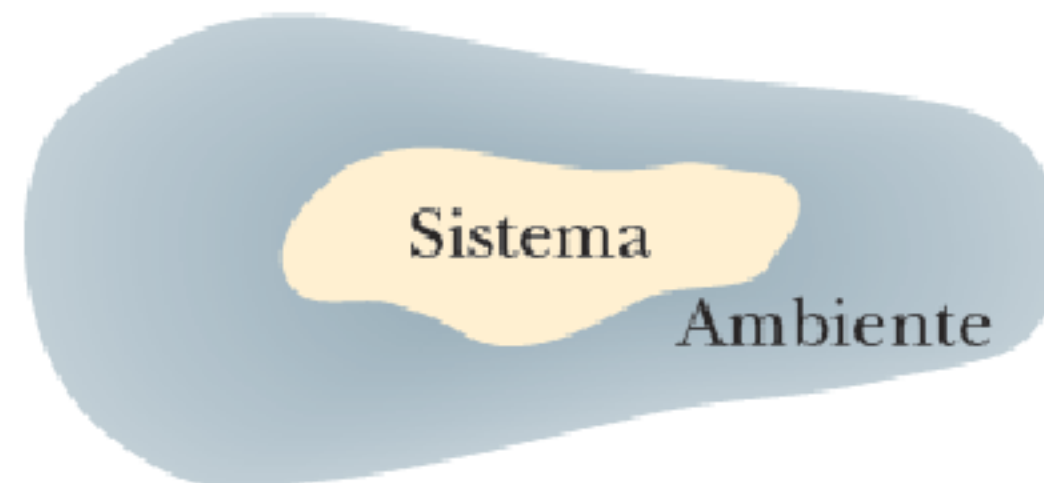


Termodinamica:

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 S.I. Temperatura [K]

Limite inferiore: Zero assoluto 0 K

- Definizione & Misura

i) Punto Triplo dell'acqua: T, p in cui
coesistono in equilibrio ghiaccio,
acqua liquida ed il vapore

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

ii) Trovare una grandezza fisica X che caratterizza
un fenomeno fisico che varia con la temperatura

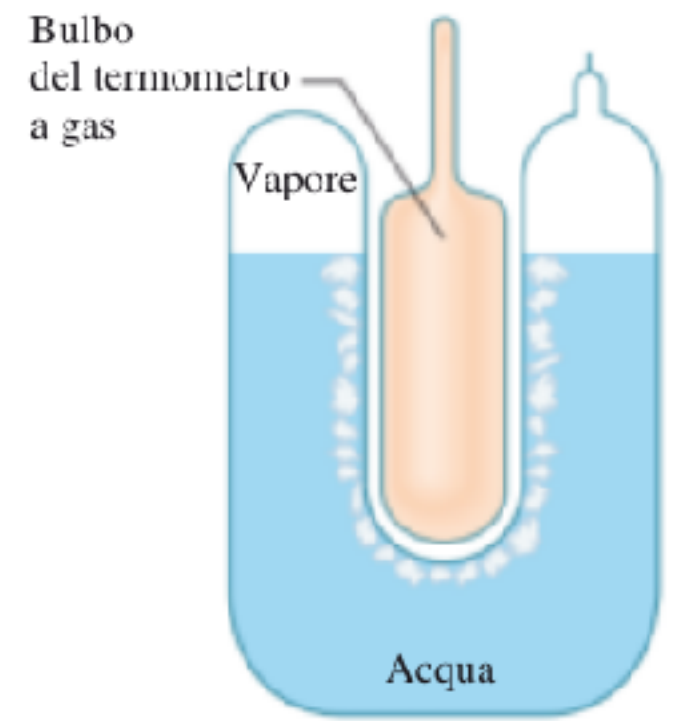


Figura 18.4 Una cella a punto triplo, nella quale ghiaccio solido, acqua liquida e vapore acqueo coesistono all'equilibrio termico. Secondo un accordo internazionale, la temperatura di questo insieme è stata fissata convenzionalmente a $273,16\text{ K}$. All'interno della cella è mostrato il bulbo di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

Assumiamo

$$T(x) = \alpha x \quad \alpha = \text{cost}$$

$$\Rightarrow T(x_{pt}) = \alpha x_{pt} = 273,16$$

$$\alpha = \frac{273,16}{x_{pt}}$$

$$\Rightarrow T = 273,16 \frac{x}{x_{pt}} \quad [K]$$

$T(x)$ è la temperatura
corrispondente alla
grandezza x



Termometro a gas a volume costante:

La grandezza fisica utilizzata per misurare la temperatura è la pressione del gas a volume costante

$$p = p_{atm} - \rho g h \quad (\text{legge di Stevino})$$

$$\Rightarrow T = \frac{p}{p_T} 273,16 \text{ [K]}$$

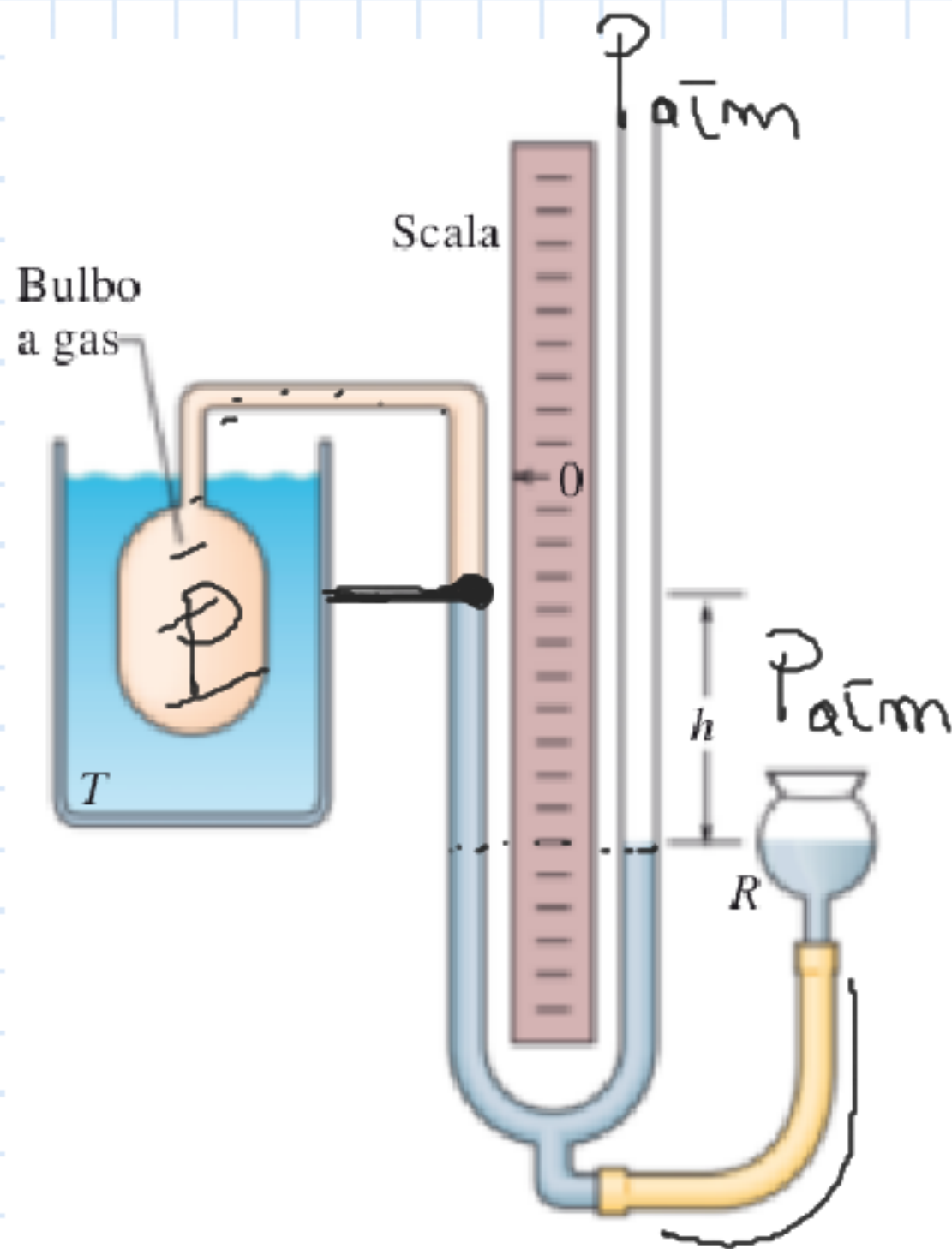


Figura 18.5 Un termometro a gas a volume costante; il suo bulbo viene immerso in un bagno di cui si vuole misurare la temperatura T .

Termometro a gas a volume costante:

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

Il passaggio al limite $p \rightarrow 0$
corrisponde a tendere
alla definizione di gas IDEALE

