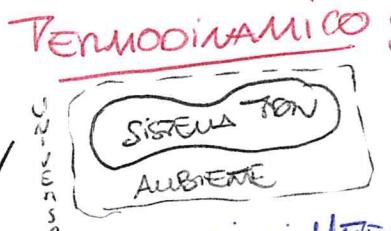
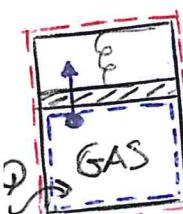


RIPASSO TERMODINAMICA *

SISTEMA



CHIUSO: esclusi scambi di MATERIA
Solo Scambio di ENERGIA



TERMODINAMICO: Partizione di "Mondo" costituita da un SISTEMA (es. volume di gas, blocchi solidi) DECERITATO DA UN CONTORNO (superficie di spessore infinitesimo)

APERTO: scambi di MASSA E ENERGIA

I SOLATI: non ci sono scambi di MASSA NE ENERGIA

VARIABILI TERMODINAMICHE: numero di GRANDEZZE FISICHE che descrivono IL SISTEMA

ESTENSIVE: ADDITIVE (UN SISTEMA COSTITUITO DA M SOTTOSISTEMI)
(MASSA, VOLUME ECC.) IL VALORE È UGUALE ALLA SOMMA IN OGNI SOTTOSISTEMA

INTENSIVE: Non godono della Proprietà ADDITIVA o Sono GRANDEZZE SPECIFICHE
Sono GRANDEZZE SPECIFICHE DIPENDENTI DALLA POSIZIONE NEL SISTEMA
SOTTO PROPRIETÀ ESTENSIVE CONSIDERATE →
 $T[K]$, $P[Pa]$, $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right]$, $u \left[\frac{J}{kg} \right]$, $a \left[\frac{J}{kgK} \right]$, $I \left[J/K \right]$

*GRANDEZZE SPECIFICHE

VOLUME SPECIFICO $N \left[\frac{m^3}{kg} \right]$

$$N = \frac{V}{M} \text{ Volume} \times \text{UNITÀ di MASSA}$$

→ poiché il MESES è continuo

$$N = \lim_{V \rightarrow V'} \frac{V}{M} \Rightarrow \text{VOLUME IN UN PUNTO } f(x, t)$$

SUFFICIENTEMENTE PICCOLO
DA CONTENERE UN NUMERO
GRANDE DI PARTICELLE

DENSITÀ $\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] \text{ MASSA} \times \text{UNITÀ di VOLUME}$

$$\rho = \lim_{V \rightarrow V'} \left(\frac{M}{V} \right) f(x, t)$$

$$M = \int \rho dV \Rightarrow \text{MASSA}$$

HP: DEL CONTINUO: Qualiasi Particolare del SISTEMA può essere divisa con continuità in Portioni SEGUITE + Piccole che consentono l'originale carattere del Continuo



Anche un VOLUME infinitesimo comprende un Numero di PARTICELLE molto grande

$$\text{Numero di Knudsen } Kn = \frac{\text{Libero Cammino MEDIO}}{\text{D.M. CARATTER.}}$$

SE $Kn < 0,01$ (ac HP: continuo)

PRESSIONE [Pa]: $P = \frac{F_m}{A} \rightarrow$ FORZA NOTANTE DOWNT A CONTRO UN'ESTERNA $\left[\frac{N}{m^2} \right] \rightarrow [Pa]$

1 bar = $10^5 Pa$

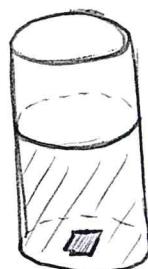
$P_{atm} = 101325 Pa$

→ ricaviamo la NOZIONE di Continuo (es. fluido)

$$P = \lim_{A \rightarrow A_{min}} \left(\frac{F_m}{A} \right)$$

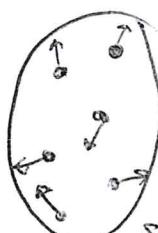
LA PRESSIONE È UNIFORME SE NON CI SONO SIGNIFICATIVI EFFETTI DELLA GRAVITÀ

PRESSIONE IDROSTATICA



PRESSIONE LOCALE
VARIA
Liquido: P SU FONDO
È DOWNT AL PESO
FORZA ESTERNA DOWNT AL CAUSO GRAVITAZIONALE

Bontà di Gas



PRESSIONE DEL SISTEMA
EFFETTO GRAVITÀ TRAScurabile

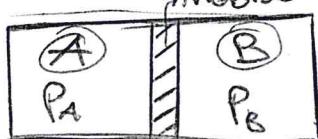
P → DOWNT AGLI INSIEMI DEGLI UNITI DELLE PARTICELLE SULLE SUPERFICI DELIMITANTI
GRANDEZZA DI TIPO STATISTICO

TEMPERATURA T

→ necessario introdurre il CONCETTO di Equilibrio Termooisotropo

EQUILIBRIO TERMOOISOTROPICO: STATO TERMOOISOTROPICO DI UN SISTEMA QUANDO LE VARIABILI TERMOOISOTROPICHE CHE LO DESCRIVONO SONO COSTANTI NEL TEMPO

EQUILIBRIO MECCANICO

↓
EQUILIBRIO DI FORZE E MASSIMI
es.


