

Cap 19- Termodinamica

La **termodinamica** ha per oggetto lo studio dell'energia termica che è collegata all'energia interna dei corpi. La temperatura, il cui concetto è intuitivo, rappresenta un livello dell'energia termica posseduto da un corpo. **La temperatura è una grandezza fondamentale del S.I. e si misura in Kelvin (K).** La scala Kelvin parte da un valore (zero assoluto)

19.2- Principio Zero della Termodinamica o dell'eq. termico

Se due corpi si trovano in equilibrio termico con un terzo corpo allora essi sono in reciproco equilibrio termico. **N.B.** Equilibrio termico significa che i corpi hanno la stessa temperatura

Tale principio (sperimentale ed intuitivo) ci assicura che due corpi a contatto per un tempo adeguato alla fine assumono la stessa temperatura.

Pertanto possiamo di fatto adottare il principio zero per misurare la temperatura. Supponendo

che uno dei due corpi (termometro) abbia una risposta (una variazione) visibile con la temperatura di una qualche grandezza fisica, posto a contatto con il corpo dato esso darà una risposta legato alla temperatura del corpo. Ponendo adesso lo strumento (termometro) a contatto con un terzo corpo, se la risposta è la medesima le due temperature sono uguali.

19.3 - Misura della temperatura

Scala Kelvin: attribuiamo alla temperatura corrispondente al **punto triplo** dell'acqua un valore di temperatura di 273,16 K (nel punto triplo coesistono i tre stati dell'acqua ed avvengono ad una particolare temperatura e pressione esterna). Altre scale di temperatura Celsius

$$T_c = (T - 273.15)^\circ C$$

Termometri: sono strumenti nei quali una grandezza fisica dipende dalla temperatura con legge nota. Misurando tale grandezza si misura indirettamente la temperatura.

19.5-Variazione con la T di lunghezza e volumi

Tra le grandezze che variano la temperatura vi sono lunghezza e volumi: $\Delta L = L\alpha\Delta T$ con α coefficiente di dilatazione lineare e per i volumi $\Delta V = V\beta\Delta T$ $\beta = 3\alpha$ è il coefficiente di dilatazione volumetrica.

19.6 - Temperatura e calore

Se prendiamo due oggetti a temperatura diversa e li poniamo in contatto si ha che dopo un certo tempo essi avranno la medesima temperatura. Diremo allora che una quantità **di calore** è passata da un corpo all'altro o in altre parole che una parte dell'energia interna di un corpo è stata trasmessa all'altra.

Definiamo **positivo il calore ricevuto** da un corpo

Definiamo **negativo il calore ceduto** da un corpo

La definizione corretta del calore è quella energia trasferita da un sistema all'altro a causa della differenza di temperatura tra essi. Si misura in Joule (è una energia) (o in calorie $1 \text{ cal} = 4.186 \text{ J}$)

Definizioni della Termodinamica

1. **Sistema termodinamico:** è il sistema che stiamo analizzando (costituito anche da vari elementi);
2. **Ambiente:** tutto ciò con cui può interagire il sistema termodinamico;
3. **Universo:** è l'unione del sistema termodinamico e dell'ambiente;
4. **Sistema aperto:** sistema termodinamico per il quale sono possibili sia scambi di energia che di materia con l'ambiente;
5. **Sistema chiuso:** sistema per il quale avvengono solo scambi di energia con l'ambiente;
6. **Sistema isolato:** sistema nel quale non sono possibili scambi di energia e di materia con l'ambiente;
7. **Variabili termodinamiche:** tutte le grandezze fisiche che definiscono lo stato di un sistema termodinamico (es. la T);

8. **Equilibrio termodinamico:** uno stato td. è di equilibrio td. se avvengono contemporaneamente tre tipi di equilibrio:
- eq. meccanico secondo quanto studiato in meccanica;
 - eq. chimico: non avvengono reazioni chimiche;
 - eq. termico;
9. **Trasformazioni termodinamiche:** sono le evoluzioni di un sistema td. da uno stato di equilibrio all'altro.