$$p \propto T$$

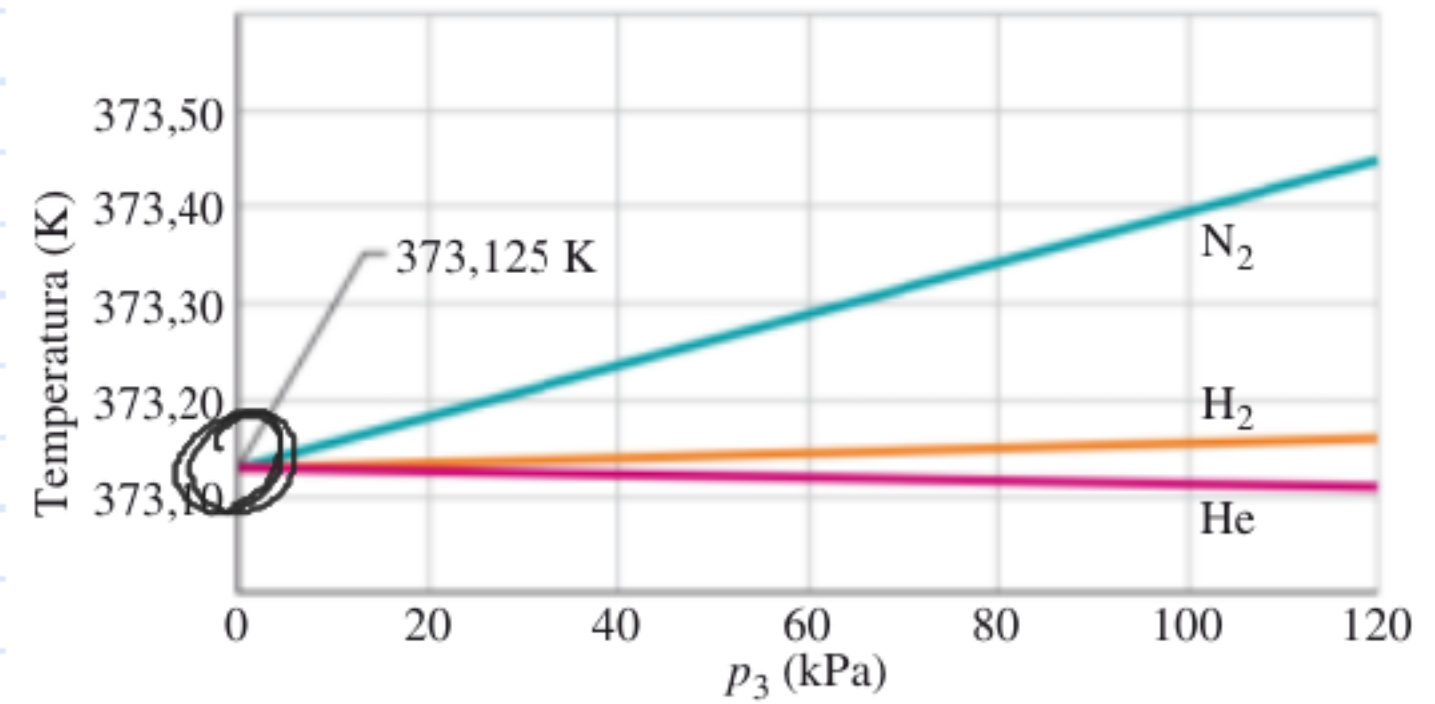


Figura 18.6 Temperature misurate con un termometro a gas a volume costante il cui bulbo è immerso in acqua bollente. Per i calcoli delle temperature mediante l'equazione 18.5 la pressione p_3 è stata misurata al punto triplo dell'acqua. Tre gas diversi sono stati utilizzati nel bulbo, ciascuno con massa 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).

Temperatura:

Scala Celsius:

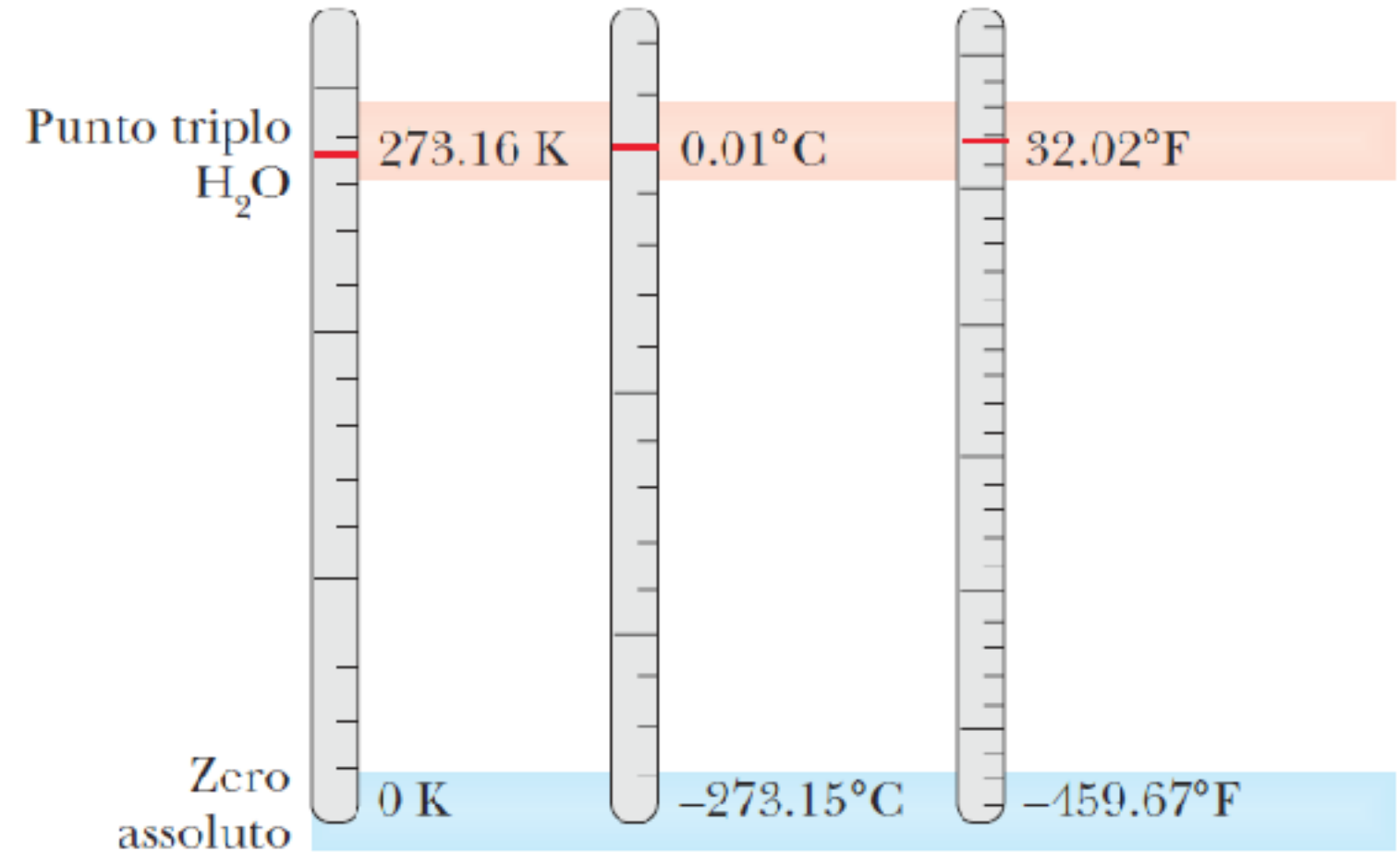
$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

