Termodinamica applicata 6CFU 30/09/2014

- Libro: [Elementi di Fisica Tecnica per Ingegneria + Es di termodinamica applicata (Termodinamica e Trasmissione del calore Y.A. Cengel)
- Filippeschi Sauro → Sito s.filippeschi@ing.unipi.it
- ricevimento venerdì 11,30-13,30 (Fondamentale) palazzina
- Fisica 1 e Analisi 1-
- Modalità di esame: Scritto prima della prima prova di Gennaio, altrimenti orale.

- Prima lezione 01/10/2014

Sistema termodinamico: insieme di elementi che possono essere inclusi in un contorno.



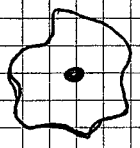
Ambiente: tutto ciò che circonda il sistema.

Tutto ciò che è dentro il sistema deve essere codificato. È costituito da un insieme di punti che vengono inseriti all'interno. Per ogni punto abbiamo delle variabili che identificano il punto $(x, y, z, \ldots)$
L'insieme delle grandezze che individua un punto è detto Stato fisico.

Ogni punto a sua volta può avere stati fisici diversi.

Un sistema che all'interno ha punti con stati fisici diversi e con gruppi di coordinate diverse tenderà a portarsi a condizioni reciproche, omogenee portando i punti ad un unico stato stazionario.

La termodinamica studia sistemi in equilibrio, cioè con punti omogenei.



$S \Rightarrow (x, y, z, \ldots) \rightarrow$ Coordinata termodinamica

EQUILIBRIO TERMODINAMICO: Se è in equilibrio meccanico,
è in equilibrio chimico,
è in equilibrio termico.



Corpo A in equilibrio chimico e meccanico
Corpo B in equilibrio chimico e meccanico
} sono anche in equilibrio tra di loro

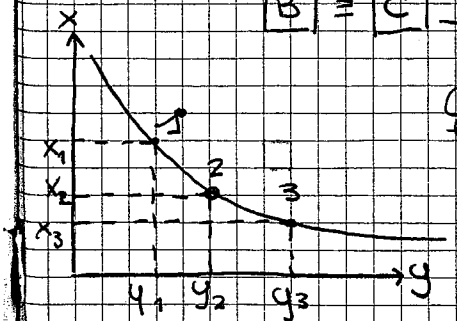
Se metto in contatto i due corpi e il sistema non cambia il suo equilibrio allora saranno anche in equilibrio termico.

Fowler: A e B



B è in equilibrio termico con A e prendo un corpo C in equilibrio termico con B lo sarà anche con A.

B $\overset{T}{=}$ C → allora → A $\overset{T}{=}$ C



Questa curva rappresenta la temperatura, cioè l'insieme di punti che la costituiscono.

Le coordinate termodinamiche Devono essere misurabili.
Ma deve avere una altra caratteristica per essere considerata del sistema termodinamico



I tre sistemi hanno o possono avere grandezze tipo P e T che sono intensive cioè non dipendono dall'estensione.
Mentre ci sono grandezze dette estensive come m e V che dipendono dall'estensione del sistema.

Ci sono anche grandezze che dipendono da massa e volume che sono però intensive (pressione), v (volume specifico) e e (energia specifica).

Quindi per definire un sistema termodinamico: - grandezze misurabili
- grandezze intensive.

Coordinate termodinamiche

- T [K], [°C], [°F]

  $K = °C + 273,16$

  $T_1 \rightarrow$ Stato fisico definito (ghiaccio fondente)

  $T_2 \rightarrow$ Acqua bollente (100

(la gradazione tra °C e °F è molto diff)



Si chiama grado proprio per le parti in cui è divisa la retta, parto da 0 e 100 e divido in 100 parti chiamate gradazioni

- p [Pa] $\left[\frac{F}{S}\right] = \left[\frac{N}{m^2}\right]$

  1 atm = 101325 Pa

  1 atm = 1

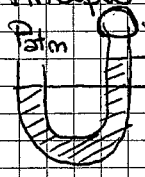
  1 at = 0 oppure 1 atm

  1 bar = 10^5 Pa

  1 atm = 1,01325 bar = 1013 mbar (ettopascal)

  1 atm $\simeq 10^5$ Pa $\simeq$ 1 bar

Principio dei vasi comunicanti



$(P_1 - P_2) = \rho g \Delta H \rightarrow \Delta H = \frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{\Delta P}{\gamma}$

γ = peso specifico = $\rho \cdot g$

$\rho = [10^3\ kg/m^3]$

$g = 9,81\ m/s^2$

1 metro di colonna d'acqua = $9,81 \cdot 10^3$ Pa $\simeq 10^4$ Pa

torr = mm Hg

1 torr = 750,062 Pa

- Volume specifico $\left[v = \frac{V}{M}\right]$ $[m^3/kg]$
- densità $\left[\rho = \frac{M}{V}\right]$ $[kg/m^3]$
- energia interna specifica $\left[u = \frac{U}{M}\right]$ $\left[\frac{J}{kg}\right]$
- entalpia specifica $\left[h = \frac{H}{M}\right]$ $[J/kg]$
- entropia specifica $\left[s = \frac{S}{M}\right]$ $[J/K\,kg]$

7 coordinate: p, v, p, T, u, h, s

Quando conosciamo queste abbiamo un sistema termodinamico in equilibrio

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell 388 9837745

$f(v, \rho, p, T, u, h, s) = 0$ equazione di stato

↳ lega le coordinate del sistema.