A e B sono in EQUILIBRIO
SE $P_A = P_B$

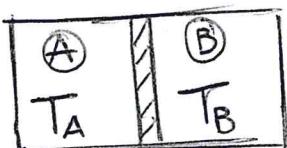
↓
ACQUIMENTI SERUBIO L

EQUILIBRIO CHIMICO

NO REAZIONI CHIMICHE
NO TRASFERIMENTO MATERIALE

EQUILIBRIO TERMICO

$$T_A = T_B$$



ACQUIMENTI SERUBIO Q

TEMPERATURA DEFINITA CAUSE INIZIALI DELL'EQUILIBRIO TERMICO MA DEI SISTEMI

Princípio zero della Termodinamica

Dati 3 sistemi A, B, C
 SE A in equilibrio con C
 SE B in equilibrio con C \Rightarrow A in EQ con B

PARETE DIATENICA: SE 2 SISTEMI MESSI IN CONTATO RAGGIUNGONO L'EQUILIBRIO TENUICO \Rightarrow PARETE DIATENICA
 condizione di contatto tenuico

PARETE ADIABATICA: SE I 2 SISTEMI NON RAGGIUNGONO EQUILIBRIO TENUICO
 (es. SITUAZIONE LIMITE REALIZZABILE X TESI FORSE)

SISTEMA ADIABATICO: SISTEMA CIRCONDATO DA PARETI ADIABATICHE

DEFINIZIONE DI TEMPERATURA (TERMOMETRI)

DEFINIZIONE OPERATIVA \rightarrow 2 condizioni

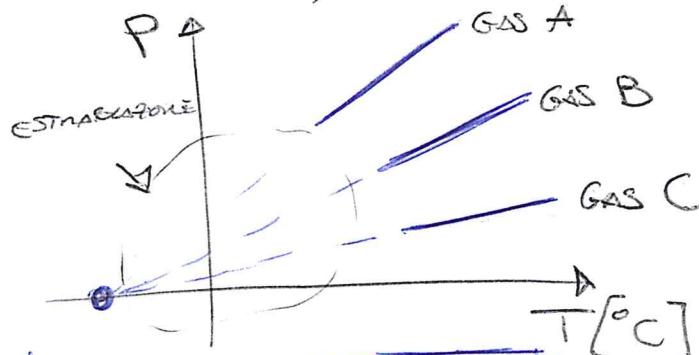
\exists UN SISTEMA IN UN STATO DI EQUILIBRIO
 RICONOSCIBILE E DEFINIBILE CON PRECISIONE A
 ATTRIBUITO UN VALORE ARBITRARIO
 DI TEMPERATURA \Rightarrow PUNTO FISSO (PUNTO TRIPLO)
 DELL'ACQUA

\exists UNA GRANDEZZA X CHE
 VARIA CON θ (TEMPERATURA)
 $\theta = \theta(X) \Rightarrow$ FUNZ. TENUICO
 CARATTERISTICA TERMOLOGICA

OPERATIVAMENTE si definisce il Pn. ZERO
 $T = 273,15 \text{ K}$

Consideriamo il termometro a GAS \rightarrow Burbo a volume costante con GAS (He, He-eth)

$V = \text{cost}$; P molto BASSA $\Rightarrow T = a + bP$ (gas perfetto)



SE ESISTE I PUNTI, LE NELLE CORRISPONDENTI AL PUNTO -273,15°C (ZERO ASSOLUTO)

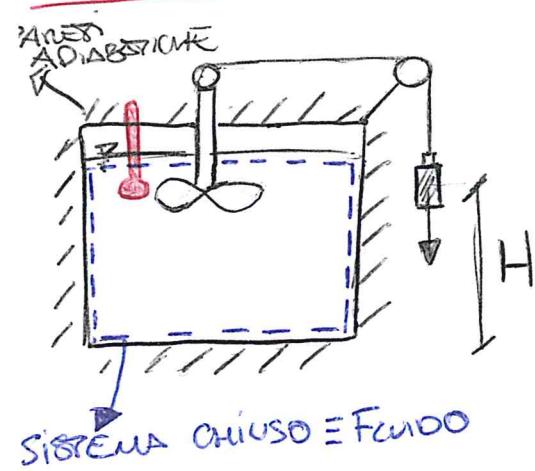
PUNTO FISSO
 $T[\text{K}] = T[\text{°C}] + 273,15$

$\Delta T[\text{K}] = \Delta T[\text{°C}]$

TEMPERATURA ASSOLUTA [K]
 $T = 273,15 \frac{P}{P_0}$

(3)

MULINELLO o Joule *



→ SE consideriamo la meccanica (conservazione Energia AL SISTEMA FLUIDO ---)

$$L = \Delta E_{\text{CINETICA}} + \Delta E_{\text{POT}}$$

VARIAZIONE Energia CINETICA → VARIAZIONE Energia POTENZIALE

$\Delta E_{\text{POT}} = 0 \rightarrow$ Banchetto non si è mosso

MA → $\Delta E_{\text{CINETICA}} = 0 \rightarrow$ il Fluido si ferma dopo un certo Δt

$L \neq 0 \rightarrow$ accanto Noto H

- Tuttavia nell'ESPERIMENTO si MISURA $\Delta T > 0 \Rightarrow ???$

Se si cambia il procedimento

- es. Compressione di un gas in sistema con pareti diatomiche
- es. Strofinamento 2 blocchi in acqua
- l'aumento di Temperatura è lo stesso, il Sistema è a una Temperatura Iniziale T_{in} e all'equilibrio è T_{fin}

Ponché il Sistema sia Adiabatico, il Lavoro è INDEPENDENTE dal TIPO di TRASFORMAZIONE che CONGIUNGE le STORI TERMOINIDENCE

$$L = \Delta U = U_{\text{fin}} - U_{\text{in}} [J] \quad \downarrow L \quad \begin{matrix} \downarrow \\ \text{FUNKTION DI STATI} \end{matrix}$$

$\hookrightarrow U$ FUNKTION CHE DIPENDE DALLO STATO DEL SISTEMA

→ l'AUMENTO di TEMPERATURA PUÒ ESSERE OTTENUTO TRAMITE SCARICO di CALORE (es. corpo caldo all'interno del Sistema senza scarico di calore / Azione meccanica)

$$\Delta U = Q [J] \quad \downarrow Q \quad \begin{matrix} \downarrow \\ \text{FUNKTION DI SCARICO DI ENERGIA} \end{matrix}$$

