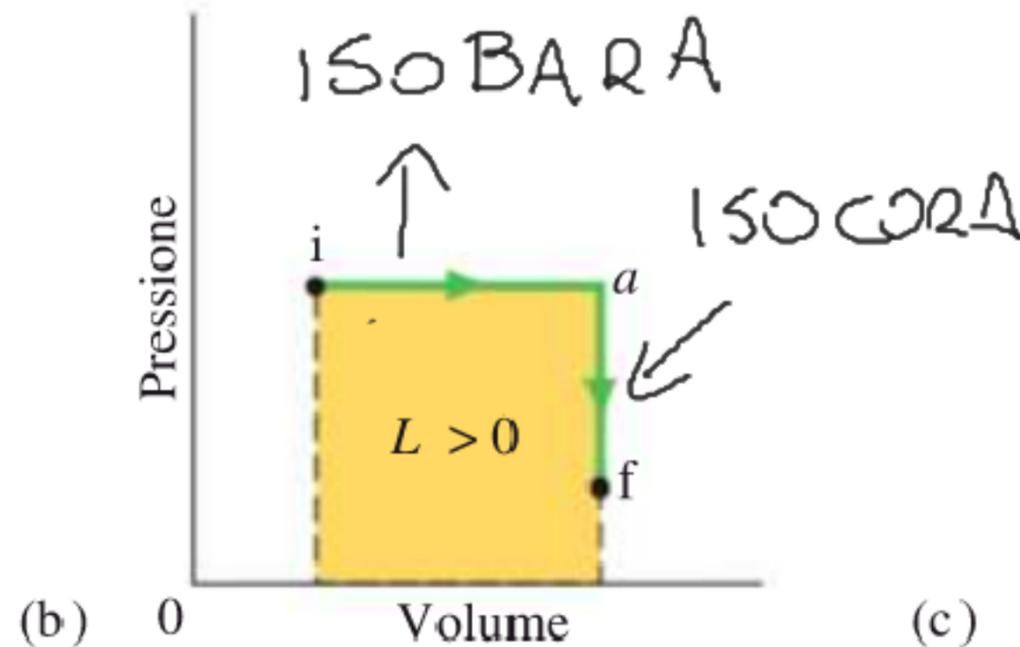


Grafico p-V (piano di Clapeyron)

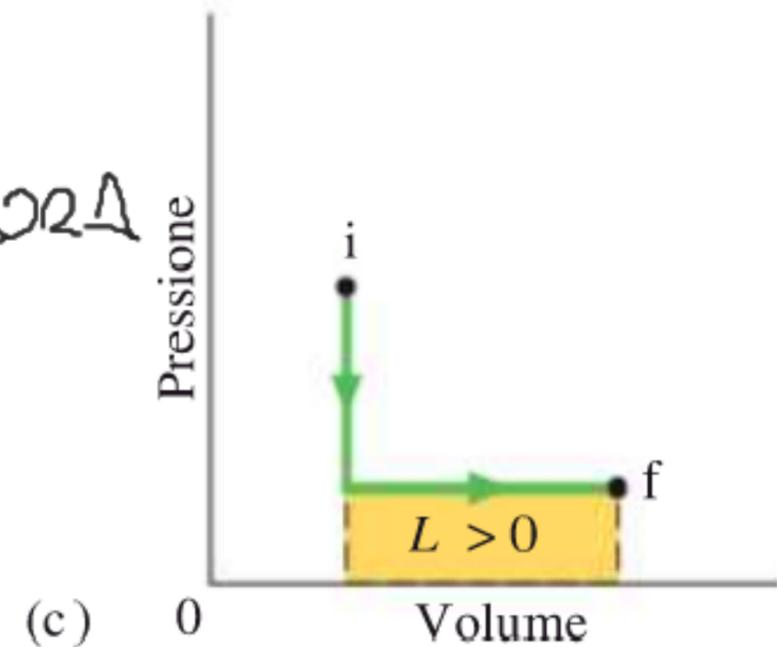
Il gas va da «i» a «f»
svolgendo lavoro positivo