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

Scala Fahrenheit:

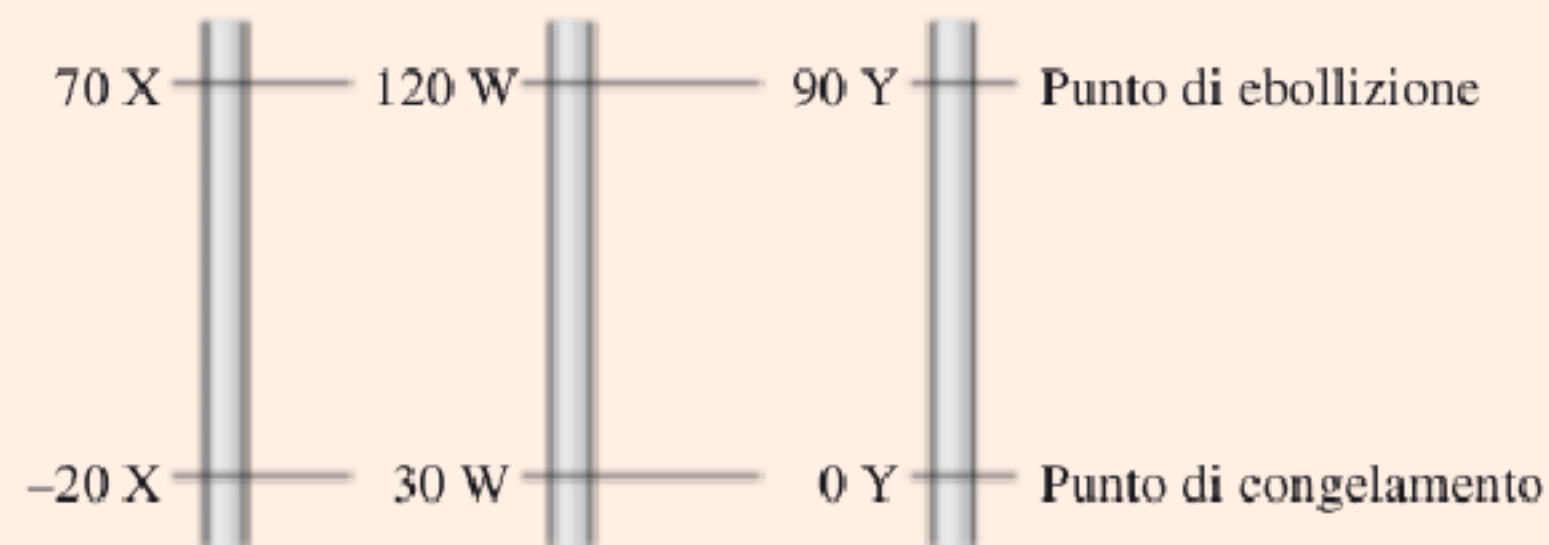
$$T(^{\circ}\text{F}) = \frac{9}{5} T(\text{K}) - 4,59,67$$

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



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 .



100°C 0°C $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ $\Delta T(1^\circ)_x = \Delta T(1^\circ)_w = \Delta T(1^\circ)_y$

a) $\Delta T_x = 70 - (-20) = 90$ b) $^\circ\text{X} = ^\circ\text{Y} - 20 \Rightarrow 50^\circ\text{X} \rightarrow 70^\circ\text{Y}$

$\Delta T_w = 120 - 30 = 90$ $^\circ\text{W} = ^\circ\text{Y} + 30 \Rightarrow 50^\circ\text{W} = 20^\circ\text{Y}$

$\Delta T_y = 90 - 0 = 90$ $50^\circ\text{X} > 50^\circ\text{Y} > 50^\circ\text{W}$

Equivalenza Calore-Lavoro:

Esperimenti di Joule

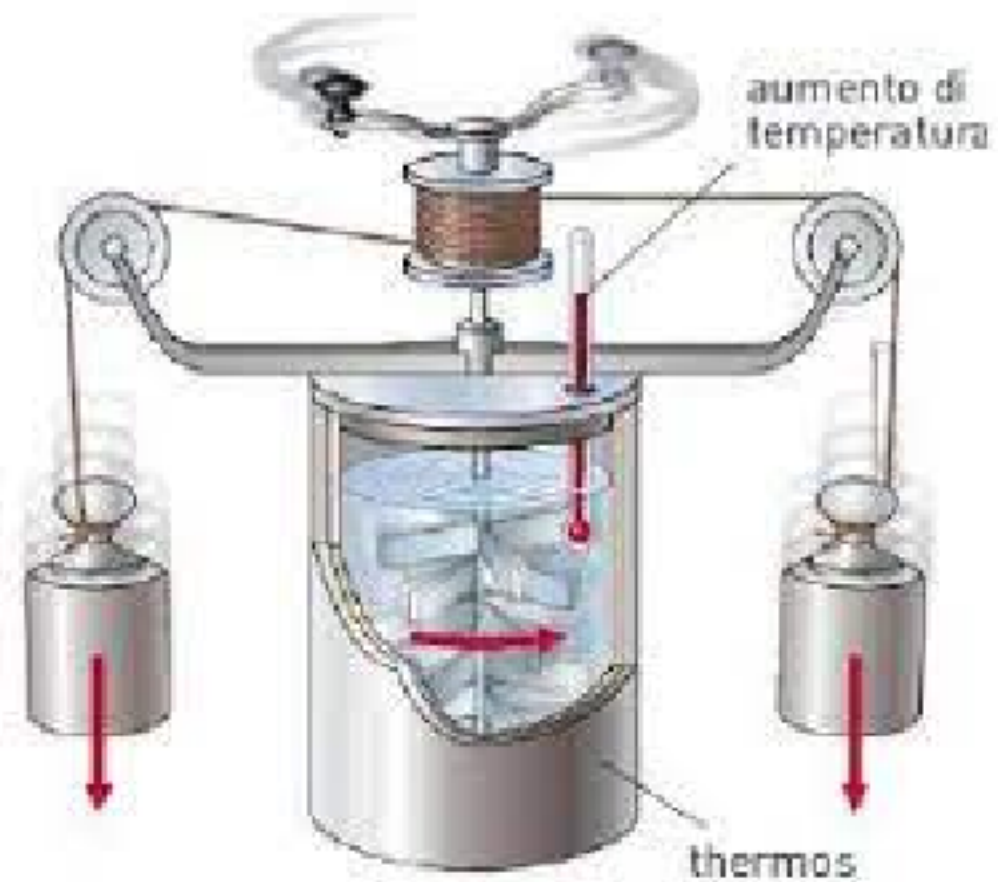
a) Rotazione mulinella tramite
dei pes. \Rightarrow acqua si riscalda
 W_1 per attrito

b) Compressione di un gas contenuto
in un recipiente adiabatico (W_2)

c) Sfrugamento corpi solidi immersi nell'acqua
(W_3)

\Rightarrow la portata di massa d'acqua, il lavoro speso è sempre
proporzionale alla variazione di temperatura

$$W \propto \Delta T$$



$$c) \quad W_{ad} = -\Delta U = U_{im} - U_{fim}$$

il lavoro
speso in

modo adiabatico

↓
Variazione di Energia Interna
del sistema

Equivalenza Calore-Lavoro:

Esperimenti di Joule

→ Senza alcuna AZIONE MECCANICA
posso aumentare la temperatura
del fluido.

