

IL MODELLO ATOMICO

Gli atomi e le molecole

Gli **atomi** sono i costituenti fondamentali della materia, e si legano fra loro per formare degli aggregati più complessi, le **molecole**, che possono essere costituite da atomi di specie diversa (ad es. la molecola d'acqua è formata da due atomi di idrogeno e da un atomo di ossigeno) o anche da atomi di una sola specie (ad es. una molecola di ossigeno è formata da due atomi di ossigeno).

Pesi atomici e pesi molecolari.

Le **masse atomiche** sono le masse degli atomi espresse in un'unità di misura definita come la dodicesima parte della massa dell'*isotopo* più leggero del carbonio: dire ad es. che la massa atomica del piombo è 207,19 significa che la sua massa è 207,19 volte più grande di quella della dodicesima parte dell'*isotopo* più leggero del carbonio.

Con questa unità di misura si esprimono anche le **masse molecolari**, che si ottengono sommando le masse atomiche degli atomi che le costituiscono.

Legge di conservazione della massa (o legge di Lavoisier)

In tutte le trasformazioni chimiche la somma delle masse dei reagenti è uguale alla somma delle masse dei prodotti.

La mole

Una mole indica un numero di grammi pari al peso molecolare di una sostanza: ad es. lo zolfo ha un peso molecolare pari a 32, per cui una mole di zolfo corrisponde a 32 g; una mole di ossigeno corrisponde anch'essa a 32 g (una molecola di ossigeno è formata da 2 atomi di ossigeno, il cui peso atomico è 16); una mole di acido solforico corrisponde a 98 g (essendo la formula dell'acido solforico H_2SO_4 , il suo peso molecolare sarà dato da $2*1 + 1*32 + 4*16 = 98$).

La legge di Avogadro

Una mole di un gas qualunque, mantenuto ad una pressione e ad una temperatura fissa, occupa sempre lo stesso volume.

Una mole di qualunque gas, a $0^\circ C$ e alla $P = 1 \text{ atm}$ occupa un volume pari a 22,4 l.

Ovvero, quando p e T sono fissate, *il volume di gas è direttamente proporzionale al numero di moli.*

Le forze intermolecolari

La **forza intermolecolare**, che tiene insieme le molecole di una sostanza solida ed impedisce che si allontanino l'una dall'altra, è una *forza di origine elettrica* dovuta alla combinazione di *attrazione* e di *repulsione elettrica* che si esercita fra le particelle cariche (protoni ed elettroni) che costituiscono gli atomi.

All'aumentare della distanza fra i centri delle molecole le forze intermolecolari diminuiscono; se viceversa le molecole sono vicine, le forze intermolecolari diventano repulsive.

Le molecole sono continuamente in moto e si agitano con un'energia che cresce con l'aumentare della temperatura del corpo: il loro incessante movimento viene indicato come **moto di agitazione termica**.

Gli stati di aggregazione della materia

Le molecole sono sottoposte a due diverse tendenze: la **forza di coesione**, che tende a mantenerle legate, e il **movimento di agitazione termica** che tende a farle allontanare l'una dall'altra.

- Se in una sostanza gli effetti delle forze di coesione sono dominanti rispetto all'energia cinetica delle molecole, abbiamo un **corpo solido** che non può spontaneamente cambiare forma (ha forma e volume propri).
- Se l'effetto delle forze di coesione è minore, e l'agitazione delle molecole è abbastanza energica perché essa prevalga, le molecole riescono a scorrere le une sulle altre senza che le distanze intermolecolari varino molto: un corpo **liquido non ha una forma propria, ma assume quella del recipiente che lo contiene**.
- Se l'energia di agitazione delle molecole è così grande da vincere completamente l'effetto delle forze di attrazione, le molecole si muovono liberamente in tutto lo spazio che hanno a disposizione: un **gas non ha dunque né forma né volume propri**. La pressione che esso esercita sulle pareti del recipiente che lo contiene è dovuta agli urti delle molecole contro le stesse.

I corpi solidi

I corpi solidi propriamente detti hanno una **struttura cristallina**: gli atomi sono disposti nello spazio secondo una struttura regolare (**reticolo**) che si ripete sempre uguale a se stessa.

Esistono anche corpi che, pur avendo molte proprietà uguali a quelle dei solidi, non hanno una struttura cristallina: un esempio di tali sostanze, dette **amorfe**, è il vetro. In realtà le sostanze amorfe non sono solidi, ma liquidi con una viscosità (attrito interno fra le molecole) molto alta.

Quando un corpo solido viene compresso oppure tirato, si deforma sempre, anche se spesso la deformazione è così piccola da non essere visibile.

- ✓ Se essa non supera un certo limite, il corpo riprende la sua forma primitiva non appena cessa l'azione della forza applicata, grazie ad una forza elastica direttamente proporzionale alla deformazione che ha subito.
- ✓ Se la deformazione supera un certo valore (**limite di elasticità**) i suoi effetti permangono nel corpo e in alcuni casi si ha anche la rottura. La proprietà di un corpo di deformarsi in modo permanente si chiama **plasticità**.

Notevoli deformazioni permanenti si possono ottenere nei metalli sottoponendoli a sforzi meccanici. I metalli possono quindi essere lavorati: ad es. in un laminatoio il metallo è assottigliato tramite due cilindri, mentre nella trafilatura è tirato attraverso fori di diametro sempre più piccolo per ottenere dei fili.

I corpi liquidi e i corpi gassosi

I costituenti di liquidi e gas (fluidi) hanno una notevole libertà di movimento (maggiore nei gas): i **liquidi** hanno però un *volume proprio* e sono *praticamente incompressibili*, mentre i **gas tendono ad espandersi e ad occupare tutto lo spazio a disposizione, ed hanno una *compressibilità molto elevata*.**

Per i fluidi, l'attrito che si genera quando una porzione di fluido scorre rispetto a quelle vicine è definita **viscosità** (un olio lubrificante è ad es. molto più viscoso dell'acqua).

La viscosità dei gas varia a seconda della temperatura e della pressione a cui sono sottoposti, ma in generale è molto più piccola di quella dei liquidi.