Sistemi idrostatici

Sistema termodinamico caratterizzato da 3 variabili di cui 2 indipendenti (dalle coordinate e definito). Sono necessari e 2 variabili per determinare lo stato fisico.

$f(p, v, T) = 0$ sono sufficienti 2 per ricavare la terza.

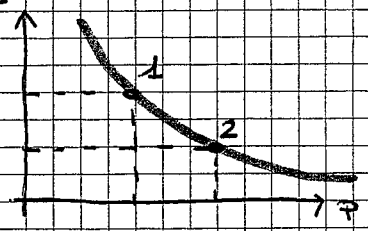
→ non ci sono effetti magnetici, elettrici, chimici, meccanici.

Questo genere di sistema si riferisce a sostanze chimicamente pure (un unico componente chimico → H_2, N_2, O_2), miscele omogenee (H_2O, aria, 80% N_2 e 20% O_2, CH_4, refrigeranti, acido cloridrico), ...

• lezione n° 2 02/10/2014

Diagramma di stato

Insieme dei punti che rappresentano lo stato fisico



1 (T_1, P_1)

2 (T_2, P_2)

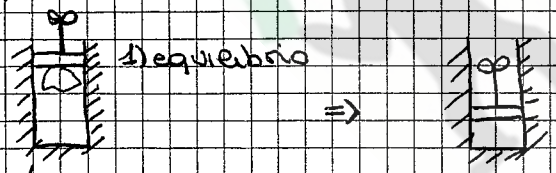
← Sistema in equilibrio

$v_1 = f_2(T_1, P_2)$ equazione di stato

$u_1 = f_2(T_1, P_1, v_1)$

Dal punto di vista matematico questa curva è una funzione continua, derivabile e integrabile.

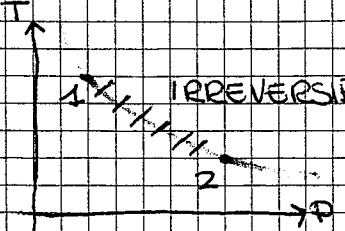
Dal punto di vista fisico ho preso un punto 1 e l'ho spostato in 2. Questa è una trasformazione del sistema. Passaggio da uno stato all'altro. Ogni punto compreso fra le 2 sono punti di equilibrio.
Se li conosco tutti i punti posso andare da 1 a 2 e da 2 a 1, in questo caso ho una trasformazione reversibile → è una trasformazione che passa attraverso stati di equilibrio.



↳ la pressione nella parte alta del pistone è inizialmente più alta che nella parte bassa.

→ Per avere una trasformazione reversibile dovremmo abbassare di poco il pistone.

Una trasformazione reversibile viene detta equilibrio quasi statica.



IRREVERSIBILE => i punti sono tutti undefiniti quindi non possiamo fare il percorso inverso.

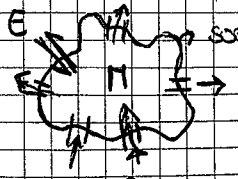
L'irreversibilità può essere attribuita al tempo

1 → 2 irreversibile

• irreversibilità meccanica → dovuta principalmente all'attrito

• irreversibilità termica

Sistema termo-dinamico



superficie di controllo < Pareti rigide $dV=0$ / o non ha pareti rigide (Deformabile) $dV\neq 0$

Apertura detta bocca, in questo caso l'ambiente scambierà con il mio sistema massa.
Bocca in uscita: prevede l'uscita di massa
Bocca in entrata

$\frac{dM}{dt}=0$ · Un sistema con $\Delta M=0$ (superficie senza bocche) sistema Chiuso

$\frac{dM}{dt}\neq 0$ · Un sistema con $\Delta M\neq 0$ (Superficie con bocche) sistema Aperto

$\frac{dE}{dt}=0$ · Un sistema con $\Delta E=0$ (Non scambia Energia) sistema Isolato

$\frac{dE}{dt}\neq 0$ · Un sistema con $\Delta E\neq 0$ (Scambia Energia)

Introduciamo la variabile tempo: variabile indiretta
- Se consideriamo un sistema chiuso ci facilita usare il tempo
- Se consideriamo un sistema aperto:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t}_{sist.}=\frac{\sum M_E}{\Delta t}-\frac{\sum M_U}{\Delta t}$$

"Fotografo" il mio sistema istante per istante ho delle derivate.

