

TERMODINAMICA

STUDIO DEL BILANCIO ENERGETICO COMPLESSIVO DI UN PROCESSO FISICO

→ ESTENSIONE A SCambi DI ENERGIA NON MECANICI ES. CALORE

SISTEMA TERMODINAMICO: PORZIONE DI UNIVERSO OGGETTO DI STUDIO.



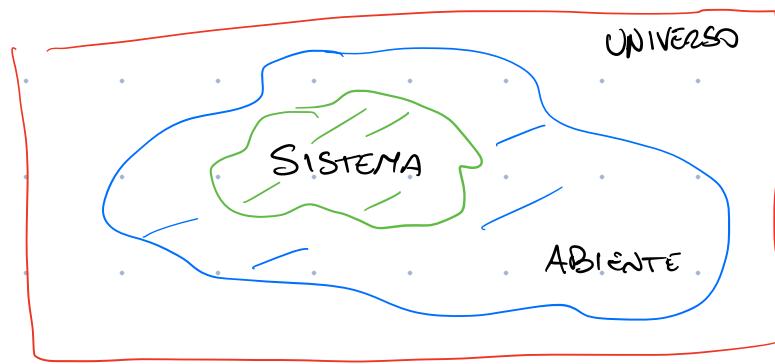
UNA O PIÙ PARTI

ES. VOLUME DI UN GAS, LIQUIDI IN
ETC. CON VAPORI ECC...

AMBIENTE: L'INSIEME DI PARTI CON CUI IL SISTEMA PUÒ INTERAGIRE

ES. CORPI A CONTATTO CON IL SISTEMA

UNIVERSO: SISTEMA + AMBIENTE



EQUILIBRIO TERMODINAMICO \Leftrightarrow VARIABILI TERMODINAMICHE CHE DESCRIVONO

IL SISTEMA (ES. PRESSIONE, TEMPERATURA, VOLUME) COSTANTI NEL TEMPO

→ UN SISTEMA RIMANE IN EQUILIBRIO SE NON CAMBIANO LE CONDIZIONI

ESTERNI

PER AVERE EQUILIBRIO TERMODINAMICO È NECESSARIO AVERE

- 1) EQUILIBRIO MECCANICO $\leftarrow \sum \vec{F} = 0$
- 2) EQUILIBRIO TERMICO \leftarrow TEMPERATURA COSTANTE E UGUALE IN TUTTE LE PARTI
- 3) EQUILIBRIO CHIMICO \leftarrow Nessuna REAZIONE CHIMICA

PRINCIPIO ZERO DELLA TERMODINAMICA

SE $A \in B$ SONO IN EQUILIBRIO TERMICO CON C $\Rightarrow T(A) = T(c)$

E $T(B) = T(c)$. ALLORA $A \in B$ SONO IN EQUILIBRIO TRA DI LORO

$$\Rightarrow T(A) = T(B)$$

TEMPERATURA

U.D.R. KELVIN [K]

\rightarrow ESISTE UN LIMITE INFERIORE \rightarrow 0 ASSOLUTO 0 K

\rightarrow NON ESISTE UN LIMITE SUPERIORE AL BIG BANG $T_{UNIVERSO} \approx 10^{38}$ K

con l'ESPANSIONE SI È RAFFREDDATO E ORA LA TEMPERATURA È ≈ 3 K

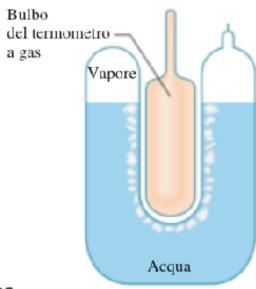
COME SI MISURA? SI SCEGLIE UN FENOMENO TERMICO RIPRODUCIBILE E, IN MODO

ARBITRAZIO, ATTRIBUIAMO UNA TEMPERATURA

A LIVELLO INTERNAZIONALE SI È SCELTO IL PONTE TRIPLO DELL'ACQUA. IN CUI

ACQUA LIQUIDA, GHIACCIO E VAPORI COESISTONO ALL'EQUILIBRIO TERMICO.