LA TEMPERATURA

La **temperatura** è una *misura di quanto un corpo sia caldo o freddo*: i nostri sensi ci forniscono soltanto un giudizio soggettivo (la sensazione di caldo o freddo ad es. varia a seconda dell'ambiente da cui si proviene), per cui occorre introdurre misurazioni oggettive, introducendo opportune scale termometriche: ad es. si pone uguale a *zero* la temperatura del ghiaccio fondente, e pari a *cento* quella dell'acqua bollente; la centesima parte di questo intervallo è definito **grado Celsius [°C]**.

Le temperature superiori allo zero sono espresse da numeri positivi, quelle inferiori da numeri negativi. La temperatura è una *grandezza scalare*.

Nel Sistema Internazionale (S.I.) la temperatura si misura in **kelvin [K]**, la cui relazione con i gradi Celsius è stabilita da

$$K = °C + 273,15$$

IL CALORE

Mettendo a contatto un corpo caldo ed uno freddo, dopo un po' di tempo essi raggiungono la stessa temperatura, intermedia tra le loro temperature iniziali: c'è un passaggio di calore dal corpo più caldo a quello più freddo.

Il **calore** è quindi *trasferimento di energia tra due corpi che si trovano inizialmente a diversa temperatura: il calore è dunque energia in transito*

L'energia interna di un corpo può essere aumentata, oltre che con l'apporto di calore proveniente da un corpo più caldo, anche tramite il lavoro compiuto da una forza esterna.

La capacità termica e il calore specifico.

L'afflusso di una stessa quantità di energia non provoca lo stesso aumento di temperatura in tutti i corpi.

Si definisce **capacità termica di un corpo** la *grandezza che misura quanta energia è necessaria per aumentare di 1 K (o di 1 °C, che è la stessa cosa) la temperatura del corpo*: è quindi data dal rapporto fra la quantità di energia ΔE che il corpo assorbe ed il corrispondente aumento di temperatura ΔT .

$$C = \frac{\Delta E}{\Delta T}$$

[joule/kelvin]

La capacità termica dipende dalla sostanza e dalla massa del corpo: ad es. per ottenere lo stesso aumento di temperatura su una massa maggiore è necessario fornire più energia, ovvero la *capacità termica è direttamente proporzionale alla massa*.

$$C = c m$$

calore specifico della sostanza di cui è costituito il corpo

Il **calore specifico** si misura in $\frac{J}{Kg K}$, o $\frac{Kcal}{kg K}$, ed esprime la *quantità di energia che è necessaria per alzare di 1K la temperatura di 1 kg di una determinata sostanza.*

L'energia che occorre fornire ad un corpo per aumentare la sua temperatura è quindi proporzionale al suo calore specifico, alla sua massa e alla variazione di temperatura:

$$\Delta E = c m \Delta T$$

Analogamente, l'energia che bisogna sottrarre ad un corpo per diminuirne la temperatura è $\propto c, m, \Delta T$.

Per l'**acqua** ad es. $c = 4186 \frac{J}{Kg K}$; ricordando l'equivalenza 1 cal = 4,186 J, oppure 1 Kcal = 4186 J, per l'acqua $c = 1 \frac{Kcal}{Kg K}$

La temperatura di equilibrio

Mescolando ad es. due liquidi a temperatura diversa, o immergendo in acqua un pezzo di metallo riscaldato, la temperatura finale di equilibrio dipende sia dalla massa dei corpi che dal calore specifico della sostanza da cui sono costituiti.

Come conseguenza del **principio di conservazione dell'energia**, *tutto il calore ceduto dal corpo più caldo è assorbito da quello più freddo.*

Consideriamo due corpi aventi rispettivamente m_1, T_1, c_1 e m_2, T_2, c_2 , posti in contatto per un tempo sufficiente perché si portino ad una temperatura T intermedia tra T_1 e T_2 . Si ipotizza che non ci sia dispersione di calore

Il corpo più caldo diminuisce la propria temperatura da T_2 a T , cedendo all'altro una quantità di calore pari a

$$\Delta E_2 = c_2 m_2 \Delta T_2 = c_2 m_2 (T - T_2) \quad \text{essendo } T < T_2, \Delta E_2 \text{ è una quantità negativa.}$$

Il corpo più freddo invece aumenta la propria temperatura da T_1 a T , ricevendo un quantitativo di energia pari a

$$\Delta E_1 = c_1 m_1 \Delta T_1 = c_1 m_1 (T - T_1)$$

In questo caso ΔE_1 risulta positivo; si tratta infatti di calore assorbito.

Nell'ipotesi di assenza di dispersione, il calore assorbito ΔE_1 è uguale, in valore assoluto, a quello ceduto ΔE_2 .

$$\implies \Delta E_1 + \Delta E_2 = 0 \quad \implies c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 m_2 (T - T_2) = 0$$

$$\implies T = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$$

Grandezze intensive e grandezze estensive

Si chiamano **estensive** quelle grandezze che dipendono dalla massa del sistema in esame; si definiscono **intensive** quelle grandezze i cui valori non dipendono in modo diretto dall'estensione del sistema stesso (es. temperatura, pressione, densità..)

Il potere calorifico

Il **potere calorifico** misura *quanto calore produce la combustione completa di una massa unitaria (o di un volume unitario) di combustibile.*

Si misura in J/kg (o **Kcal/kg**) per i combustibili solidi e liquidi, e in J/m³ (o **Kcal/m³**) per quelli gassosi.

Nella seg. tabella sono riportati i poteri calorifici derivanti dalla combustione di alcuni combustibili.

combustibile	Potere calorifico [J/kg]	Reazione chimica
Metano	$0,50 \cdot 10^8$	$\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
Benzina	$0,46 \cdot 10^8$	
Legno	$0,16 \cdot 10^8$	$\text{C} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2$

La propagazione del calore

Il calore è *energia che passa spontaneamente dai corpi più caldi a quelli meno caldi*, attraverso tre diversi meccanismi di propagazione

- **Conduzione**, caratteristico dei corpi solidi; consiste in una propagazione di energia attraverso gli urti delle molecole, senza che vi sia spostamento di materia.
- **Convezione**, caratteristico dei fluidi; il trasporto di energia è conseguente allo spostamento di materia.
- **Irraggiamento**; il calore si propaga da un corpo caldo ad uno lontano più freddo anche se tra essi c'è il vuoto.

La conduzione

Ponendo ad es. una sbarretta metallica su una fiamma, il calore fa aumentare l'energia cinetica delle molecole: *non vi è spostamento di materia ma solo di energia*.