\downarrow ESISTE UN MECCANISMO di SCARICO DI ENERGIA CHE NON GESTISCE MOVIMENTI MACROSCOPICI → CALORE

- A PARITÀ DI ΔT , L È Proporzionale alla MASSA DEL SISTEMA

\Downarrow
U È GRANDEZZA ESTENSIVA

I° Principio TERMOIDINAMICO

- Consideriamo una Condizione Generale con SISTEMA che Scambi sia Lavoro che Calore con l'ambiente \Rightarrow ABBIANO L'HP. di SOBREPISTA

- Sperimentalemente si trova che: PER 2 STATI DI EQUILIBRIO A E B tali che EVOLVE IL SISTEMA (TRASFORMAZIONE A-B) Scambiando Calore e Lavoro con l'ambiente $\Rightarrow Q \in L$ dipendono dalla TRASFORMAZIONE A-B

\Rightarrow ~~Q + L~~ ^{SOMMA} ~~CA DIPENDONO DA~~ $Q + L$ È INDEPENDENTE DA
TRASFORMAZIONE $\downarrow L$ $+ \leftarrow Q$

$$L \downarrow \boxed{+ \leftarrow Q} * \boxed{\Delta U = Q + L} * \rightarrow \text{Primo Principio della Termodinamica}$$

• ESISTE una FUNZIONE DI STATO (ENERGIA INTERNA) a cui VARIAZIONE rappresentata Gli SCambi ENERGETICI DEL SISTEMA con l'ambiente durante una TRASFORMAZIONE \hookrightarrow NO INFO SU $Q \in L$

• in una TRASFORMAZIONE in cui si FORNISCE ENERGIA ($Q < 0$) l'ENERGIA RISPARMIATA è ASSORBITA SOTTO FORMA di U

L può essere RICHIAMATA
1° PTO NON FAE CLOTT CONCERNANTI ALLA RICHIAMAZIONE
 \hookrightarrow 2° Principio CIUTA A RICHIAMAZIONE di ENERGIA TERMICA

• ENERGIA INTERNA \rightarrow ENERGIA LEGATA A PROPRIETÀ INTERNE DEL SISTEMA (es. moto molecolare che dipende da P,T)

• Lavoro e Calore sono FORME di Scambio di ENERGIA
(lavoro, calore scambiati tra sistemi e non posseduti da un sistema)

• NEL CASO di TRASFORMAZIONE CICLICA $\Delta U = 0$ $L = Q$

\downarrow
SOMMA ALGEBRICA DEI VARI ^{TUTTI} SCAMBII

$$\boxed{\frac{\partial U}{\partial t} = L + \dot{Q} [W]} * \rightarrow \text{1° Pr. Termodinamico nell' UNITÀ di TEMPO}$$

FORMA DIFFERENZIALE

$$dU = dL + dQ \quad \text{Trasformazioni con variabili di stato che conservano qualità infinitesime}$$

DIFFERENZIALI SONO:

$$\Delta U = \int_A^B dU = U_B - U_A$$

DIFFERENZIALE NON ESISTE

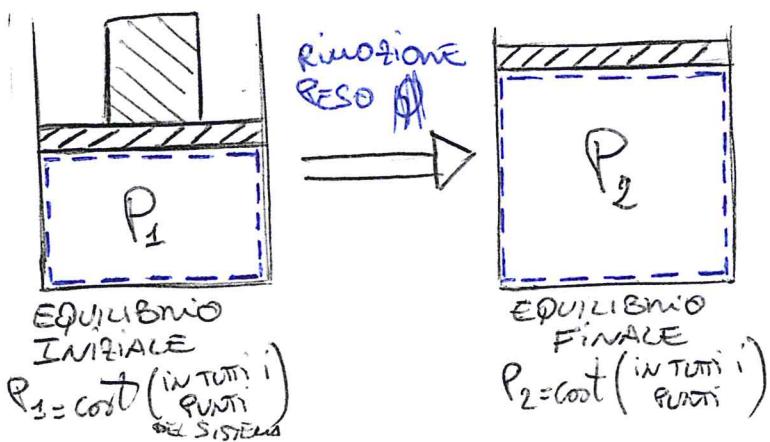
$$dU = dL + dQ$$

$$\text{da } Q_{AB} = \int_A^B dQ \rightarrow \begin{array}{l} \text{Devo conoscere} \\ \text{la funzione} \end{array}$$

TRASFORMAZIONI TERMOIDINAMICHE

SE C'È EQUILIBRIO INIZIALE NELLE PERTURBATORI (nuove condizioni ambiente, squilibrio interno) IL SISTEMA SUBISCE UNA TRASFORMAZIONE

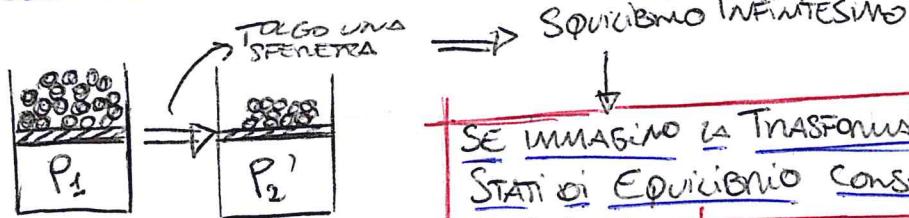
- Scambio di ENERGIA tra SISTEMA e AMBIENTE
- VARIAZIONE DELLO STATO del SISTEMA



* APPENA RIUSCO il PESO e PRESSIONE VARIA
BRUSCAZZANTE in PROSSIMITÀ DELLO STATUTO
 $\Rightarrow P \neq \text{cost}$ (LA PRESSIONE VARIA E)
PUNTO A PIATTO

Non posso IDENTIFICARE LO STATO DEL SISTEMA
con una SOLO GRANDEZZA MACROSCOPICA
Le molecole vicino allo STATUTO si accorgono
prima delle variazioni