19.7-Assorbimento del calore, solidi e liquidi

Fornendo una certa quantità di calore ad un corpo si riscontra un aumento della sua temperatura secondo $Q = C \cdot \Delta T$ la costante **C** è detta **capacità termica del corpo** e risulta essere proporzionale alla sua massa. Pertanto viene definito un valore di capacità per unità di massa detto **calore specifico** del corpo dato da $C = c \cdot m$ per cui $Q = c \cdot m \cdot \Delta T = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$ e le unità di misura della c sono $(J/(Kg K))$

Calore latente

Nel passaggio di stato (solido-liquido-gassolo) le sostanze non cambiano temperatura, anche se scambiano calore. Infatti se il corpo è in prossimità del cambiamento di stato, se viene passato del calore ad esso, la temperatura non varia ma cambia lo stato del corpo. La quantità di calore necessaria al cambiamento di stato del corpo è detto **calore latente L** (per unità di massa) quindi il calore necessario a cambiare di stato

tutta una massa m di sostanza è $Q=mL$. Per l'acqua $L_V = 2260 \text{ kJ/Kg}$ per l'evaporazione e $L_F = 333 \text{ kJ/Kg}$ per la fusione.

Es. 19.3

Quanto calore occorre per far passare del ghiaccio di massa $M=720 \text{ g}$ e temperatura -10° C , allo stato liquido alla temperatura di 15° C ? ($c_g = 2220 \text{ J/KgK}$, $c_a = 4190 \text{ J/KgK}$, $Q_f = 333 \text{ kJ/Kg}$)

Dividiamo il processo in tre fasi

[Ghiaccio a -10° C] \rightarrow [Ghiaccio a 0° C] \rightarrow [fusione] \rightarrow
[acqua a 0° C] \rightarrow [acqua a 15° C]

Chiamiamo Q_1 il calore per la transizione del primo stadio: **In queste formule di scambio calore entrano solo differenze di temperatura e poichè $1\text{K} = 1^\circ \text{C}$ si possono usare indifferentemente tutte le temperature in **K** o in $^\circ \text{C}$ (non mischiate però)**

$$Q_1 = 2220 \times 0.72 \times (0 - (-10)) = 15984 \text{ J} = 15.98 \text{ kJ}$$

$$\text{Fusione (2-3 stadio): } Q_f = M \cdot L_F = 0.72 \times 333 \text{ kJ} = 240 \text{ kJ} \text{ (temp.} = 0^\circ \text{C)}$$

$$Q_2 = M c_A (T_f - T_i) \text{ con } T_f = +15^\circ \text{C} \text{ e } T_i = 0^\circ \text{C}$$

per cui $Q_2 = 0.72 \times 4190 \times 15 = 45.25 kJ$

$$Q_{tot} = Q_1 + Q_f + Q_2 = (45.25 + 240 + 15.98)kJ$$

19.8- Calore e Lavoro nei sistemi termodinamici

Consideriamo un cilindro con pistone nel quale vi è un gas. Questo è il nostro sistema termodinamico. La pressione del gas sul pistone è bilanciata dal peso aggiuntivo sul pistone fornito da un certo numero di pallini di piombo. Le pareti del cilindro sono **adiabatiche** ovvero non permettono passaggio di calore che invece può avvenire dalla base del cilindro che è in contatto con un serbatoio di calore a temperatura T regolabile.

Il sistema è inizialmente in equilibrio (termodinamico) ovvero il gas ha una certa pressione p_i , volume V_i ed una temperatura T_i . Vogliamo passare ad uno stato finale caratterizzato da un certo stato p_f, V_f, T_f .

Questa transizione tra i 2 stati è una trasformazione termodinamica. Durante tale trasformazione calore può passare al sistema o da esso essere ceduto, e lavoro può essere compiuto (quando il pistone si solleva) o subito dal siste-

ma (quando il pistone viene abbassato).