Va ancora da «i» a «f»,
ma ora svolge più lavoro



Va sempre da «i» a «f»,
ma svolge meno lavoro



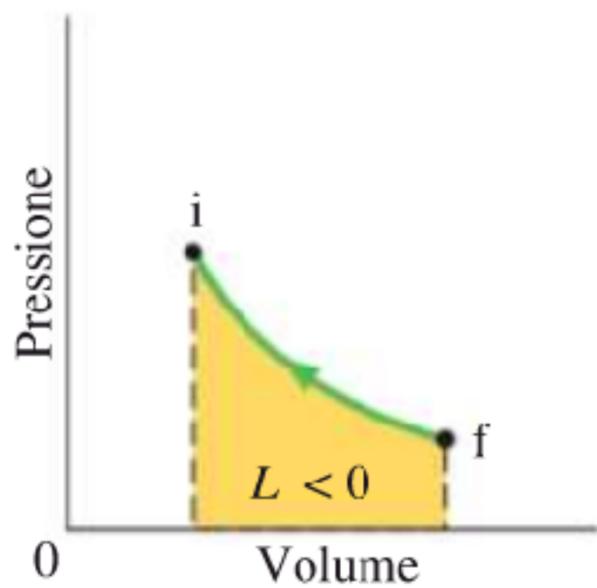
Lavoro = area sottesa
alla curva

$$W = \int_{V_i}^{V_f} p(V) dV$$

$$W_B > W_A > W_C$$

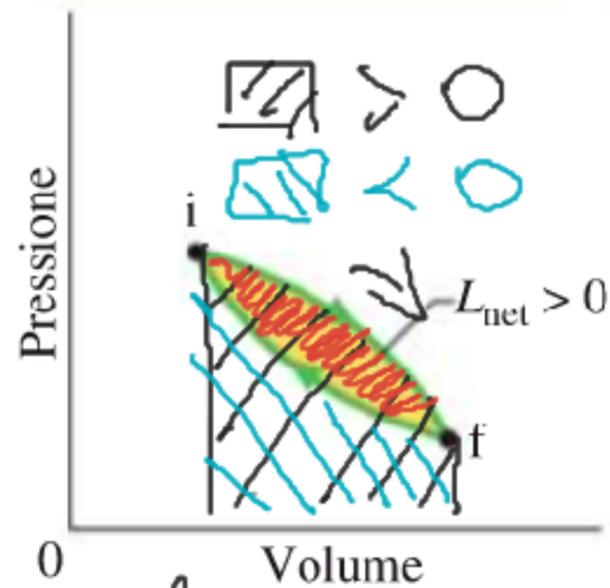
Grafico p-V (piano di Clapeyron)

Andando da f a i svolge lavoro negativo



(e)

Percorrendo un ciclo in senso orario il lavoro totale è positivo



(f)

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_{if} + W_{fi} = \\
 &= \int_i^f dV p(V) - \int_f^i dV p(V) = \\
 &= \text{Area Racchiusa dal ciclo}
 \end{aligned}$$

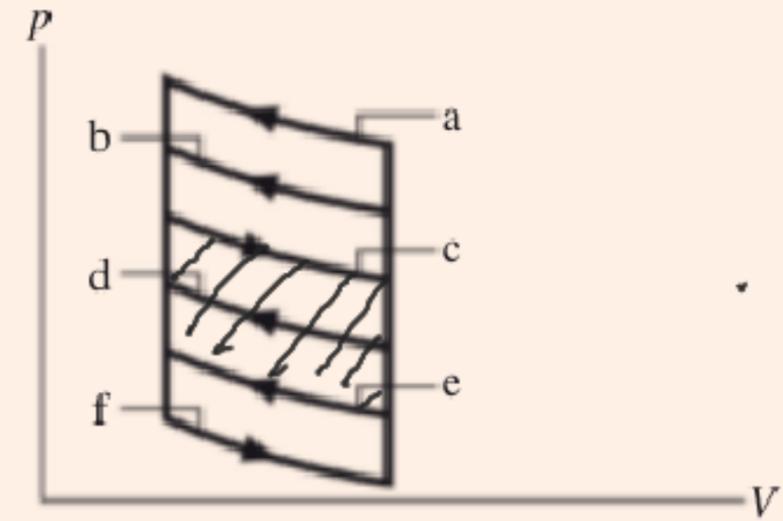
$$W_e = \int_f^i dV p(V) = - \int_i^f dV p(V) = -W_a < 0$$

↳ Ovvero compie lavoro sul sistema



VERIFICA 4

Il diagramma p - V qui illustrato presenta sei percorsi curvi (collegati da due percorsi verticali) che costituiscono possibili trasformazioni di un gas. Di questi quali sono i due che entrano a far parte del ciclo chiuso corrispondente a un lavoro netto massimo svolto dal gas?