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

Calore scambiato
in assenza di lavoro
meccanico

$$i) + ii) \quad Q_{W=0} = -W_{(real)} \Rightarrow \text{LAVORO \& CALORE}$$

$$1 \text{ caloria [kcal]} = 4186,8 \text{ J}$$

$$1 [\text{cal}] = 4,1868 \text{ J}$$

$$Q_{\text{calm}} [\text{J}]$$



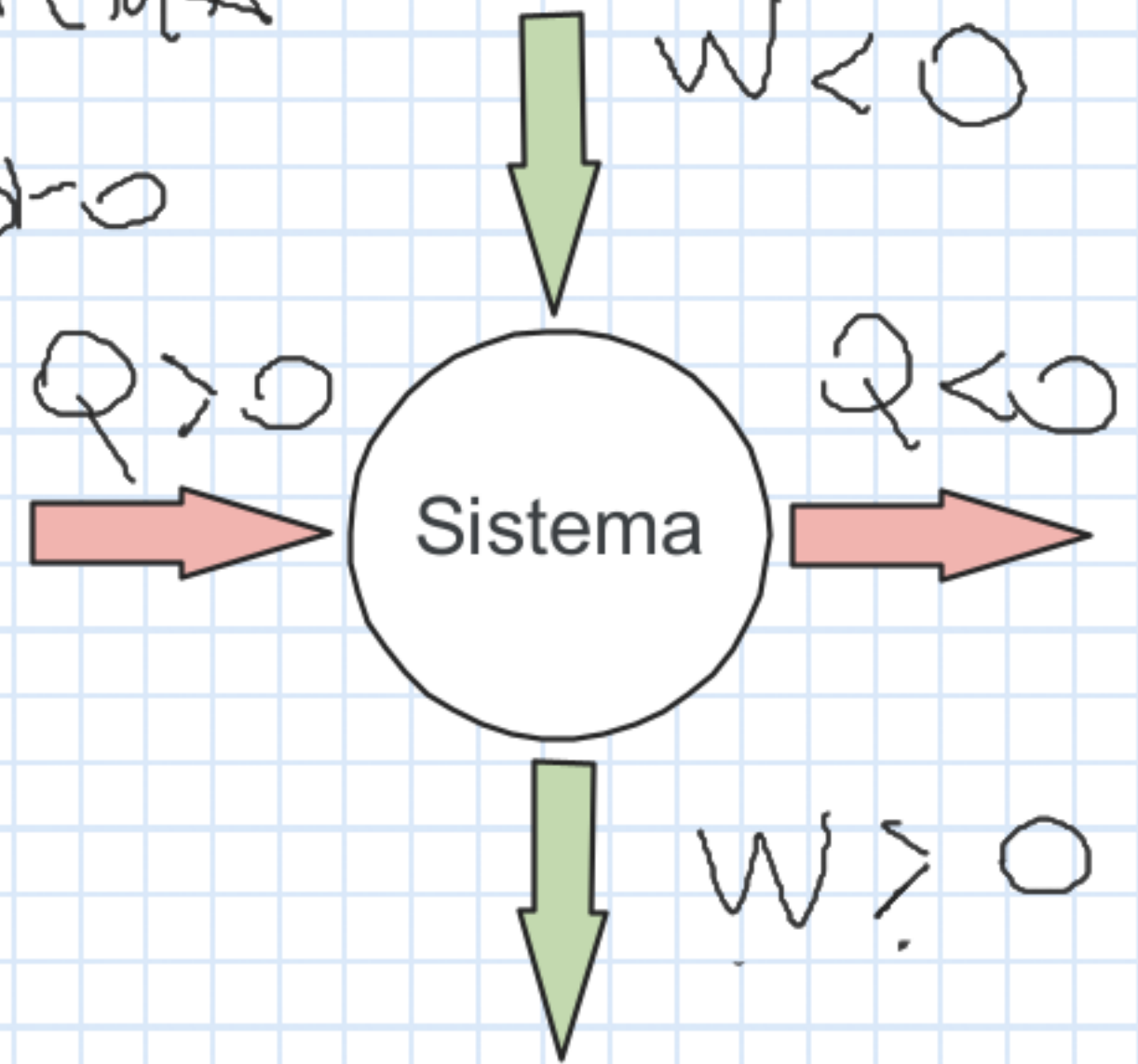
Convenzione Segni:

$W < 0$ = Lavoro compiuto sul sistema

$W > 0$ = Il sistema compie lavoro

$Q > 0$ = Il sistema assorbe calore

$Q < 0$ = Il sistema cede calore



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

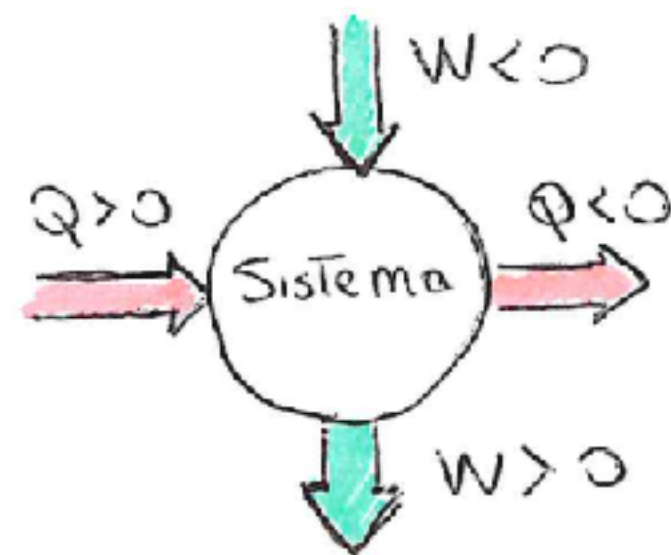
• Convenzione Segni:

$Q > 0$ 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:

1) Rimuovo 1 da 1, piombini

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

superficie
del pistone

⇒ il lavoro totale compiuto dal gas
rimuovendo tutti i pallini di piombo;

