LEZIONE 1.2 - TRASFORMAZIONI TERMODINAMICHE (#2)

1.2.1 Temperatura del termometro a gas perfetto

Nella sezione 1.1.4 (pag. 6) abbiamo introdotto la scala Kelvin utilizzando un termometro a mercurio (caratteristica termometrica la lunghezza L) tarato al punto triplo dell'acqua:

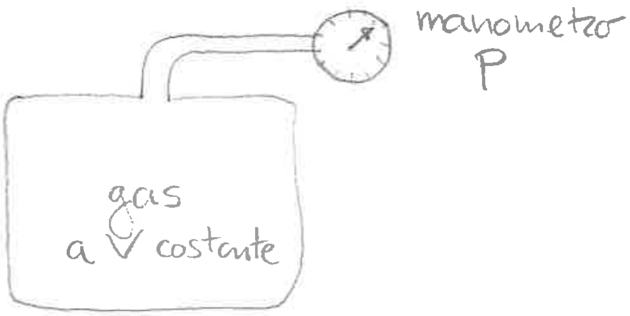
$$T = aL \qquad \text{con } a = \frac{273{,}16 \text{ K}}{L_3}$$

$$T = 273{,}16 \text{ K} \, \frac{L}{L_3}$$

I risultati sono deludenti: la T misurata dipende dal termometro.*
Lo stesso procedimento può essere usato per altri termometri basati su altre caratteristiche termometriche (es. X)

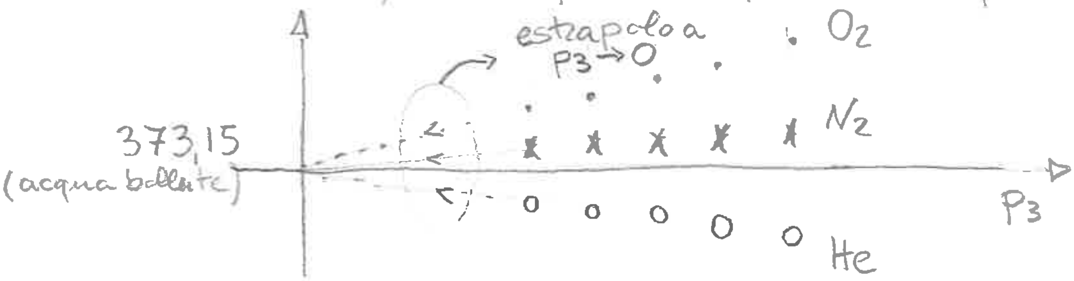
$$T = 273{,}16 \text{ K} \, \frac{X}{X_3}$$

Un caso importante è il termometro a gas a V costante, in cui la caratteristica termometrica è la pressione p:



$$T = 273{,}16 \text{ K} \, \frac{p}{p_3}$$

Anche in questo caso, termometri con gas diversi forniscono T diverse. Inoltre, la risposta dipende da p_3. Si ha però:



* Si parla pertanto di temperatura empirica.

Estrapolando a $p_3 \to 0$, tutti i gas sono concordi, perché si comportano come gas perfetti.

Temperatura del termometro a gas perfetto:

$$T = \lim_{p_3 \to 0} \left(273{,}16 \, \frac{p}{p_3} \right) K$$

Note: - il $\lim_{p_3 \to 0}$ si fa mediante una regressione lineare,

- per $T < 1\ K$ questo termometro non funziona (il gas passa allo stato liquido)

1.2.2 Dilatazione Termica

Si osserva sperimentalmente che i corpi si dilatano al crescere di T. Esempi: - ponti e binari

- tappo vasetto
- colonnina di mercurio

Per una sbarra di metallo (sezione trascurabile rispetto a ℓ) si osserva sperimentalmente:

$$\Delta \ell = \lambda \ell \, \Delta T$$

da cui
$$\lambda = \frac{1}{\ell} \frac{\Delta \ell}{\Delta T}$$

più in generale:
$$\lambda = \frac{1}{\ell} \left(\frac{\partial \ell}{\partial T} \right)_p$$