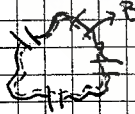
$dM/dt=\dot{m}\Rightarrow$ Portata $\left[kg/s\right]$

Portata perché si ha dei punti in movimento con una certa direzione

$$\frac{dM}{dt}=\sum_{n=1}^{n}\dot{m}_i-\sum_{n=1}^{p}\dot{m}_u$$

Bilancio di massa

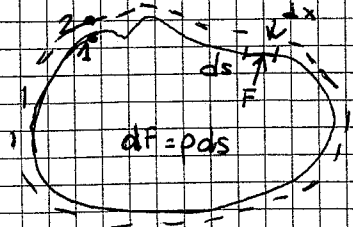
Volume di controllo: In un sistema aperto o chiuso il contorno della linea di controllo (Immaginaria) rappresenta il Volume del sistema.



Se il bilancio di massa = 0 ⇒ REGIME PERMANENTE

↳ Stato di moto che non cambia ma la macchina si muove.

LAVORO $L=\vec{F}\cdot\vec{s}$



$dL=F\,dx$

$dL=p\,dS\,dx$

$dL=p\cdot dV$

$$L=\int_1^2 pW$$

Lavoro di def. di un sistema idrostatico

$L=[J]$

$l=[J/kg]$

$$\dot{L}=\frac{dL}{dt}=\dot{L}=\frac{[J]}{[s]}=[W]$$

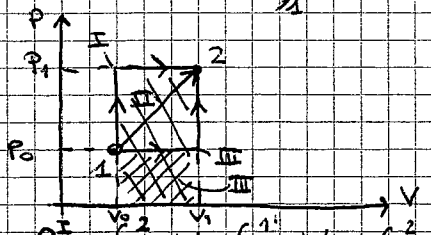
potenza { $\dot{m}_p$ / CV / CV_p

Il sistema tecnico deriva dall'acqua: $dkg_f=9.81\,N$

tra kW e kW/h c'è una differenza abissale

ℓ = lavoro specifico $\rightarrow \ell = \int_1^2 p\,dV$

ESERCIZIO



Il percorso che viene fatto per arrivare da 1 a 2 non cambia lo stato finale

$$\ell^{I}_{1-2} = \int_1^2 p\,dV = \int_1^{1'} p\,dV + \int_{1'}^2 p\,dV = p_1 (V_1 - V_0)$$

$$\ell^{III}_{1-2} = p_0 (V_1 - V_0)$$

$$\ell^{II}_{1-2} = p_0 (V_1 - V_0) + \frac{(p_1 - p_0)(V_1 - V_0)}{2}$$

⟶ Il lavoro in base al percorso varia ma lo stato fisico no

$d\ell$ = differenziale del lavoro, è effettivamente un differenziale esatto?

↳ No. ⇒ $\delta\ell$ o $đ\ell$ non è un differenziale esatto perché varia in base al percorso

Lezione n° 3 07/10/2014

I° Principio della termodinamica

Il lavoro compiuto a seconda della trasformazione che facciamo

$\delta\ell = p\,dV$ → lavoro di trasformazione

Sistema aperto a regime stazionario



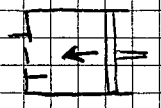
$L = \int p\,dV$?

Esempio "tecnico": lavoro di un compressore →



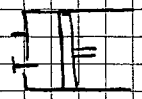
Il pistone si sposta indietro facendo entrare aria all'interno del cilindro.

↳ 1-2 Aspirazione



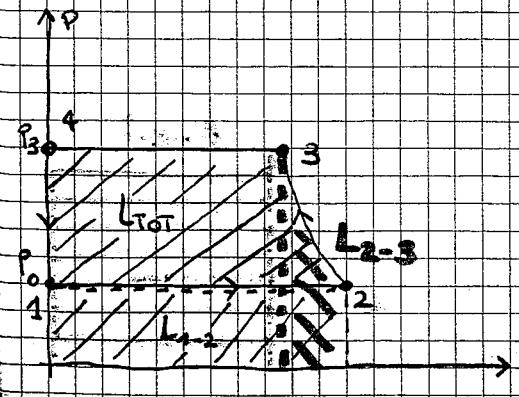
Il pistone si muove in avanti comprimendo l'aria. le valvole sono chiuse.

↳ 2-3 Compressione



Ad un certo punto si apre e l'aria esce dalla valvola

↳ 3-4 scarico



$$\Rightarrow L_{1-2} = \int_1^2 p\,dV = p_0 \cdot (V_2 - V_1)$$

$$L_{2-3} = \int_2^3 p\,dV = -\left| \int_2^3 p\,dV \right| \quad \text{(lavoro negativo}$$

$$L_{3-4} = \int_3^4 p\,dV = -p_3 (V_3 - V_4)$$

$$L_{TOT} = -\int_2^3 V\,dp$$

MASTER COPY
Tel. 050 8312126
Cell. 388 9837745