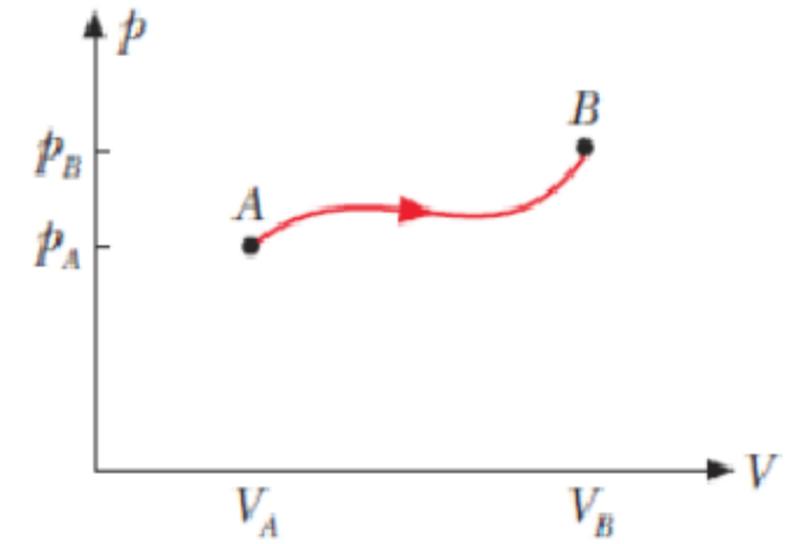
$$W_{Af} < 0 \quad (\text{Max in modulo})$$

$$W_{ce} > 0 \Rightarrow \text{Massimo lavoro netto positivo}$$

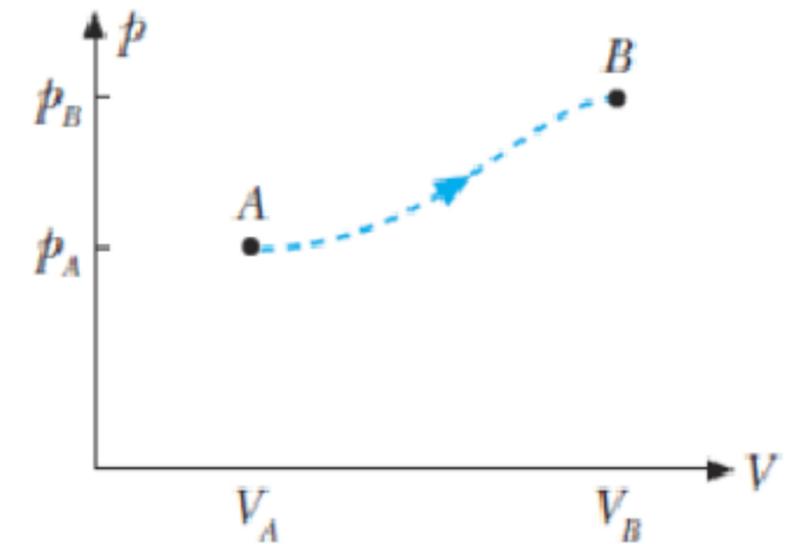
Trasformazioni Reversibili ed Irreversibili:

Trasformazione **REVERSIBILE**: Trasformazione quasi statica in assenza di qualsiasi forza dissipativa. Gli stati attraversati dal sistema in tale trasformazione sono di **EQUILIBRIO**, e le coordinate termodinamiche che lo descrivono sono **DEFINITE** lungo la trasformazione

Trasformazione **IRREVERSIBILE**: Trasformazione in cui sono presenti forze dissipative e/o il sistema passa attraverso stati di **NON EQUILIBRIO**. In pratica, in natura, tutte le trasformazioni sono **IRREVERSIBILI**



(a)



(b)