Consideriamo una parete di cui riscaldiamo una faccia: la rapidità con cui il calore attraversa la parete è direttamente proporzionale alla differenza di temperatura ΔT e all'area S della parete, ed è inversamente proporzionale al suo spessore d

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \lambda S \frac{\Delta T}{d}$$

ΔE è la quantità di calore che fluisce attraverso la parete nell'intervallo di tempo Δt ; λ è una costante, detta **coefficiente di conducibilità termica**, dipendente dal materiale: quanto più il suo valore è alto, tanto più velocemente il calore fluisce attraverso la parete.

λ è molto grande per i metalli, mentre è piccolo ad es. per legno, vetro, ghiaccio, e praticamente trascurabile per i gas: per l'aria è ad es. 20.000 volte inferiore rispetto al rame.

Le sostanze con *elevato coefficiente di conducibilità termica* sono **buoni conduttori di calore**, mentre quelle con *basso λ* sono **isolanti termici**: il legno ed il vetro sono quindi ad es. isolanti termici.

Nella tabella seguente sono riportati i coefficienti di conducibilità termici di alcune sostanze

sostanza	$\lambda \left[\frac{\text{W}}{\text{m K}} \right]$
Rame	390
Vetro	0,9
Legno	0,2
Aria secca	0,025

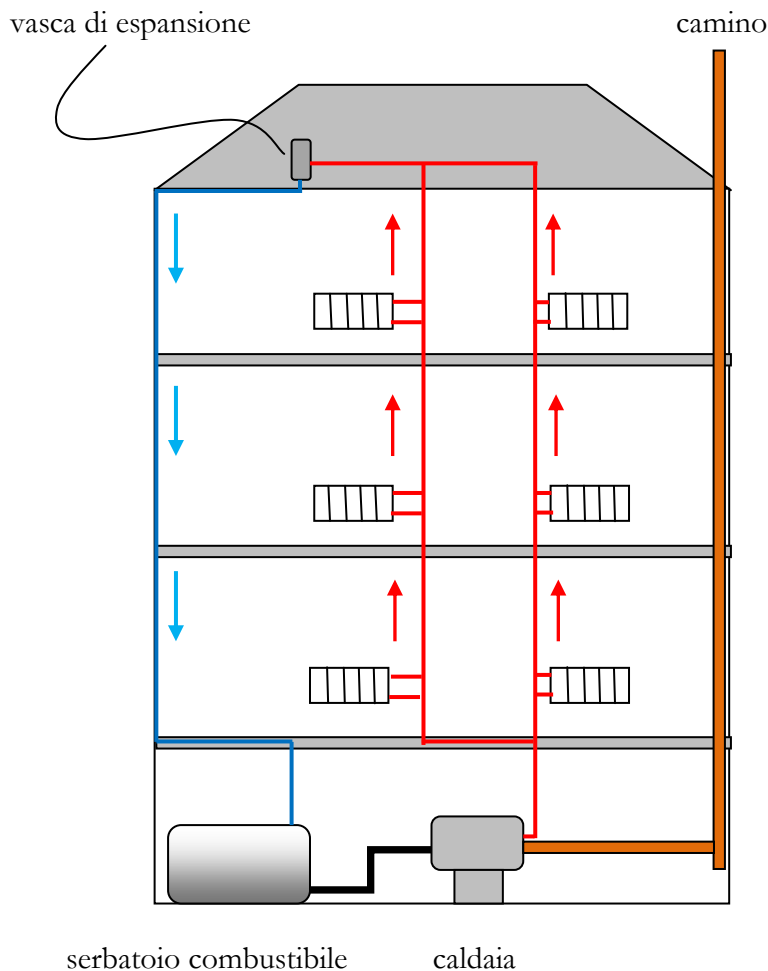
La convezione

I fluidi hanno un coefficiente di conducibilità termica molto basso, per cui ci vorrebbero ore per riscaldare uniformemente una pentola d'acqua su un fornello: la propagazione del calore è però resa molto più veloce dalla *convezione*.

Lo strato di acqua che si riscalda per primo è quello a contatto con il fondo, che si dilata e diventa pertanto più leggero, per cui sale verso l'alto: si formano così delle correnti convettive che producono un continuo rimescolamento del liquido.

In generale, in un fluido si ha *propagazione di calore per convezione* quando le *differenze di densità* fra le diverse parti del fluido (*dovute alle differenze di temperatura*) generano *correnti che trasportano il calore all'interno della massa del fluido*. La *propagazione di calore per convezione* è quindi dovuta ad un movimento di materia.

Gli impianti di riscaldamento a termosifone funzionano sfruttando i moti convettivi dall'acqua dentro le tubature: l'acqua riscaldata dalla caldaia sale, riscaldando i termosifoni (che essendo solidi si riscaldano per conduzione); l'acqua fredda torna in basso; i termosifoni trasmettono il calore all'ambiente per convezione (provocando correnti d'aria nelle stanze) ed in parte per irraggiamento. Spesso la circolazione dell'acqua viene resa più rapida da una pompa.



L'irraggiamento

Nei processi di conduzione e convezione è indispensabile la presenza di materia, ma *il calore si propaga anche nel vuoto*: ad es. l'energia irraggiata dal Sole (la cui temperatura superficiale è circa 6000°C), arriva attraverso lo spazio, praticamente privo di materia.

Tutti i corpi emettono ed assorbono *radiazioni elettromagnetiche*, che *si propagano nello spazio alla velocità della luce* ($\cong 3 \cdot 10^8$ m/s): poiché tali radiazioni trasportano energia, il loro assorbimento determina un

aumento dell'energia cinetica delle molecole e quindi della temperatura del corpo che assorbe le radiazioni.

La *quantità di radiazione dipende dalla temperatura del corpo irraggiante*, che influenza anche il *tipo di radiazione* emessa. Ad es. scaldando un pezzo di metallo, vediamo che a $\cong 1000\text{ }^\circ\text{C}$ si colora di rosso, a $\cong 1300\text{ }^\circ\text{C}$ di giallo e oltre i $1500\text{ }^\circ\text{C}$ di bianco: esso emette radiazione anche sotto i $1000\text{ }^\circ\text{C}$, ma sotto tale temperatura irraggia radiazione infrarossa, non visibile all'occhio umano.

La quantità di energia che assorbita da un corpo colpito da radiazioni dipende molto dallo stato della sua superficie: è minima se la superficie è chiara e lucida, mentre è massima se essa è nera.