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

in generale è una
funzione del volume

Recipiente
ADIABATICO
Zavorra

pistone
mobile

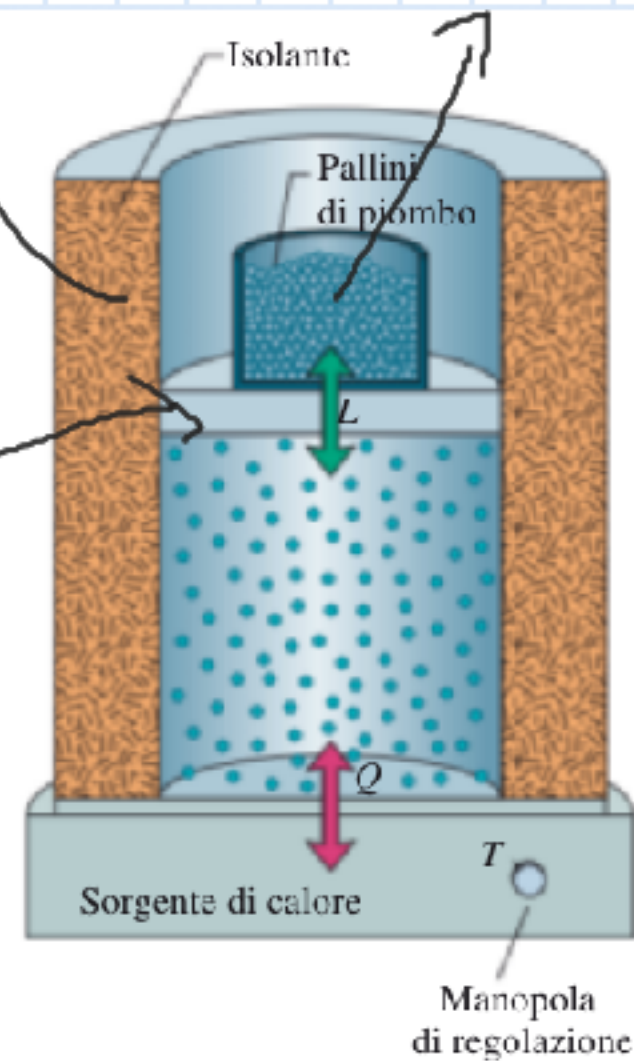
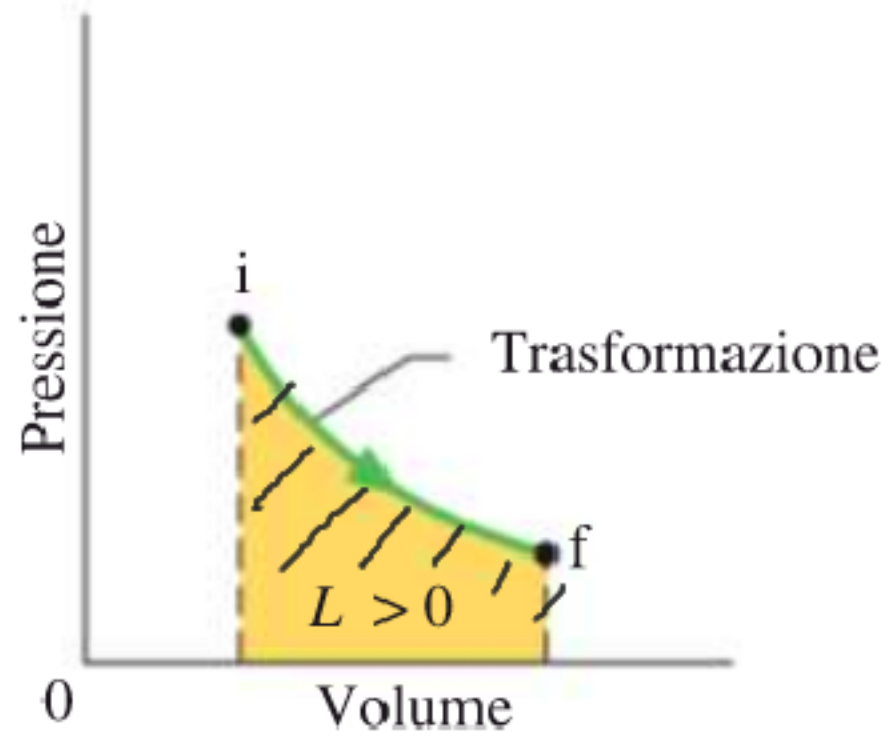


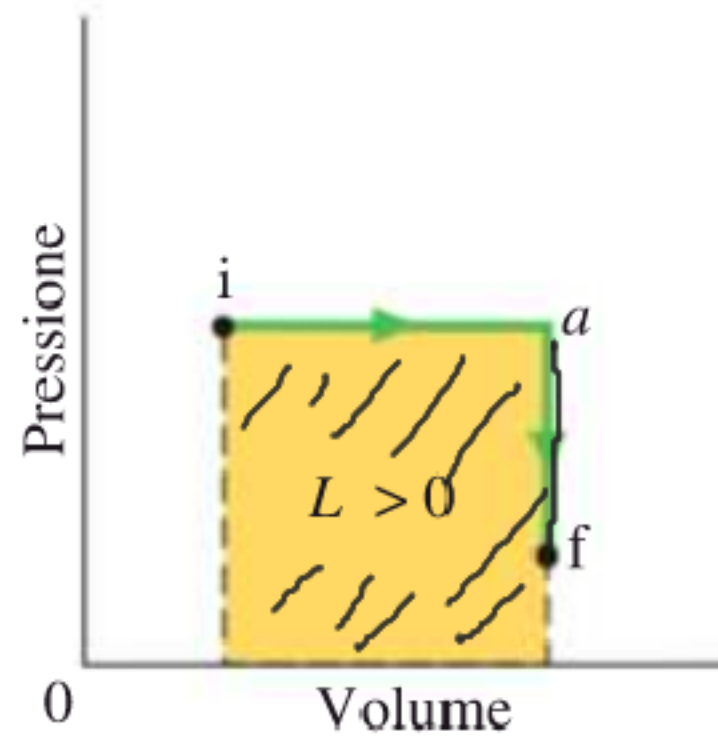
Grafico p-V (piano di Clapeyron)