$$T_3 = 273.16 \text{ K}$$



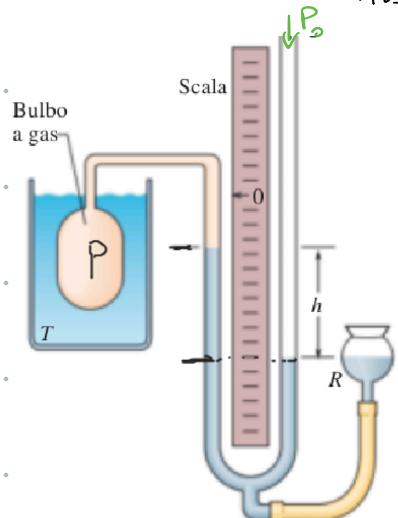
QUESTO PUNTO ESISTE SOLO PER UNA PRESSIONE DI 603,28 Pa

IL GRADO K È DEFINITO COME $\frac{1}{273,16}$ DELLA DIFFERENZA

DI TEMPERATURA TRA IL PUNTO TRIPLO DELL'ACQUA E LO ZERO ASSOLUTO.

TERMOMETRO A GAS A VOLUME COSTANTE

TERMOMETRO STANDARD



RISPETTO AL QUALE VENGONO TIRATI TUTTI I TERMOMETRI

SI BASA SULLA MISURA DI PRESSIONE ESERCITATA DA UN GAS A VOLUME COSTANTE

BULBO DI VETRO PIENO DI GAS

→ ALZANDO ED ABBASSANDO IL SERVATORE DI MERCURO

R SI PUÒ PORTARE IL LIVELLO DEL GAS ALLO 0 DELLA

SCALA GRADUATA ⇒ MANTENERE COSTANTE IL VOLUME DEL GAS!

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

PRESSIONE NEL
PIATTO DI VETRO

COSTANTE

$$T = CP$$

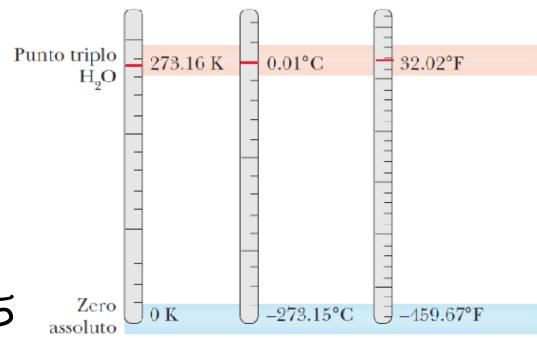
LA TEMPERATURA È PROPORZIONALE ALLA PRESSIONE

quando l'acqua è al punto triplo $\Rightarrow T_3 = C(P_3)$ → SI MISURA OSSERVANDO h

$$\Rightarrow C = \frac{T_3}{P_3}$$

$$\Rightarrow T = CP = T_3 \frac{P}{P_3} = 273,16 \text{ K} \frac{P}{P_3}$$

SCALE DI TEMPERATURA



SCALA CELSIUS $T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273.15$

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

DILATAZIONE TERMICA

TUTTI GLI OGGOTTI CAMBIANO DIMENSIONI AL CAMBIARE DELLA TEMPERATURA

ESEMPIO: BINARI DEL TRENO, ALLENTA FRESCO DEL TAPPO DI UN BARATTOLLO DI VETRO

DILATAZIONE LINEARE

SE LA T DI UNA BANCA METALLICA DI

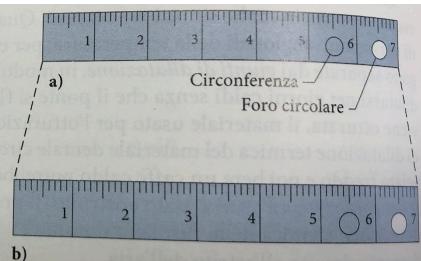
LUNGHEZZA L AUMENTA DI ΔT

$$\Rightarrow \Delta L = L \alpha \Delta T$$

α COEFFICIENTE

DI DILATAZIONE LINEARE $[K^{-1}]$

Figura 18.11 Lo stesso righello d'acciaio a due temperature diverse. Quando si dilata, la scala, i numeri, lo spessore e i diametri della circonferenza e del foro circolare aumentano tutti dello stesso fattore. (La dilatazione è stata esagerata per chiarezza.)



\rightarrow È come un ingrandimento fotografico

ESEMPIO



$$L = 2 \text{ m} \quad \text{ALLUNGAMENTO}$$

$$\alpha = 2.3 \cdot 10^{-5} \text{ } K^{-1}$$

$$T_{\text{giorno}} = 280 \text{ K} \quad T_{\text{notte}} = 110 \text{ K}$$

$$\Delta L = L \underbrace{\alpha}_{180 \text{ K}} \Delta T = 8.3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

DILATAZIONE VOLUMICA: LA DILATAZIONE AVVIENE IN TUTTE LE DIREZIONI DI UN SOLIDO.