Alcuni materiali, tipo il vetro e alcune plastiche, sono *trasparenti* alle radiazioni visibili mentre sono *opachi* per quelle infrarosse; sono usati per la costruzione di serre, in quanto permettono l'ingresso verso l'interno della luce solare, ma tendono ad intrappolare le radiazioni infrarosse emesse dagli oggetti dentro la serra, ostacolandone l'uscita: la temperatura all'interno della serra è quindi più elevata.

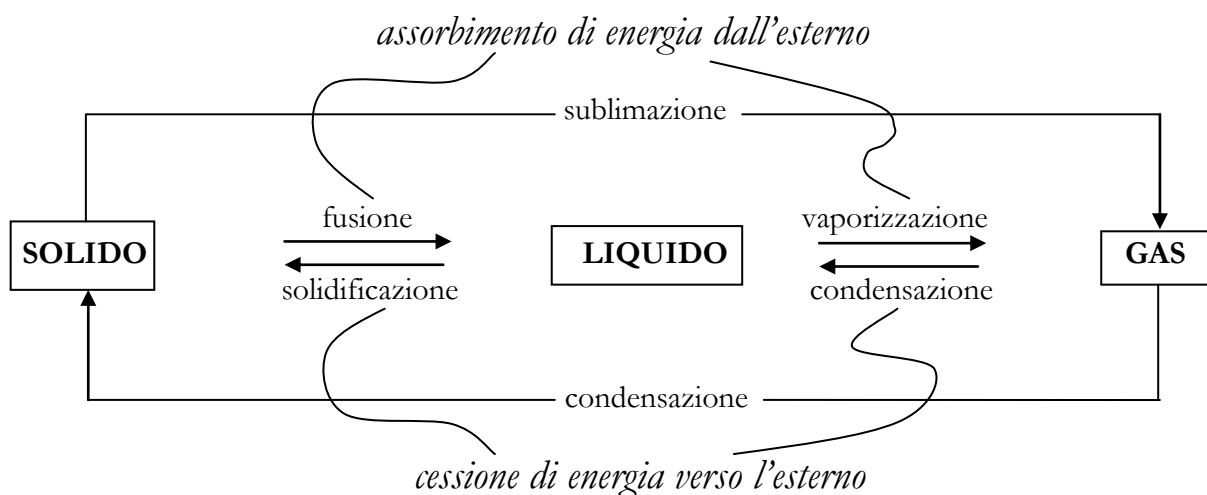
L'anidride carbonica (CO_2) che si trova nell'atmosfera ha un comportamento simile a quello del vetro: è trasparente alla radiazione luminosa proveniente dal Sole, ma tende ad impedire alla radiazione infrarossa emessa dalla Terra di disperdersi nello spazio, causando l'**effetto serra**. L'aumento della concentrazione di CO_2 , provocato soprattutto dalla deforestazione (le piante assorbono CO_2 e immettono ossigeno nell'atmosfera) e dai processi di combustione dovuti alle attività umane, determina un aumento della temperatura della superficie della Terra.

Non tutta l'energia del Sole teoricamente intercettabile dalla Terra (170 miliardi di MW) arriva sulla sua superficie, in quanto circa metà viene assorbita dall'atmosfera, oppure assorbita e riflessa dalle nubi: circa 75 miliardi di MW arrivano sulla superficie della Terra, e servono per riscaldare la crosta terrestre, per far evaporare le acque ... La Terra a sua volta irraggia nello spazio un'energia uguale a quella che assorbe, restando in equilibrio termico ad una temperatura che varia in modo apprezzabile solo su tempi lunghissimi. L'effetto serra è essenziale per il mantenimento di questo equilibrio, in quanto senza l'anidride carbonica la temperatura della Terra sarebbe di circa $-20\text{ }^\circ\text{C}$, e la vita non potrebbe sussistere. Però l'aumento rilevante della concentrazione di CO_2 comporta un innalzamento delle temperature, con fenomeni di desertificazione, scioglimento dei ghiacci, innalzamento del livello degli oceani: diventa pertanto indispensabile ridurre il consumo di combustibili fossili (petrolio, carbone, metano..) ed incrementare il ricorso alle cosiddette energie rinnovabili (solare, eolica, idroelettrica..)

I CAMBIAMENTI DI STATO

I passaggi tra stati di aggregazione.

Una sostanza può essere solida, liquida o gassosa a seconda della temperatura e della pressione a cui si trova.



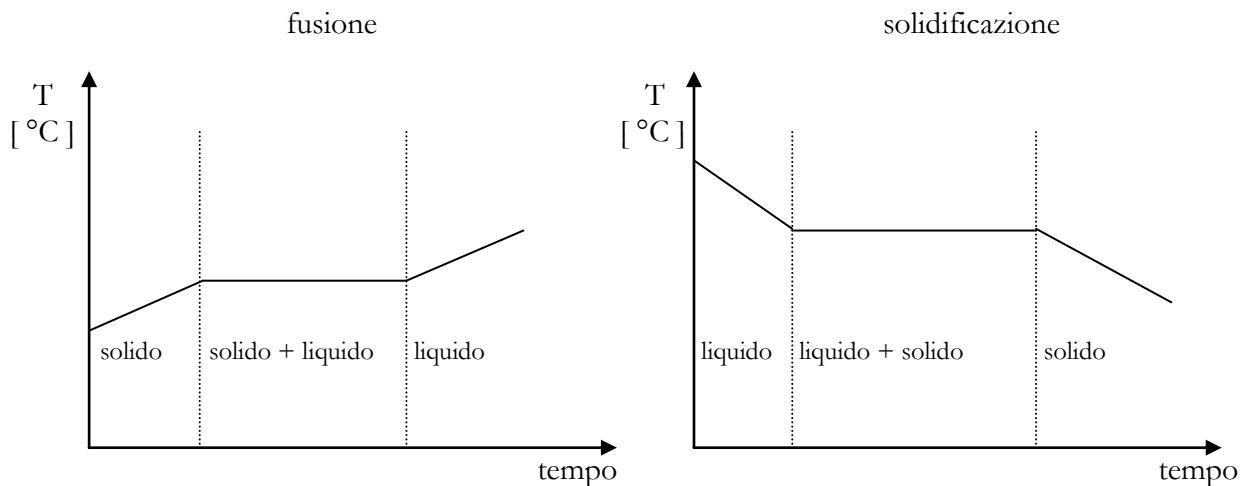
Quasi tutti i corpi all'aumentare della temperatura passano dallo stato solido a quello liquido e poi a quello gassoso: ad es. l'acqua, a pressione normale, è sotto forma di ghiaccio sotto gli 0 °C, allo stato liquido nell'intervallo 0-100 °C, e allo stato di vapore sopra i 100 °C.