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



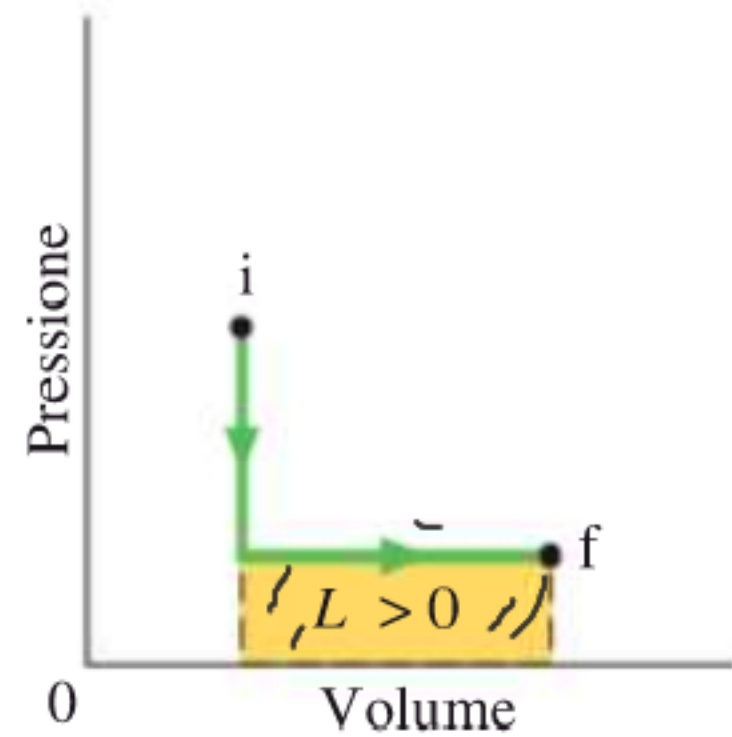
(a)

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



(b)

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



(c)

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

$$W(b) > W(a)$$

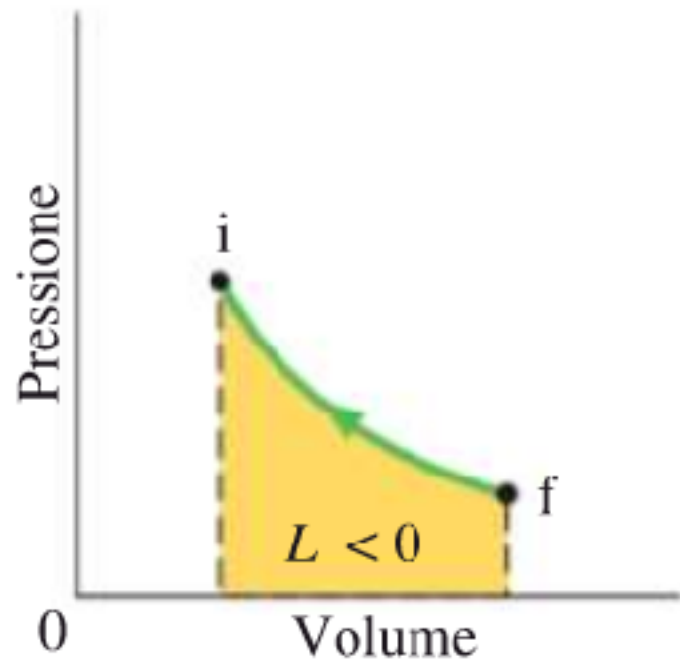
$$W(c) < W(a)$$



\Rightarrow Il lavoro compiuto dal sistema
DIPENDE dal percorso compiuto
dal SISTEMA

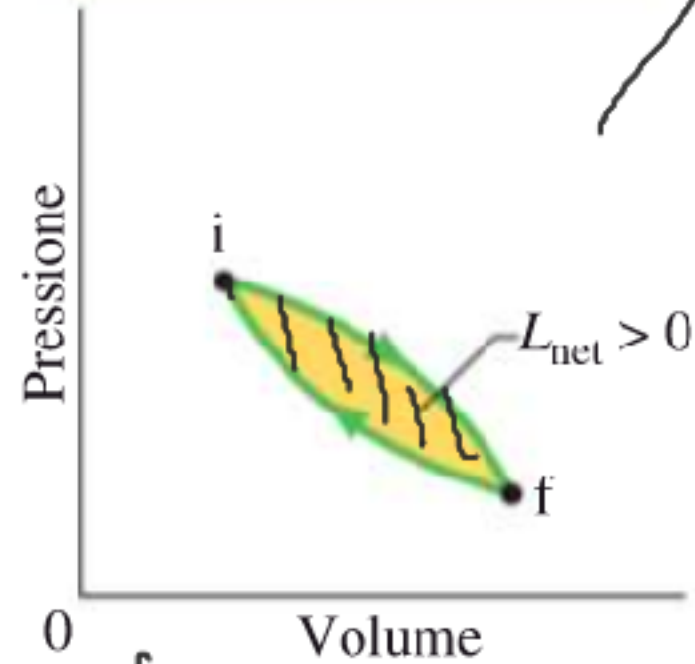
Grafico p-V (piano di Clapeyron)

Andando da f a i svolge lavoro negativo



(e)

Percorrendo un ciclo in senso orario il lavoro totale è positivo



(f)

$$W_e = \int_f^i dW = - \int_i^f dW = -W_a$$

Ciclo termodinamico.
Lo stato iniziale corrisponde allo stato finale

$$W_{tot} = \underbrace{\int_f^i dW}_{> 0} + \underbrace{\int_i^f dW}_{< 0}$$

$W_{tot} > 0$ se ciclo in senso orario

$W_{tot} < 0$ se antiorario



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?