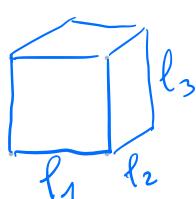
PER UN ΔT PICCOLO $\Rightarrow \Delta V = \beta V \Delta T$

\uparrow
VARIAZIONE
DI VOLUME

\uparrow COEFFICIENTE DI DILATAZIONE CUBICA $[K^{-1}]$

IN CASO DI SOLIDI ISOTROPICI $\beta = 3\alpha \Rightarrow \Delta V = 3\alpha V \Delta T$

DIMOSTRAZIONE



$$V = l_1 l_2 l_3$$

$$\Rightarrow V(T + \Delta T) = V + \Delta V = l_1 (1 + \alpha \Delta T) l_2 (1 + \alpha \Delta T) \times l_3 (1 + \alpha \Delta T)$$

$$= V (1 + \alpha \Delta T)^3 \underset{\substack{\uparrow \\ (1 + \alpha \Delta T)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 \alpha \Delta T + 3 \cdot 1 (\alpha \Delta T)^2 + \dots}}{\approx} V (1 + 3\alpha \Delta T)$$

$$(1 + \alpha \Delta T)^3 = 1^3 + 3 \cdot 1^2 \alpha \Delta T + 3 \cdot 1 (\alpha \Delta T)^2 + \dots$$

$\cancel{2 \ll 1}$

$$\approx 1 + 3\alpha \Delta T$$

CAORE

IL CALORE È L'ENERGIA TRASFERITA TRA UN SISTEMA E L'AMBIENTE IN CUI ESSO

SI TROVA A CAUSA DI UNA DIFFERENZA DI TEMPERATURA TRAESSI

ESEMPIO: UNA TAZZA DI CAFFÈ SI RAFFREDDA SE LASCIATO SUL TAVOLO

SISTEMA

AMBIENTE

IN QUESTO CASO $T_s > T_a$

\uparrow
TEMPERATURA
SISTEMA

\leftarrow T_a
AMBIENTE

T_s DIMINUISCE NEL TEMPO FINCHÉ NON ARDÀ IN EQUILIBRIO TERMICO CON

L'AMBIENTE \Rightarrow IL SISTEMA PERDE ENERGIA CEDENDO CALORE Q

TERMINOLOGIA $Q > 0$ SE L'ENERGIA È ASSORBITA DAL SISTEMA

$Q < 0$ " " " CEDUTA " "

NELL'ESEMPIO DEL CAFFÈ $Q < 0$

UNITÀ DI MISURA CALORE $[C_{AL}] = 4.186.8 \text{ J}$ ← È UN ENERGIA

QUANTITÀ DI CALORE PER AUMENTARE DI T DI 1g DI H₂O DA 15.5°C A 15.5°C

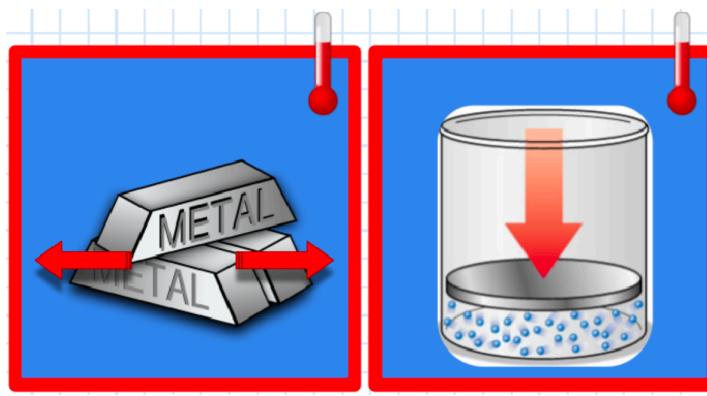
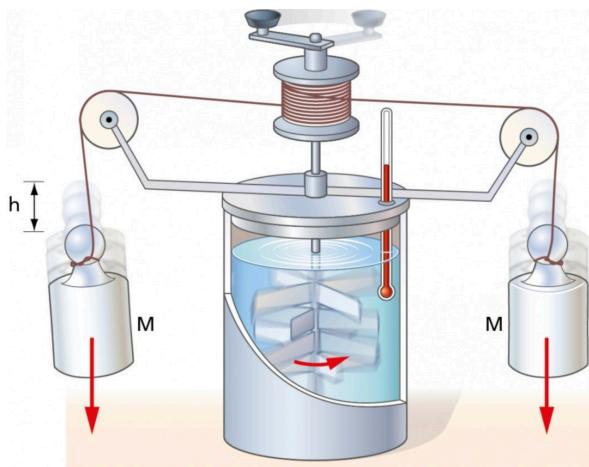
EQUIVALENZA CALORE - LAVORO

IL CALORE È ENERGIA E PUÒ ESSERE TRASFERITA TRA UN SISTEMA E L'AMBIENTE SOTTO FORMA DI LAVORO ATTROVERSO UNA FORZA CHE AGISCE SUL SISTEMA.