Ogni passaggio di stato è accompagnato da assorbimento o emissione di energia: ad es. la fusione di un solido e l'evaporazione di un liquido richiedono energia dall'esterno, mentre la condensazione di un vapore e la solidificazione di un liquido cedono energia all'esterno.

Il passaggio ad uno stato in cui le molecole hanno maggiore libertà di movimento richiede cioè energia, mentre nei passaggi verso stati in cui le molecole sono più vincolate libera energia.

La temperatura di fusione e di solidificazione.

- A una data pressione, per ogni sostanza la fusione e la solidificazione avvengono a una temperatura ben determinata (**temperatura di fusione**)
- Durante tutto l'intervallo di tempo in cui avviene la fusione e la solidificazione di una sostanza la sua temperatura si mantiene costante



Il calore latente di fusione e di solidificazione.

Il **calore latente di fusione** di una sostanza è la *quantità di energia necessaria per fondere completamente l'unità di massa di quella sostanza*, quando essa si trova alla temperatura di fusione.

Il calore latente di fusione dell'acqua è $\cong 80$ Kcal/kg: ovvero, per far fondere 1 kg di ghiaccio occorrono $\cong 80$ Kcal, che possono essere forniti sotto forma di calore o di lavoro (ad es. per strofinio).

Per il *principio di conservazione dell'energia*, durante la *solidificazione* ogni kg di sostanza cederà all'ambiente la stessa quantità di energia che ha assorbito nel corso della *fusione*: infatti il **calore latente di solidificazione** è uguale, in valore assoluto, al calore latente di fusione.

Es. la quantità di energia necessaria per fondere completamente un cubetto di ghiaccio di massa $m = 10$ g, che si trova alla temperatura di 0°C è

$$\Delta E = 80 \text{ Kcal/kg} * 10^{-2} \text{ kg} = 0,8 \text{ kcal}$$

La vaporizzazione e la condensazione - calore latente di vaporizzazione.

La **vaporizzazione** è la *trasformazione di una sostanza dallo stato liquido a quello di vapore*. La **condensazione** è il processo inverso, cioè il *passaggio dallo stato di vapore allo stato liquido*.

Mettiamo un recipiente pieno d'acqua sul fuoco, a pressione atmosferica normale ($1,01 \cdot 10^5$ Pa): raggiunti i 100°C l'acqua inizia a bollire (100°C è la **temperatura di ebollizione** dell'acqua); la temperatura non aumenta più, ma rimane costante per tutto il tempo dell'ebollizione. Mentre prima dei 100°C il passaggio da liquido a vapore avviene solo sulla superficie del liquido (processo di **evaporazione**), durante l'ebollizione la formazione del vapore avviene tumultuosamente in tutta la massa del liquido.

Il **calore latente di evaporazione** misura la *quantità di calore necessaria per far passare la massa unitaria di una sostanza dallo stato liquido a quello di vapore, a temperatura costante.*

In condizioni normali di pressione il calore latente di vaporizzazione dell'acqua è di $\cong 538$ Kcal/kg: è circa sette volte più grande del calore di fusione, quindi per far vaporizzare una certa quantità di acqua occorre fornire sette volte più energia che per far fondere la stessa quantità di ghiaccio.

Se per ottenere la vaporizzazione di un liquido bisogna fornire energia, nel processo inverso, cioè nella condensazione del vapore, si libera energia: viene ceduta all'ambiente la stessa quantità di energia che (alla stessa temperatura) il liquido deve assorbire per vaporizzare. E' per questo che nelle giornate in cui nevicata la temperatura non è mai troppo rigida: la condensazione in neve del vapore acqueo contenuto nell'atmosfera avviene con emissione di calore, il che fa salire la temperatura dell'aria.

Il vapore saturo. Se il vapore che si forma sopra il liquido viene continuamente soffiato via, il processo di evaporazione continua; quando invece il vapore rimane sopra il liquido, avviene anche il ritorno di molecole di vapore nel liquido.

Dopo un po' di tempo il processo raggiunge uno *stato di equilibrio*, per cui in ogni secondo il numero di molecole che esce dal liquido è uguale a quello delle molecole che vi ritorna: l'ambiente diventa così **saturo di vapore**, ovvero il vapore ha raggiunto la *massima concentrazione permessa alla temperatura a cui si trova*. La pressione che il vapore esercita in queste condizioni si chiama **pressione del vapore saturo**.

La pressione del vapore saturo aumenta al crescere della temperatura, perché le molecole acquistano un'energia cinetica più alta per cui hanno una maggiore tendenza ad evaporare

Un liquido bolle quando la pressione del vapore saturo uguaglia la pressione esterna.

La condensazione e la temperatura critica.

Per condensare un gas si possono seguire due strade diverse:

- a) lo si può comprimere mantenendo costante la temperatura;
- b) lo si può raffreddare mantenendo costante la pressione

Sostanze quali ad es. idrogeno, ossigeno e azoto rimangono però allo stato gassoso, a temperatura ambiente, anche se sottoposte ad altissime pressioni: per ogni sostanza esiste infatti una **temperatura critica** *al di sopra della quale essa può esistere solo allo stato gassoso.*

- un **gas** è una sostanza aeriforme che si trova al di sopra della sua temperatura critica
- un **vapore** è una sostanza aeriforme ad una temperatura inferiore a quella critica

Quindi a temperatura ambiente l'ossigeno è un gas, mentre il vapore acqueo è appunto un vapore.

Il vapore acqueo nell'atmosfera.

L'atmosfera è composta essenzialmente di azoto ed ossigeno, oltre ad anidride carbonica, gas rari ... Fino a circa 10 km di altezza l'aria contiene anche vapore acqueo, in quantità continuamente variabile, derivante dalla evaporazione di mari, laghi etc. che, condensando, dà origine a nubi, pioggia, neve ...