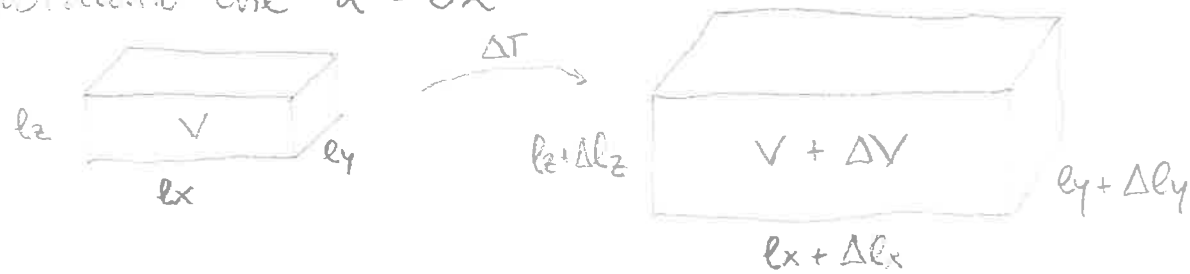
è il coefficiente di dilatazione (termica) lineare a p costante. Per un sistema tridimensionale isotropo si definisce:

$$\alpha = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p$$

il coefficiente di dilatazione cubica a p costante, da cui:

$$\Delta V = \alpha V \Delta T$$

→ Dimostriamo che $\alpha = 3\lambda$



$$
\begin{aligned}
V + \Delta V &= (l_x + \Delta l_x)(l_y + \Delta l_y)(l_z + \Delta l_z) \\
&= (l_x + \lambda l_x \Delta T)(l_y + \lambda l_y \Delta T)(l_z + \lambda l_z \Delta T) \\
&= l_x l_y l_z (1 + \lambda \Delta T)^3 \\
&= V (1 + \lambda \Delta T)^3 \qquad \text{se } \lambda \Delta T \ll 1 \text{ uso } (1+x)^\gamma \cong 1 + \gamma x \\
&\cong V (1 + 3\lambda \Delta T)
\end{aligned}
$$

da cui $\Delta V = 3\lambda \Delta T$ e $\alpha = 3\lambda$

→ Approfondimenti (1.2.2) β_T → coefficiente di comprimibilità isoterma
β_S → " " isoentropica
$K_T = \frac{1}{\beta_T}$ → modulo di compressibilità a T costante
$K_S = \frac{1}{\beta_S}$ → " " S costante

si veda appunti prof. Rui lez 1.2.2

1.2.3 Trasformazioni TD

stato di equilibrio TD (i)

. . .

l'equilibrio viene meno

. . .

nuovo stato di equil. TD (f)

TRASFORMAZIONE TD

→ Trasformazioni reversibili ed irreversibili.

$i \longrightarrow f$

è <u>REVERSIBILE</u> : se esiste una trasformazione $f \rightarrow i$ in modo che ANCHE L'AMBIENTE circostante ritorni al suo stato originario

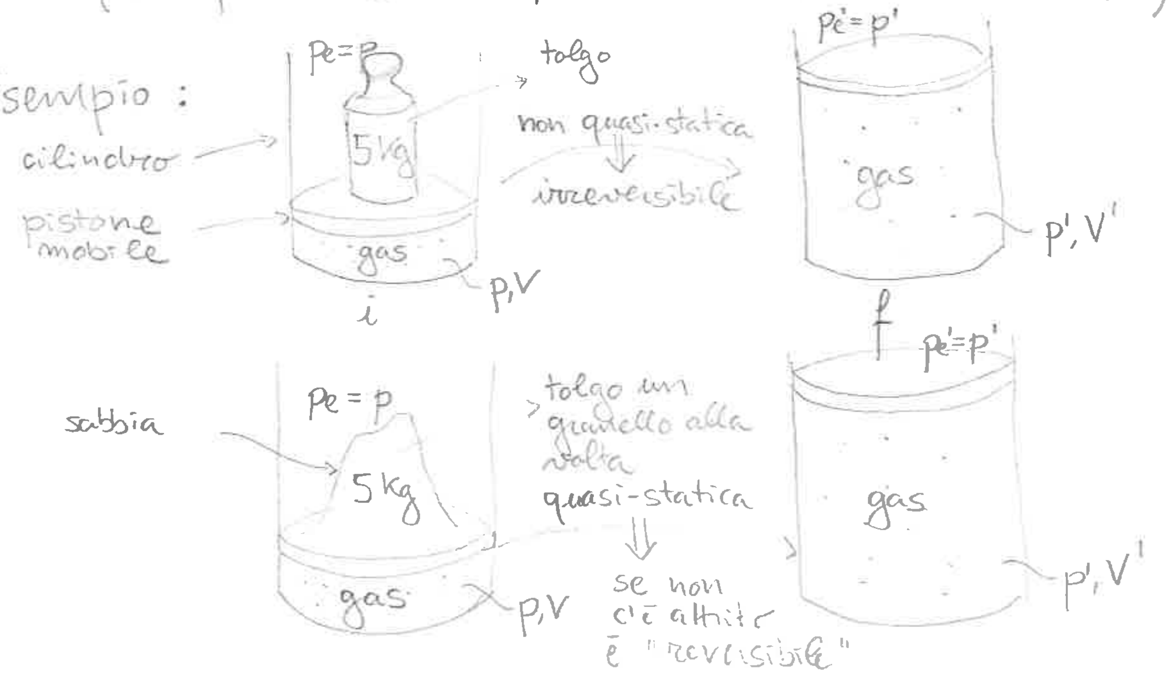
(in altre parole) → sistema, ambiente (e universo) possono tornare allo stato iniziale