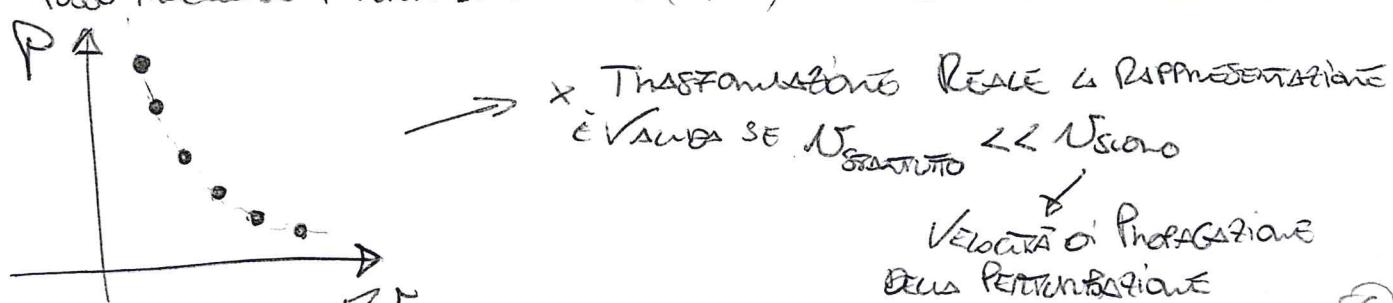
- MAGGIONE è lo SPULIBRIO + LA TRASFORMAZIONE È VELOCE
- DURANTE lo SPULIBRIO non riesco a DESCRIVERE il SISTEMA
- POSSO CONOSCERE STATO INIZIALE E FINALE DEL SISTEMA MA NON INTERMEDI
- POSSO CONOSCERE STATO INIZIALE E FINALE DEL SISTEMA MA NON INTERMEDI
- POSSO DETERMINARE ALCUNI EFFETTI CAPOSSERI [es. ΔU]



SE IMMAGINO la TRASFORMAZIONE come una successione di STATI DI EQUILIBRIO CONSEGUENTI AD UNO SPULIBRIO INFINTESIMO

* TRASFORMAZIONE QUASI-STATICA *

Posso tracciare i punti in un piano (P, V) → in ogni istante sono definite le coordinate termocinetiche



x TRASFORMAZIONE REALE e rappresentazione
è VERA se N STATUTO << Viscosità

Velocità di propagazione
della perturbazione

TRASFORMAZIONE REVERSIBILE

TRASFORMAZIONE CHE POSSONO ESSERE ESEGUITE IN ENTROVERSE LE DIREZIONI, CON LA STESSA
SUCCESSIONE DI STATI DI EQUILIBRIO PERCORSO IN SENSO INVERSO, DANDO LUOGO AGLI
SPESSI SCAMBII DI Q, L/C CON SENSO OPPOSTO

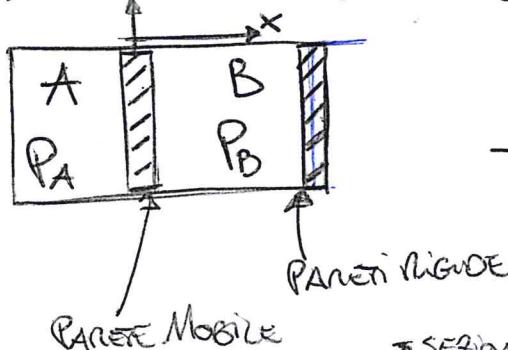
- SIA IL SISTEMA CHE L'AMBIENTE POSSANO ESSERE RIPORTATI ALLO STATO INIZIALE
SENZA CHE rimanga Traccia del PROCESSO

- TRASFORMAZIONE IRREVERSIBILE: NON RIESCE A RIPORTARE SIA IL SISTEMA CHE L'AMBIENTE
ALLE RISPECTIVE CONDIZIONI INIZIALI
↳ POSSO EVENTUALMENTE RIPORTARE IL SISTEMA ALLE
CONDIZIONI ~~AMBIENTALI~~ INIZIALI MA Non AMBIENTE

- x TRASFORMAZIONE REVERSIBILE \Rightarrow TRASFORMAZIONE QUASI-STATICA
(CONDIZIONE NECESSARIA MA)
NON SUFFICIENTE
↳ SQUILIBRIO INFINTESIMI
(P,T,m)

SE PRESENNA FORZE DISSIPATIVE \rightarrow IRREVERSIBILE
(es. attito cilindro)
NON SCAUSO STESSO L IN
DIREZIONI OPPOSTE
MA PIÙ ESSERE QUASI-STATICO

LAVORO * \rightarrow IN TRASFORMAZIONE REVERSIBILE



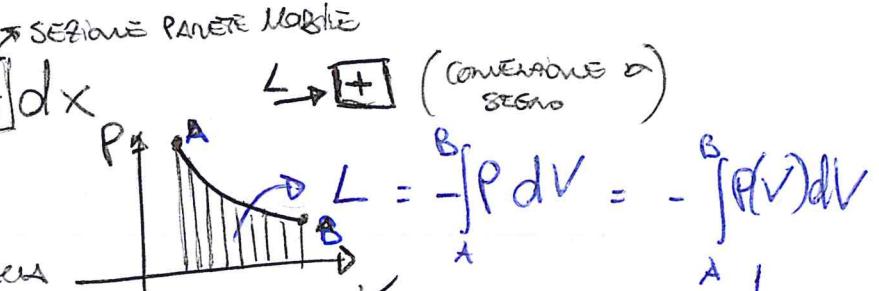
$$\rightarrow \text{DALLA MECANICA } L = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