La quantità di vapore acqueo che si trova nell'aria può variare molto, ma *in nessun caso la sua pressione può superare la pressione del vapore saturo alla temperatura dell'aria: se ciò accade, il vapore si condensa in goccioline* (nuvole o nebbia).

Si chiama **umidità relativa dell'aria** il rapporto fra la pressione effettiva p del vapore acqueo e la pressione p_{H_2O} del vapore saturo dell'acqua a quella temperatura (ricavabile da tabelle).

$$R_H = \frac{p}{p_{H_2O}}$$

umidità relativa pressione effettiva del vapore acqueo
 pressione del vapore saturo alla data temperatura

Es. la pressione del vapore d'acqua, in un certo luogo ed alla temperatura di 20 °C, sia $1,4 \cdot 10^3$ Pa; dalla tabella rileviamo che a 20 °C la pressione del vapore d'acqua saturo è $p_{H_2O} = 2,3 \cdot 10^3$ Pa. L'umidità relativa sarà pertanto

$$R_H = \frac{p}{p_{H_2O}} = \frac{1,4 \cdot 10^3 Pa}{2,3 \cdot 10^3 Pa} = 0,61 = 61\%$$

Le misure di umidità vengono eseguite tramite strumenti chiamati *igrometri*.

Nebbia, neve, rugiada, brina.

Se in condizione di vapore d'acqua saturo la temperatura diminuisce, il vapore si condensa formando minutissime goccioline o cristallini di ghiaccio che, nel loro insieme, costituiscono le *nebbie* e le *nuvole*.

Quando una nuvola è a bassa temperatura, si formano le *precipitazioni* (*pioggia* o, quando la temperatura a terra è sotto zero, *neve*).

La condensazione del vapore d'acqua dell'atmosfera, sotto forma di goccioline, sulla superficie del suolo, quando questa si sia raffreddata intensamente, porta alla formazione della *rugiada*; se la temperatura del suolo è inferiore a 0 °C si forma invece la *brina* (passaggio diretto dallo stato di vapore allo stato solido).

Sublimazione. È il passaggio diretto dallo stato solido allo stato aeriforme. In condizioni ordinarie la sublimazione della maggior parte dei solidi è praticamente nulla, perché la pressione del loro vapore saturo è piccolissima. Fanno eccezione alcuni solidi tipo la naftalina, che hanno un'alta tensione di vapore anche a temperatura ordinaria.

IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

La **termodinamica** studia i sistemi dal punto di vista degli scambi di energia, sotto forma di calore e lavoro, con l'ambiente esterno.

La termodinamica studia le leggi con cui i corpi scambiano (cedono e ricevono) lavoro e calore con l'ambiente che li circonda.

In particolare, la termodinamica si occupa della trasformazione di calore in lavoro che ha luogo in tutti i motori termici (motore a scoppio, motore a reazione, macchine a vapore..).

La termodinamica è fondata su due principi generali (**principi della termodinamica**).

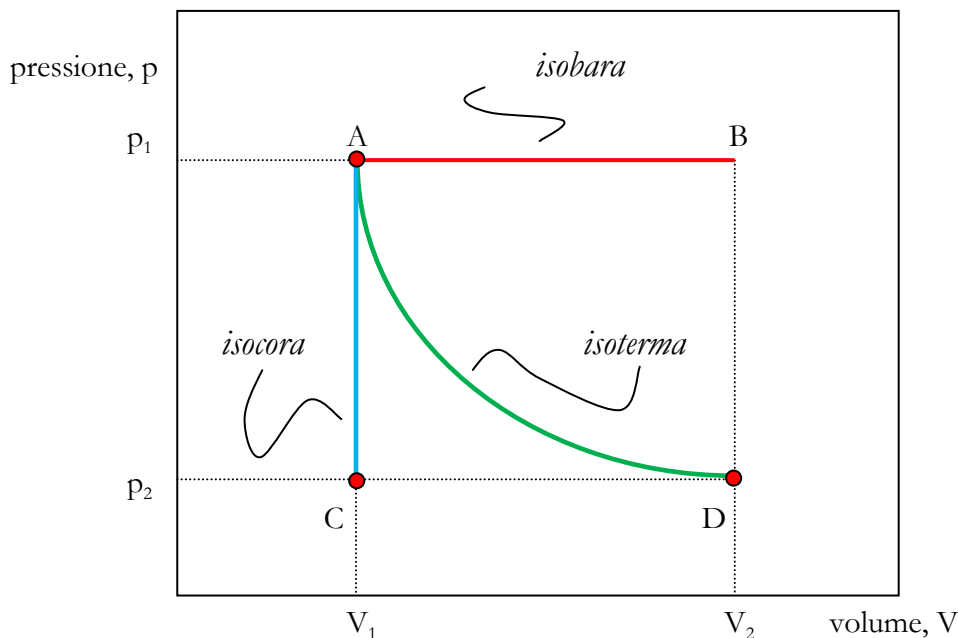
- Il primo principio della termodinamica è un'estensione della legge di conservazione dell'energia meccanica, che tiene conto non solo del lavoro ma anche del calore.
- Il secondo principio della termodinamica stabilisce precise limitazioni alla possibilità di trasformare il calore in lavoro.

I sistemi termodinamici.

Si chiama **sistema termodinamico** un sistema fisico che viene studiato dal punto di vista degli scambi di calore e lavoro. In termodinamica si chiama **fluido omogeneo** qualunque corpo il cui comportamento sia regolato da un'equazione di stato, cioè da una relazione che, noto il numero n di moli del fluido, leghi fra di loro le tre grandezze T , p e V (*variabili termodinamiche*).

Qualunque *stato di equilibrio* del fluido omogeneo è rappresentato da un punto in un diagramma pressione-volume: ad es. un punto A nel diagramma p-V rappresenta uno *stato termodinamico* del sistema "fluido omogeneo", caratterizzato da una pressione p_A , da un volume V_A e da una temperatura T_A .

Le trasformazioni termodinamiche



- Le **trasformazioni isobare** sono quelle che avvengono a pressione costante: nel diagramma p-V sono rappresentate da un segmento parallelo all'asse delle ascisse.
- Le **trasformazioni isocore** sono quelle che avvengono a volume costante: nel diagramma p-V sono rappresentate da un segmento parallelo all'asse delle ordinate.
- Le trasformazioni isoterme sono quelle che avvengono a temperatura costante: la rappresentazione di una trasformazione isoterma nel diagramma p-V dipende dal tipo di fluido omogeneo; per un gas perfetto è rappresentata da un arco di iperbole equilatero.