N.B. CALORE E LAVORO NON SONO PROPRIETÀ INTANSECHI DI UN SISTEMA! DESCRIVONO

SOLE UN TRASFERIMENTO DI ENERGIA.

ESPERIMENTI DI SOUZE



UN LAVORO MECCANICO (Ad esempio LA ROTAZIONE DI PALE, LO STROFINIO O LA COMPRESSIONE) CAUSANO UN AUMENTO DI TEMPERATURA.

$$\Rightarrow W \propto \Delta T$$

$$\Rightarrow W = -\Delta U = U_{\text{in}} - U_{\text{fin}} \quad (1)$$

LAVORO ADIABATICO
COMPIUTO SUL
SISTEMA

VARIAZIONE DELL'ENERGIA INTERNA

A LIVELLO MICROSCOPICO POSSIAMO IMMAGINARE CHE LE MOLECOLA DEL SISTEMA SI MUOVIANO PIÙ VELOCEMENTE (ENERGIA INTERNA)

LA STESSA VARIAZIONE DI TEMPERATURA POSSO OTTENERLA CON UN PROCESSO MECCANICO $W=0$, AD ESEMPIO SCALDANDO L'ACQUA CON UN FORNO!

IN QUESTO CASO SCRIBIO CALORE Q E OTTOGLIO UNA VARIAZIONE DI ENERGIA INTERNA

$$(2) Q_{W=0} = \Delta U$$

CALORE SCRIBITO
CON IL SISTEMA SENZA
LAVORO ESTERNO

$$\text{METTENDO INSIEME } (1) \text{ E } (2) \Rightarrow \begin{cases} W = -\Delta U \\ Q_{W=0} = \Delta U \end{cases} \Rightarrow Q_{W=0} = -W$$

Lavoro Esterno

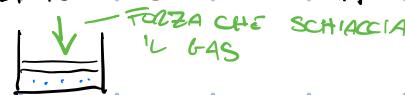
LAVORO IN UN SISTEMA TERMODINAMICO

UN SISTEMA PUÒ COMPIERE LAVORO MECCANICO. AD ESEMPIO UN GAS PUÒ SOLLEVARE UN PISTONE.

CONVENZIONE $W > 0$ SE IL SISTEMA COMPIE LAVORO

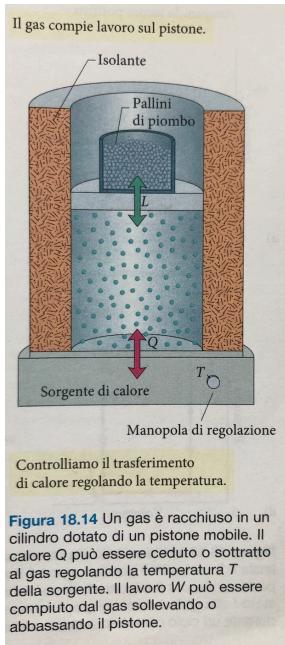


$W < 0$ SE LA VORO È COMPIUTO SUL SISTEMA



PER DESCRIVERE IL LAVORO COMPIUTO DA UN SISTEMA TERMO DINAMICO.

CONSIDERIAMO IL SEGUENTE SCENARIO



SISTEMA

IL GAS HA UNA PRESSIONE P , È APPOGGIATO SU UNA PIASTRA

CHE REGOLA LA TEMPERATURA (FORMANDO O TORNUENDO CALORE)

PIASTRA + PARETI + PISTONE = AMBIENTE.