NON È FUNZIONE DI STATO

$$SL = -F_x dx = -P \boxed{A} dx \quad \rightarrow + \quad (\text{CONVENZIONE } \alpha \text{ segno})$$

$$= -P dV$$

↳ PRESSIONE DEL SISTEMA



INTEGRALE ACCORDABILE
• SE CONOSCO LA FUNZIONE $P(V)$

• OPPURE È NOTA LA PRESSIONE ESTERNA

LA TRASFORMAZIONE PIÙ NON
ESSERE REVERSIBILE

$$L = P_{\text{EST}} (V_B - V_A)$$

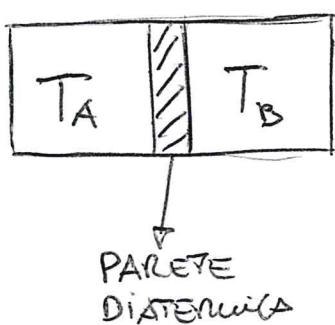
- x TRASFORMAZIONE ISOCORA ($N=0$) \Rightarrow LAVORO NULLO

LAVORO INTESO come AREA SOTTRASSA ALLA CURVA NEL PIANO P-V

• LA PARI STATO INIZIALE E FINALE IL LAVORO DIPENDE DALLA TRASFORMAZIONE

• SPESO IDENTIFICATO CON "W"

* CALORE *

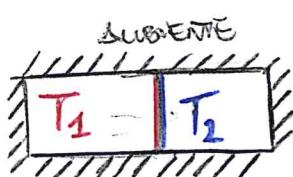


→ PARETE DIATERMICA
→ SQUILIBRIO INFINTESIMO

$$Q = \int_1^2 \delta Q [J] \quad Q \rightarrow + \quad q = \frac{Q}{M} \left[\frac{J}{kg} \right]$$

→ SCAMBIO DI Q AVviENE A CICLO MICROSCOPICO

* CALORIMETRIA *



- I CORPI A DIVERSE TEMPERATURE SONO A CONTATTO $T_1 > T_2$
- LA TEMPERATURA DI EQUILIBRIO $T_2 < T_E < T_1$
- I DUE CORPI NON SCAMBIANO LAVORO
- NO SCAMBIO DI CALORE CON L'SUBSTANCI (es. contenitore adiabatico)
- ENERGIA INTERNA DEL SISTEMA (2 corpi) RIMANE COSTANTE

- LO STATO THERMODYNAMICO DEI 2 CORPI CAMBIA \Rightarrow CAMBIA LA SUA ENERGIA INTERNA $\Delta U_1, \Delta U_2$
- SE $\Delta U = 0 \Rightarrow \Delta U_1 + \Delta U_2 = \Delta U = 0 \Rightarrow \Delta U_1 = -\Delta U_2$
- $\Delta U_1 = Q_1 \quad \Delta U_2 = Q_2 \Rightarrow \underbrace{Q_1}_{\substack{\text{CALORE CEDUTO} \\ \text{DA 1}}} = -\underbrace{Q_2}_{\substack{\text{CALORE ASSORBITO} \\ \text{DA 2}}}$

MISURARE IL CALORE SCAMBIAVO:

- 1 - si calcola Q_1 AD UNA MASSA DI ACQUA \rightarrow IMMERSO IL CORPO 1 FINO AD UNA VARIAZIONE DI TEMPERATURA $T_E - T_1 = \Delta T$ ($\Delta T_{H_2O} \neq \Delta T$)

- 2 - misura il lavoro W NECESSARIO \times PROVARE LO STESSO ΔT NELL'ACQUA \rightarrow ESPERIMENTO DI JULE

$$3 - |Q_1| = W$$

↓ cosa si NOTA?

ESISTE PROPORZIONALITÀ TRA Q SCAMBIAVO DA UN CORPO E LA MASSA DEL CORPO E LA SUA VARIAZIONE DI TEMPERATURA

$$Q = M \circlearrowleft (T_{fin} - T_{in}) \xrightarrow{\text{infinitesim}} dQ = m c dT$$

GRANDEZZA CARATTERISTICA DELLA SOSTANZA
(CALORE SPECIFICO)

CALORE SPECIFICO: CALORE DA SCAMBIAVO DA 1 kg DI UNA SOSTANZA, ALLA TEMPERATURA \times FARNE VARIARE LA TEMPERATURA DI 1 K ($1^\circ C$)

CAPACITÀ TERMICA: $C = c \cdot M \Rightarrow$ SORGENTE DI CALORE: CORPO CON CAPACITÀ TERMICA $\rightarrow \infty$ (SCAMBIA CALORE INFINITO ALLA STessa)

NEL CASO IN CUI IL CALORE SPECIFICO DIPENDA DALLA TEMPERATURA T

$$Q = \underset{T}{\overset{T_{fin}}{\int}} M \int dT dT$$

— SE LA TRASFORMAZIONE AVVIENE IN ATTRAVERSAMENTO DI LAVORO SCAMBIAZIO CON L'AMBIENTE $dW = 0$ $dQ = dU$

$$c = \frac{1}{M} \frac{dU}{dT} \quad (\text{es. scambio di calore tra due corpi di diverse } T) \\ \text{hosti in contatto}$$

— SE È CAVITATO L'AMBIENTE \Rightarrow CALORE SCAMBIAZIO DIPENDE DALLA TRASFORMAZIONE

\downarrow
Possibili diverse definizioni

REQUAZIONE STATO GAS PERFETTI *

$$\frac{\text{VOLUME SPECIFICO}}{P/N} = mRT \quad \text{TEMPERATURA [K]}$$

NESSUNA
m³/kg

\rightarrow GAS Perfetto: sistema le cui condizioni termodinamiche in uno stato di equilibrio obbediscono all'equazione di stato dei gas perfetti

$$\text{COSTANTE UNIVERSALE} = 8314 \text{ J/Kmol K}$$

• in un gas perfetto in equilibrio sono indipendenti solo 2 variabili

• Comportamento Gas Perfetto \Rightarrow Comportamento Lineare \times Temperatura ACTUALE e Pressioni BASSE (gas ideale)