Se tali cambiamenti vengono effettuati lentamente (ad esempio togliendo 1 pallino di piombo per volta, per il lavoro) possiamo considerare che il sistema rimane costantemente in **equilibrio termodinamico** (se togliessimo invece molti pallini, non essendoci equilibrio **meccanico** allora non potrà esserci eq. termodinamico). Vediamo qual'è il lavoro compiuto, aggiungendo o levando pallini dal pistone di area A : se togliamo un pallino, il gas spinge verso l'alto, si avrà di conseguenza un piccolo spostamento verso l'alto del pistone ed il lavoro infinitesimo è $d\mathcal{L} = \vec{F} \cdot \vec{ds} = F ds = pAds$ ma $Ads = dV$ ovvero è pari alla variazione di volume di gas quindi $d\mathcal{L} = pdV$ e per trasformazioni finite:

$$\mathcal{L} = \int_{V_i}^{V_f} p dV$$

Ovviamente per il calcolo dell'integrale è necessario conoscere la legge con cui cambia p in funzione di V .

Un sistema può essere portato da uno stato ini-

ziale ad uno finale tramite infinite diverse trasformazioni: (vedi 2 esempi in figura) troveremo L e Q differenti a seconda del percorso scelto. Anche dalla definizione si può osservare che **il lavoro compiuto dal gas è > 0** quando il gas si espande ($dV > 0$) e < 0 quando si contrae

19.9- Primo Principio della Termodinamica

L e Q separatamente dalla particolare trasformazione termodinamica tuttavia si verifica sperimentalmente che $Q-L$ è la stessa (fissati stati iniziali e finali) qualunque sia il percorso scelto. $Q-L$ allora è legata ad un cambiamento di qualche proprietà interna al sistema che chiamiamo energia interna:

$$\Delta U = \Delta E_{int} = E_{fin} - E_{in} = Q - \mathcal{L} \quad \mathbf{1^\circ \text{ Principio Termodinamica}}$$

L'energia interna aumenta se trasferiamo calore al sistema e diminuisce se esso compie lavoro.

19.10- Trasformazioni termodinamiche

1. **Adiabatiche** Nelle trasformazioni adiabatiche il sistema è isolato $\Rightarrow Q = 0 \Rightarrow \Delta E_{int} = -\mathcal{L}$
2. **Isocore o a volume costante** $V = \text{costante} \Rightarrow dV = 0 \Rightarrow \mathcal{L} = 0$ per cui $\Delta E_{int} = Q$

3. **Trasf. cicliche** Stato iniziale e finale coincidono $\Rightarrow \Delta E_{int} = 0 (\Delta U = 0) \Rightarrow Q = \mathcal{L}$
4. **Espansione libera** la trasf. ad esempio che si ottiene togliendo tutti i piombi dal pistone, in questa trasformazione il gas si espande liberamente **quindi non compie lavoro** $\mathcal{L} = 0$, ma la trasformazione risulta essere anche adiabatica $Q = 0 \Rightarrow \Delta E_{int} = 0$ se misuriamo la temperatura del sistema troveremo che in questa trasf. si ha anche $T = \text{cost}$

Quest'ultima trasformazione non è tracciabile come diagramma ad es. in un piano pV perchè mancando l'equilibrio non sappiamo in qualunque istante (tra inizio e fine trasf.) in quale stato è il sistema. Questo tipo di trasformazione è **irreversibile**

Le trasformazioni sono reversibili quando il sistema passa attraverso una serie infinita di stati di equilibrio e senza dissipazioni sono **irreversibili** quando avviene percorrendo stati di non equili-

brio o in presenza di forze dissipative o entrabe
le cose.

19.11-Trasmissione del calore

Il calore è trasmesso in vario modo: per **conduzione** (contatto) possiamo definire allora il calore trasmesso nell'unità di tempo: $P_c = \frac{Q}{t} = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$ k è la conducibilità termica oppure per convezione e irraggiamento.