è <u>IRREVERSIBILE</u> : se non esiste alcuna trasformazione $f \rightarrow i$ che riporti ANCHE L'AMBIENTE nel suo stato originario

Per essere REVERSIBILE, una trasformazione TD dovrebbe:

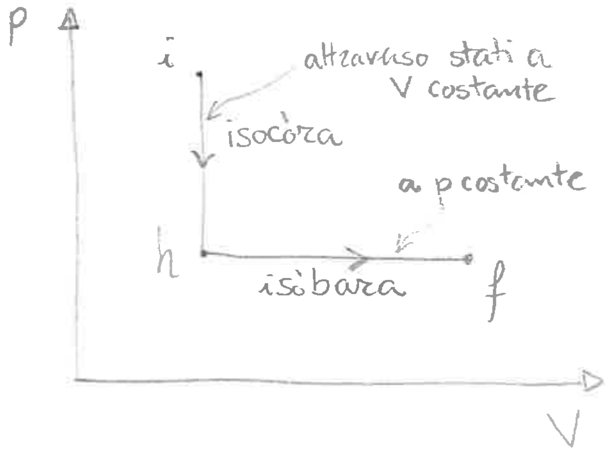
1) essere QUASI-STATICA
(molto lenta in modo che il sistema sia sempre quasi in equilibrio)
2) non coinvolgere forze dissipative
(è impossibile ma può essere un utile modello)

Esempio :



Importanza delle trasformazioni quasi-statiche: il sistema è sempre vicino a stati di equilibrio ⇒ posso sempre specificare le coordinate TD. Per trasformazioni NON quasi-statiche il sistema può essere molto lontano dall'equilibrio ⇒ le coordinate TD non sono definite.

→ Piano di Clapeyron



trasformazioni TD:

isocore: a V costante

isobare: a p costante

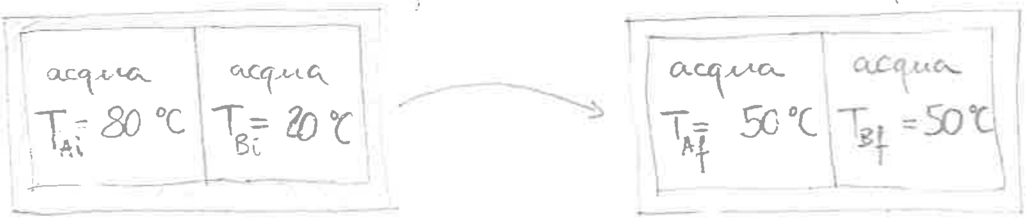
isoterme: a T costante

adiabatiche: sistema isolato termicamente

cicliche: f coincide con i

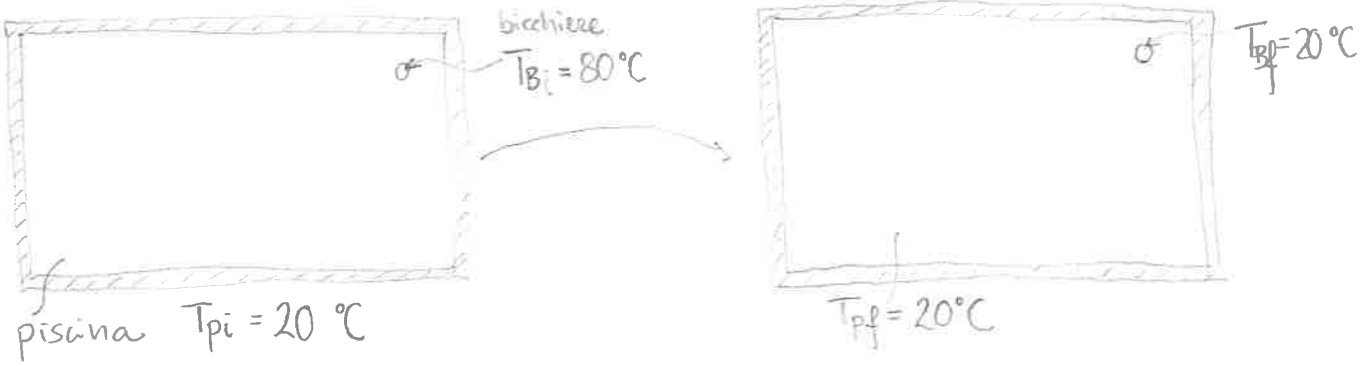
→ TERMOSTATO (O SERBATOIO)