\downarrow
in queste condizioni le differenze tra i gas scambiano

Forma alternativa:

$$P/N = R * T$$

VOLUME SPECIFICO $[m^3/kg]$

R $\frac{R}{M}$ MASSA MOLARE DEL GAS

CALORI SPECIFICI: \times una trasformazione generica posso usare una relazione del tipo $Q = M c (T_{\text{FIN}} - T_{\text{IN}})$ solo se identifico la trasformazione

$$c_v = \frac{1}{M} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_v$$

trasformazione infinitesima isotropa

\downarrow
calore specifico a volume costante

$$c_p = \frac{1}{M} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_p$$

trasformazione infinitesima isobara

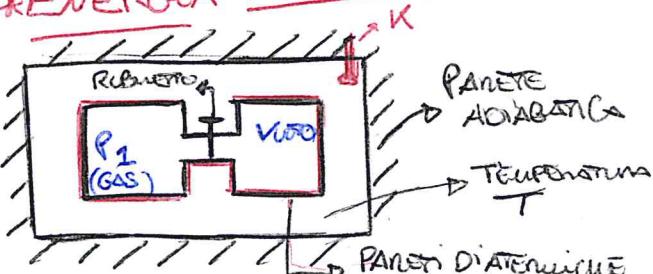
calore specifico a pressione costante

$$Q_v = M \int_{T_{\text{IN}}}^{T_{\text{FIN}}} c_v dT$$

$$Q_p = M \int_{T_{\text{IN}}}^{T_{\text{FIN}}} c_p dT$$

*ENERGIA INTERNA DEL GAS IDEALE *

\rightarrow ESPERIMENTO SUL'ESPANSIONE LIBERA (Joule)



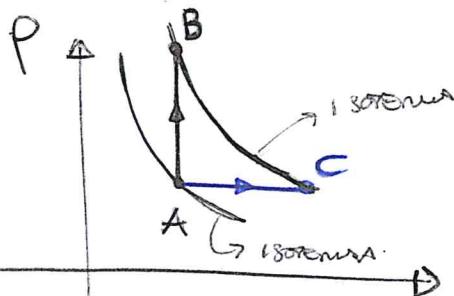
APERTURA RUBINETTO

- IL GAS OCCUPA TUTTO IL VOLUME
- ESPANSIONE LIBERA (non ci sono forze esterne)
- COSÌ SI OSSERVA
- LA TEMPERATURA NON CAPOBBIA
- IL GAS NON SCAMBIA CALORE

Applicando $\Delta U = Q + W \Rightarrow \Delta U = Q$ ($W=0$ perché niente) - in un'espansione libera c'è ENERGIA interna di un GAS IDEALE non calore

Poiché $V = kT \downarrow P \propto V \Rightarrow U$ deve essere funzione SOLO di T

→ consideriamo 2 trasformazioni $\xrightarrow{\text{AB}} \text{ISOCONA } T_B = T_C \xrightarrow{\text{AC}} \text{ISOBARICA}$



$$\Delta U = U_B - U_A = U_B - U_C + U_C - U_A = U_C - U_A$$

$U_B = U_C$ $\xrightarrow{\text{per}} U \propto \text{GAS IDEALE DIPENDE}$
solo da $T \in T_B = T_C$

✓ Trasformazione ISOCONA AB: $W = 0$ ($\Delta V = 0$) $\Rightarrow \Delta U = Q$

$$\Delta U = m \int_{T_A}^{T_B} C_V dT$$

$$\downarrow T_A$$

C_V può essere funzione solo di T (x GAS IDEALE)

✓ Trasformazione Gas ISOBARI \Rightarrow 1° Pn. NON: $dQ = mC_V dT + PdV$

$$Q = m \int_{T_1}^{T_2} C_V dT + \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

consideriamo in ISOBARICA e ISOCONA in cui ($T_B = T_C$) $T_B = T_C$:

$$Q_V = mC_V \Delta T = \Delta U$$

$$Q_P = mC_P \Delta T = \Delta U + W = \Delta U + P \frac{\Delta V}{\Delta V > 0} \quad \left. \begin{array}{l} \text{essendo } \Delta T \text{ costante e } U = f(T) \text{ allora} \\ \Delta U \text{ è costante} \Rightarrow Q_P > Q_V \end{array} \right.$$

* RECAZIONE DI ME/EN *

✓ ISOBARICA: $mC_P dT = mC_V dT + PdV$

DIFERENZA è l'EQ. STATO DEI GAS PERFESSI: $PV = RT$ $\Rightarrow m = \frac{PV}{RT} = \frac{m}{\frac{C_V}{C_P} + \frac{R}{C_P}}$ $\Rightarrow C_P = \frac{C_V}{C_V + R}$

$$PdV + VdP = mRdT$$

✓ ISOCONA $dP = 0 \Rightarrow PdV = mRdT$ (sostituisce)

$$mC_P dT = mC_V dT + mRdT$$

$$\boxed{C_P = C_V + R} \rightarrow \begin{array}{l} \text{x GAS IDEALE ANCHE} \\ C_P \text{ È FUNZIONE SOLO DI } T \end{array}$$

GAS PEFETTO \Rightarrow EQUAZIONE DI STATO $PV = mRT$

GAS IDEALE \Rightarrow GAS PEFETTO con C_p e C_v ~~ASSUNTI COSTANTI~~ COSTANTI

TRASFORMAZIONE POLINOMICA

TRASFORMAZIONE DI UN SISTEMA CHIUSO DESCRITTA DA UNA RELAZIONE PRESSIONE - VOLUME DEL TIPO:

$$PV^m = \text{costante}$$

m (ESPOENTE DELLA POLINOMICA)