SUPPOSIAMO DI TOGLIERE UNO AD UNO I PALLINI DI PIOMBO

⇒ LA PRESSIONE DEL GAS ESEZITA UNA FORZA $F = PA$

AREA PISTONE

CHE FA ALZARE IL PISTONE

SUPPOSIAMO CHE IL SPOSTAMENTO SIA PICCOLO $\Rightarrow dS$

IL LAVORO INFINITESIMALE È

$$dW = F \cdot dS = PA \cdot dS = P \cdot dV$$

dV VARIAZIONE
DEL VOLUME DI GAS

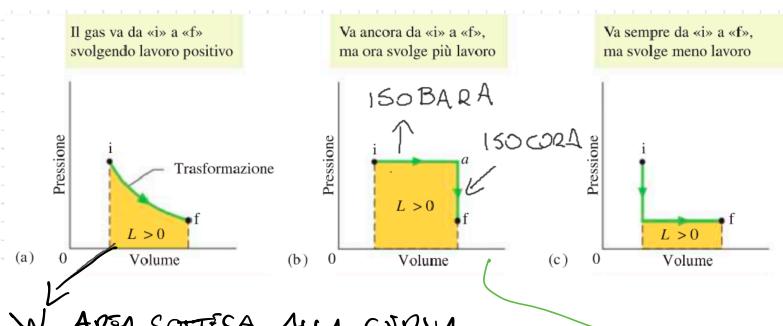
⇒ CONTINUANDO A RIMUOVERE PALLINI DI PIOMBO PASSIAMO DA UN VOLUME

V_i AD UN VOLUME V_f . IL LAVORO È

$$W = \int_{V_i}^{V_f} dW = \int_{V_i}^{V_f} P \cdot dV$$

LA PRESSIONE POTREBBE NON ESSERE COSTANTE
ANCHE LA TEMPERATURA POTREBBE CAMBIARE

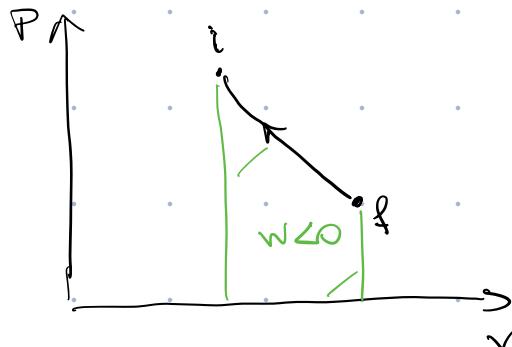
C. SONO MOLTI MODI PER PASSARE DALLO STATO INIZIALE A QUELLO FINALE



IL PIANO P-V È DETTO PIANO DI CLAPEYRON

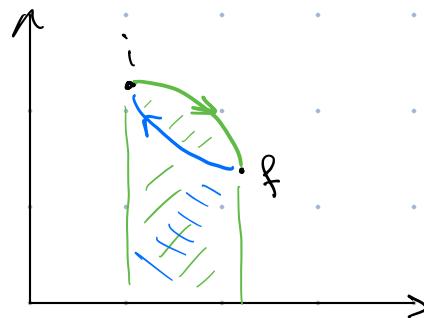
→ IL PASSAGGIO DA I AD II
FATTO A PRESSIONE COSTANTE
(Cambia la temperatura)

SI PUÒ PERCORRERE IL PASSAGGIO INVERSO



→ QUESTA CASO IL LAVORO È NEGATIVO $\Delta V < 0$
⇒ UNA FORZA ESTERNA COMPRENDE IL GAS ⇒ IL GAS
SUBISCE LAVORO.

SI PUÒ ANCHE FAR E UN CICLO



$$W_{\text{TOT}} = W_{i \rightarrow p} - W_{f \rightarrow i} > 0$$

SE AVESSIMO FATTO IL CONTRARIO ⇒ PRIMA DA I AD II LUNGO LA RIGA BLU E Poi

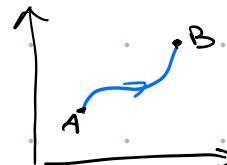
DI NUOVO AD I LUNGO LA VERDE IL LAVORO TOTALE SAREbbe STATO NEGATIVO

TRANSFORMAZIONI REVERSIBILI ED IRREVERSIBILI

REVERSIBILE : TRANSFORMAZIONI QUASI STATICHE SENZA FORZE DISSIPATIVE

SI PASSA TRA STATI DI EQUILIBRIO IN CUI SI POSSONO SEMPRE DEFINIRE

LE COORDINATE TERMODINAMICHE



IRREVERSIBILE : TRANSFORMAZIONI IN PRESENZA DI FORZE DISSIPATIVE E/0

PASSAGGI A STATI DI NON EQUILIBRIO

→ IN NATURA QUASI TUTTE LE TRANSFORMAZIONI SONO IRREVERSIBILI