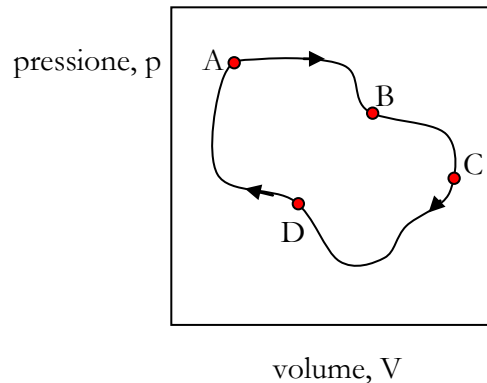
Le sorgenti di calore.

In termodinamica, si chiama **sorgente di calore** un sistema fisico capace di mantenere una temperatura fissata qualunque sia la quantità di calore che esso cede o acquista.

Trasformazioni adiabatiche e cicliche.

- ✓ Le **trasformazioni adiabatiche** sono trasformazioni che avvengono senza scambio di calore tra il sistema fisico in esame e l'ambiente esterno.

- ✓ Le **trasformazioni cicliche** sono *trasformazioni in cui lo stato di partenza coincide con quello finale*: nel diagramma p-V sono rappresentate da linee chiuse.

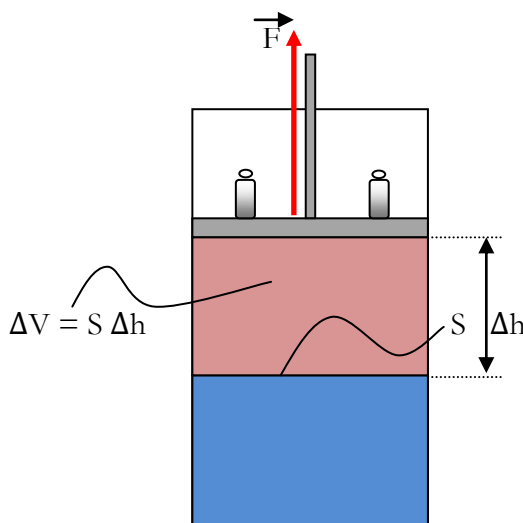


Le funzioni di stato.

Le **funzioni di stato** sono grandezze che *dipendono soltanto dagli stati iniziali e finali e non dal percorso (cioè dalla trasformazione) che li unisce.*

L'*energia interna*, somma delle energie cinetiche delle sue molecole e della sua energia potenziale totale, è un esempio di funzione di stato. E' anche una **grandezza estensiva**, in quanto direttamente proporzionale al numero di molecole (cioè alla quantità di materia)

Il lavoro compiuto in una trasformazione isobara.



Consideriamo un cilindro contenente un fluido, con un coperchio mobile di superficie S su cui sono appoggiati dei pesi; se il fluido si espande, la posizione del pistone varia, compiendo un percorso Δh .

Il fluido, *espandendosi*, compie un **lavoro motore** (*positivo*) sul pistone, perché deve sollevarlo vincendo la forza-peso del pistone stesso e degli eventuali pesetti appoggiati. Al contrario, durante una *compressione* lo spostamento del pistone avviene verso il basso, mentre la forza con cui il fluido agisce su di esso è rivolta verso l'alto: il fluido compie quindi un **lavoro resistente** (*negativo*) sul pistone.

Il lavoro positivo di espansione può essere utilizzato all'esterno del sistema.

Si può considerare la trasformazione come *isobara*, e in ogni istante il sistema è in equilibrio: la pressione esercitata dal pistone sul fluido è uguale alla pressione p esercitata dal fluido sul pistone.

Il lavoro W compiuto dal fluido, mentre il pistone di area S si solleva di una altezza h , è dato da

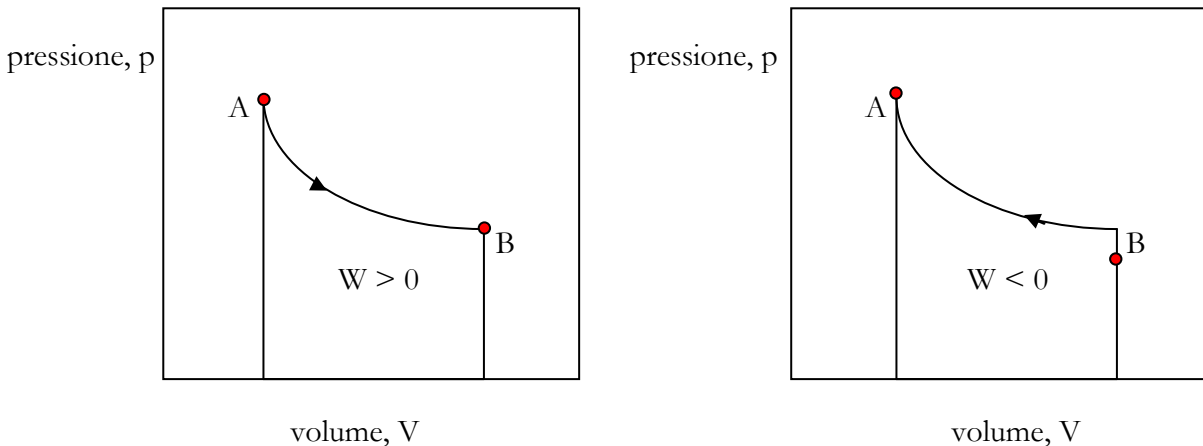
$$W = F \Delta h = p S \Delta h = p \Delta V$$

$F = p S$
 $S \Delta h = \Delta V$ (variazione di volume)

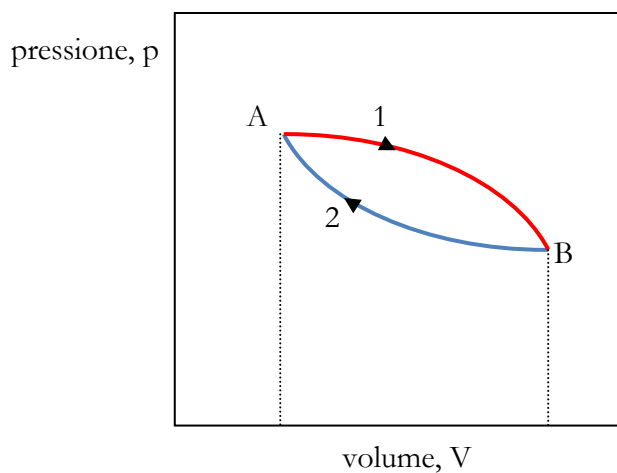
Il lavoro compiuto in una trasformazione qualunque.