$-\infty < m < +\infty$

• TRASFORMAZIONE ADIABATICA (es. GAS IDEALE TRAVERSATO IN UN CONTENITORE CON PARETI ADIABATICHE E SCAMBIA SANO CAPO, VARIAZIONI RAPIDE DI VOLUME)

$$m = \gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

$$W_{AB} = \Delta U = \overset{\text{m vole}}{m C_v} (T_B - T_A) \quad (\text{A \& B SISTEMI DI EQUILIBRIO})$$

$$\text{SE ESPANSIONE } W < 0 \quad \Delta U < 0 \quad T_B < T_A$$

$$\text{SE COMPRESSIONE } W > 0 \quad \Delta U > 0 \quad T_B > T_A$$

\rightarrow AGGIUNGO TUTTI GLI CONDIZIONI DI REVERSIBILITÀ (ADIABATICA REVERSIBILE)

$$dU - dW = mC_v dT + P dV = dQ = 0 \quad (\text{ADIABATICA})$$

APPUNTI L'EQUAZIONE DI STATO: $PV = mRT$

$$mC_v dT + \frac{mRT}{V} dV = 0$$

\Downarrow SEPARAZIONE VARIABILI

$$mC_v \frac{dT}{T} = - \frac{mRT}{V} \frac{dV}{V}$$

\Downarrow RELAZIONE MEYER

$$\frac{C_p - C_v}{C_v} \frac{dV}{V} = - \frac{dT}{T}$$

\Downarrow $\gamma = C_p/C_v$

$$(\gamma - 1) \frac{dV}{V} = - \frac{dT}{T}$$

\Downarrow COMBINARE OGNI STATO DI UN GAS IDEALE CONFERMARE UNA TRASFORMAZIONE ADIABATICA REVERSIBILE

\Downarrow INTEGRO A $\rightarrow B$

$$(\gamma - 1) \ln \frac{V_B}{V_A} = \ln \frac{T_A}{T_B}$$

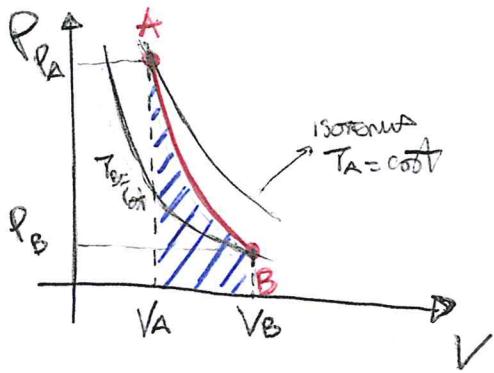
$$\ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right)^{\gamma-1} = \ln \frac{T_A}{T_B}$$

INDICE DELLA POLINOMICA

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

EQUAZIONE DI STATO

$$PV^{\gamma} = \text{costante}$$



$$W_{AB} = \Delta U = m c_v (T_B - T_A) \rightarrow$$

Lavoro x Trasformazione
ADIABATICA
REVERSIBILE o IRREVERSIBILE
x C_v COSTANTE (liquido/gas)

EQUAZIONE DI STATO GAS
+ RECENSIONE MEJEN

$$W_{AB} = m c_v \left(\frac{P_B V_B}{m R} - \frac{P_A V_A}{m R} \right) = \frac{1}{\gamma-1} (P_B V_B - P_A V_A)$$

$$W_{AB} = \int_A^B P dV$$

SE REVERSIBILE
(NO ATTINTO PISTONE)

(es. GAS IN UN CONTENITORE A CONTatto CON UN SANGUINETTE)
A TEMPERATURA T

• TRASFORMAZIONE ISOTERMA

$$m=1 \quad \Delta U = 0 \quad (\text{x un GAS IDEALE L'ENERGIA INTERNA DIPENDE SOLO DA } T)$$

$$Q = -W \quad \text{1° PR. TON}$$

• SE ESPANSIONE $W_{AB} < 0 \Rightarrow Q_{AB} > 0$ (il GAS CAPIE LAVORO E ASSORBE CALORE)

• SE COMPRESSIONE $W_{AB} > 0 \Rightarrow Q_{AB} < 0$

$$W_{AB} = - \int_A^B P dV = - \int_A^B \frac{m RT}{V} dV = -m RT \int_A^B \frac{dV}{V} = -m RT \ln \frac{V_B}{V_A}$$

↓
Lavoro x una Trasformazione
ISOTERMA REVERSIBILE (GAS IDEALE)

• x UNA TRASFORMAZIONE ISOTERMA REVERSIBILE SEMPRE $Q \neq 0$

• ESPANSIONE LIBERA FALE È ISOTERMA E ADIABATICA SOLO PERCHÉ È IRREVERSIBILE

• TRASFORMAZIONE ISOCONDITA (es. GAS CONTENUTO IN UN RECIPIENTE DIATMICO o VOLUME FISSO)

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W_{AB} = 0 \quad (\text{il contenitore può SCAMBiare SOLO CALORE})$$

$$Q = +\Delta U = m c_v (T_B - T_A)$$

$$\text{DALL'EQUAZIONE DI STATO} \quad \frac{P_A}{T_A} = \frac{P_B}{T_B} \Rightarrow \frac{P_A}{P_B} = \frac{T_A}{T_B}$$

↓
SE CECO CALORE AL GAS $\Rightarrow \Delta U > 0 \Rightarrow T_B > T_A \Rightarrow P_B > P_A$

- SE METTO IN CONTATTO GAS ALTA TEMPERATURA T_A CON UN SORGENTE A T_B



GAS RAGGIUNGE LA TEMPERATURA T_B CON UNA TRANSFORMAZIONE IRREVERSIBILE \Rightarrow NON C'È EQUILIBRIO TERMICO TRA SISTEMA E AMBIENTE

- X AVERE UNA TRANSFORMAZIONE REVERSIBILE:

- METTO IN CONTATTO IL SISTEMA A T_A CON SORGENTE A $T_A + dT$

- " $T_A + dT$ " $T_A + 2dT$ E COSÌ VIA CON UNA SERIE TEOREMATICAMENTE INFINTA DI PASSAGGI (SORGENTI)