In genere, quando si pongono due sistemi in contatto termico, entrambi cambiano T fino a un nuovo equilibrio



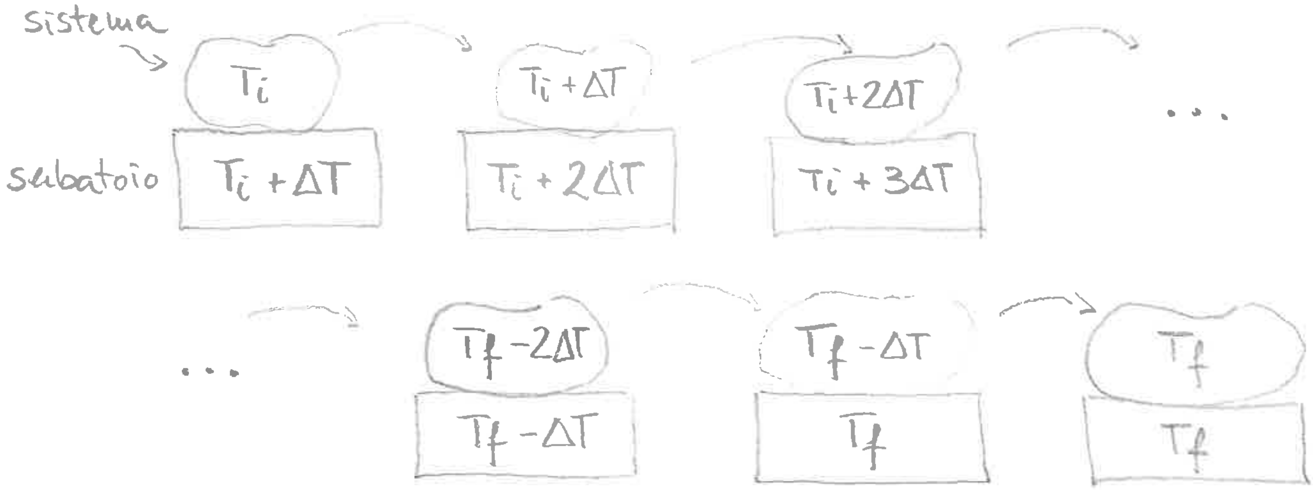
$V_A = V_B$

Tuttavia alcuni sistemi si comportano da termostato (o serbatoio): interagiscono con altri sistemi ma non cambiano (apprezzabilmente) la propria temperatura

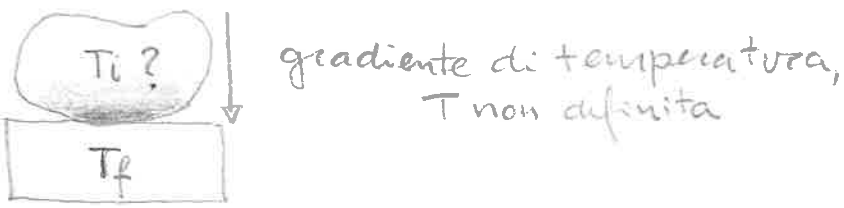


Se un sistema esegue una trasformazione quasi-statica in contatto termico con un termostato a T ⇒ trasformazione isoterma

Le trasformazioni quasi-statiche sono un modello ideale.
Esempio: trasformazione non-adiabatica da T_i a T_f (es: $T_f > T_i$) sono necessari molti (idealmente infiniti) serbatoi:



Se invece metto il sistema a T_i direttamente sul serbatoio a T_f avrò una trasformazione non-quasistatica (e quindi irreversibile) in cui il sistema non è in equilibrio e T non è nemmeno definita:



A rigori, non posso rappresentare trasformazioni non-quasistatiche nel piano di Clapeyron, perché i valori di p e V durante la trasformazione non sono noti (e magari nemmeno definiti).
Tuttavia, convenzionalmente si rappresentano con un tratto oscillante. Es.