- TRANSFORMAZIONE ISOBARICA (es. GAS CONTENUTO IN RECIPITÙ DISTENUTO CON PARTE MOBILE SU CUI AGISCE PRESSIONE ESTERNA P)

$$m = 0$$

• IL GAS SCAMBIA SIA CALORE CHE LAVORO

$$\cdot Q = m c_v (T_B - T_A)$$

$$\cdot W = -P(V_B - V_A) = -P \left(\frac{mRT_B}{P} - \frac{mRT_A}{P} \right) = -mR(T_B - T_A)$$

COSTANTE P EQ. STATO GAS FERMATO

$$\cdot \Delta U = m c_v (T_B - T_A) = Q + W$$

\Downarrow SE $Q > 0$ (CALORE CEDUTO AL GAS) $T_B > T_A \Rightarrow V_B > V_A$

$\Rightarrow W < 0$ (CALORE CEDUTO DAL GAS)

- X ESEGUIRE UNA TRANSFORMAZIONE ISOBARICA REVERSIBILE DEVO ESEGUIRE UN PROCEDIMENTO CON INFINITE SORGENTI COLE PER L'ISOBARICA

ENTALPIA: $H = U + PV$ FUNZIONE DI STATO POICHE U E PV SONO FUNZIONI DELLE COORDINATE TERMODINAMICHE

X GAS IDEALE $\Rightarrow U = f(T)$, $PV = f(T) \Rightarrow H = f(T)$

ENTALPIA DEL GAS IDEALE
FUNZIONE SOLO DI T

FORMULAZIONE DIFFERENZIALE: $dH = dU + d(PV) = dU + PdV + VdP = m c_v dT + d(mRT) = m c_v dT + mRdT = m q dT$

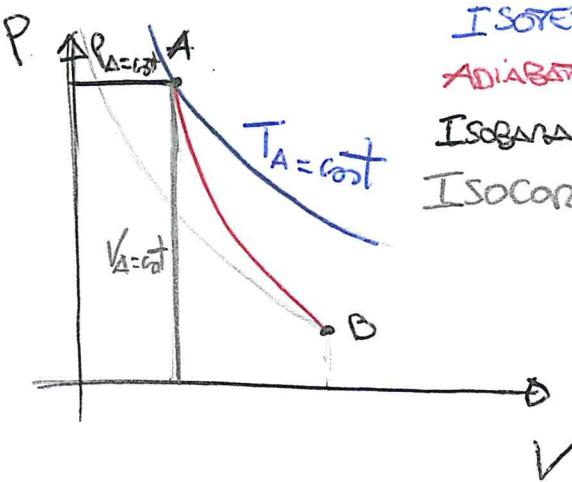
EQ. STATO
GAS IDEALE

RELAZIONE ENTALPIA

$$\Delta H = m \int_{T_A}^{T_B} q dT$$

X UNA TRANSFORMAZIONE ISOBARICA $Q = \Delta H \Rightarrow q = \frac{1}{m} \frac{\partial H}{\partial T}$

RAPPRESENTAZIONE NEL PIANO P-V



ISOTERMA \rightarrow IPERBOLE

ADIABATICA \rightarrow MIGLIORAMENTE INCAUTA ($\gamma > 1$)

ISOBARA \rightarrow LINEA ORIZONTALE

ISOCORA \rightarrow LINEA VERTICALE

TRASFORMAZIONI CICLICHE \rightarrow CICLI TERMOIDINAMICI

- SISTEMA TERMOIDINAMICO ESEGUE UNA TRASFORMAZIONE CHE CO RITORNI ALLO STATO INIZIALE
(TRASFORMAZIONE CICLICA o CHIUSA)

$$\Delta U = 0 \quad (U \text{ funzione di STATO}) \Rightarrow Q = -W \quad \begin{array}{l} \text{(1° Princípio Termodinamico)} \\ \text{INTESI CALE} \\ \text{SOMMA ALGEBRICA} \end{array}$$

\rightarrow SE $Q > 0$ (CALENTE FORNITO) $\Rightarrow W < 0$ (LAVORO ENERGIA) \Rightarrow MACCHINA TERMICA

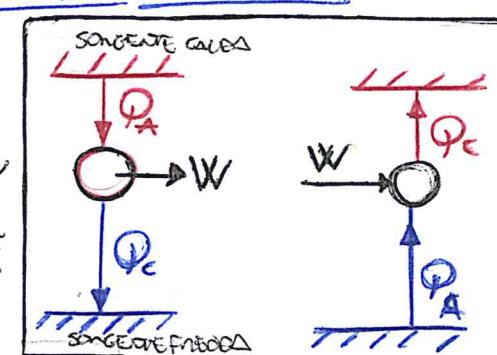
\rightarrow SE $Q < 0$ (CALENTE ASSorbito) $\Rightarrow W > 0$ (LAVORO ASSorbito) \Rightarrow MACCHINA FRIGORIFERA

CALENTE CAPPESSIVAMENTE SCARBITO:

$$Q = Q_A + Q_C$$

Sorgente CALORE
 ASSorbito
 > 0

Sorgente CALORE
 CEDUTO
 < 0



LAVORO CAPPESSIVAMENTE SCARBITO: $W = W_F + W_S$

Sorgente LAVORO FORNITO
 < 0

Sorgente LAVORO ASSorbito
 > 0

MACCHINA TERMICA
 MACCHINA FRIGORIFERA

\rightarrow RENDIMENTO:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_A} = \frac{Q_A + Q_C}{Q_A} = 1 - \frac{|Q_C|}{Q_A}$$

\rightarrow % DI CALENE ASSorbito CONVERTITA IN LAVORO

$0 \leq \eta \leq 1 \rightarrow$ LIMITAZIONE IMPOSTA DAL 1° PRINCIPIO

IL 2° PRINCIPIO PONTE AD UNA LIMITAZIONE DEL RENDIMENTO + STRINGERE

— IL 1° PRINCIPIO NON PONE LIMITI ALLA TRASFORMAZIONE DA CALORE A LAVORO