In generale, anche quando la pressione non rimane costante, il *lavoro compiuto dal sistema nel corso di una trasformazione* è uguale, in un *diagramma pressione-volume*, all'*area sottesa dalla trasformazione*, ovvero all'area delimitata dal grafico che rappresenta la trasformazione, dall'asse dei volumi e da due rette verticali passanti per gli estremi A e B della trasformazione.

- ✓ *nel corso di una espansione il lavoro compiuto dal sistema termodinamico è positivo;*
- ✓ *durante una compressione il lavoro è negativo.*



Il lavoro compiuto in una trasformazione ciclica

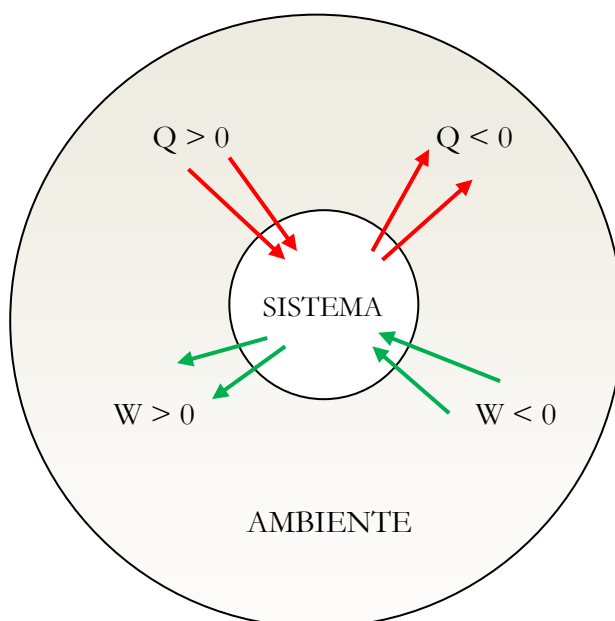


Il *lavoro positivo* fatto dal sistema nel corso dell'*espansione* AB è pari all'area sottesa dalla curva superiore; nella *successiva compressione* da B \rightarrow A il sistema compie un *lavoro negativo* rappresentato dall'area sottesa dalla curva inferiore.

Alla fine della trasformazione ciclica, il **lavoro totale compiuto dal sistema** (uguale alla somma algebrica dei due lavori parziali) è dato dall'*area della parte di piano racchiusa dalla linea che rappresenta la trasformazione stessa*.

Il lavoro non è una funzione di stato: non è possibile determinare il lavoro fatto da una trasformazione AB se si conoscono soltanto i valori delle grandezze termodinamiche che caratterizzano i due stati estremi A e B.

IL PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA



Il **calore Q** è il calore scambiato tra il sistema e l'ambiente esterno: si considera *positivo* quando è il sistema ad assorbirlo dall'ambiente, *negativo* quando invece è ceduto dal sistema all'ambiente.

Con **W** è indicato il lavoro scambiato dal sistema e dall'ambiente esterno: si considera *positivo* quando è compiuto dal sistema sull'ambiente esterno, *negativo* quando è l'ambiente esterno a compiere un lavoro sul sistema

Per il principio di conservazione dell'energia meccanica, in ogni scambio energetico (sotto forma sia di calore che di lavoro) si ha una corrispondente variazione di energia interna del sistema (funzione di stato).

- ✓ L'energia interna del sistema cresce quando il sistema assorbe calore ($Q > 0$) o quando è l'ambiente a compiere un lavoro sul sistema ($W < 0$)
- ✓ L'energia interna del sistema diminuisce se il sistema cede calore all'esterno ($Q < 0$) o quando il sistema compie un lavoro sull'ambiente ($W > 0$)

Quanto sopra è riassunto dal primo principio della termodinamica

$$\Delta U = Q - W$$

Il primo principio della termodinamica mette in luce che sia il calore che il lavoro sono energia in transito: ciò che si accumula nei sistemi è l'energia interna.

simbolo	nome	descrizione	positivo	negativo	Funzione di stato
ΔU	variazione della energia interna del sistema	variazione della somma di energia cinetica e potenziale di atomi e molecole	se il sistema riceve energia dall'esterno	se il sistema cede energia all'esterno	sì
Q	calore assorbito dal sistema	energia assorbita dal sistema sotto forma di calore	se il sistema assorbe calore dall'ambiente	se il sistema cede calore all'ambiente	no
W	Lavoro fatto dal sistema	energia ceduta dal sistema sotto forma di lavoro	se il sistema compie lavoro sull'ambiente (es. quando un gas si espande)	se l'ambiente compie lavoro sul sistema (es. quando un gas si contrae)	no

Applicazioni del primo principio

- **Trasformazione isocora:** se riscaldiamo il fluido mantenendo costante la posizione del pistone (e quindi il volume), la variazione ΔV del volume è uguale a zero, e quindi è nullo anche il lavoro fatto dal sistema

$$W = p\Delta V = 0 \quad \Longrightarrow \quad \Delta U = Q$$

Tutta l'energia acquistata dal sistema si ritrova sotto forma di energia interna.

- **Trasformazione isobara:** se riscaldiamo il fluido lasciando il pistone libero di muoversi, il sistema compie lavoro sull'ambiente e l'espressione del primo principio diviene

$$p\Delta V + \Delta U = Q$$

L'energia acquistata dal sistema serve in parte ad aumentare l'energia interna e quindi la temperatura e, in parte, a compiere lavoro: a parità di Q , l'aumento di temperatura è pertanto minore rispetto al caso in cui tutto il calore va ad aumentare l'energia interna.

- **Trasformazione adiabatica:** in una trasformazione adiabatica il sistema non scambia calore con l'esterno ($Q = 0$)

$$\Longrightarrow \quad \Delta U = -W$$

- **Trasformazione ciclica:** al termine di una trasformazione ciclica il sistema torna nello stato iniziale, per cui per l'energia interna (che è una funzione di stato) si ha

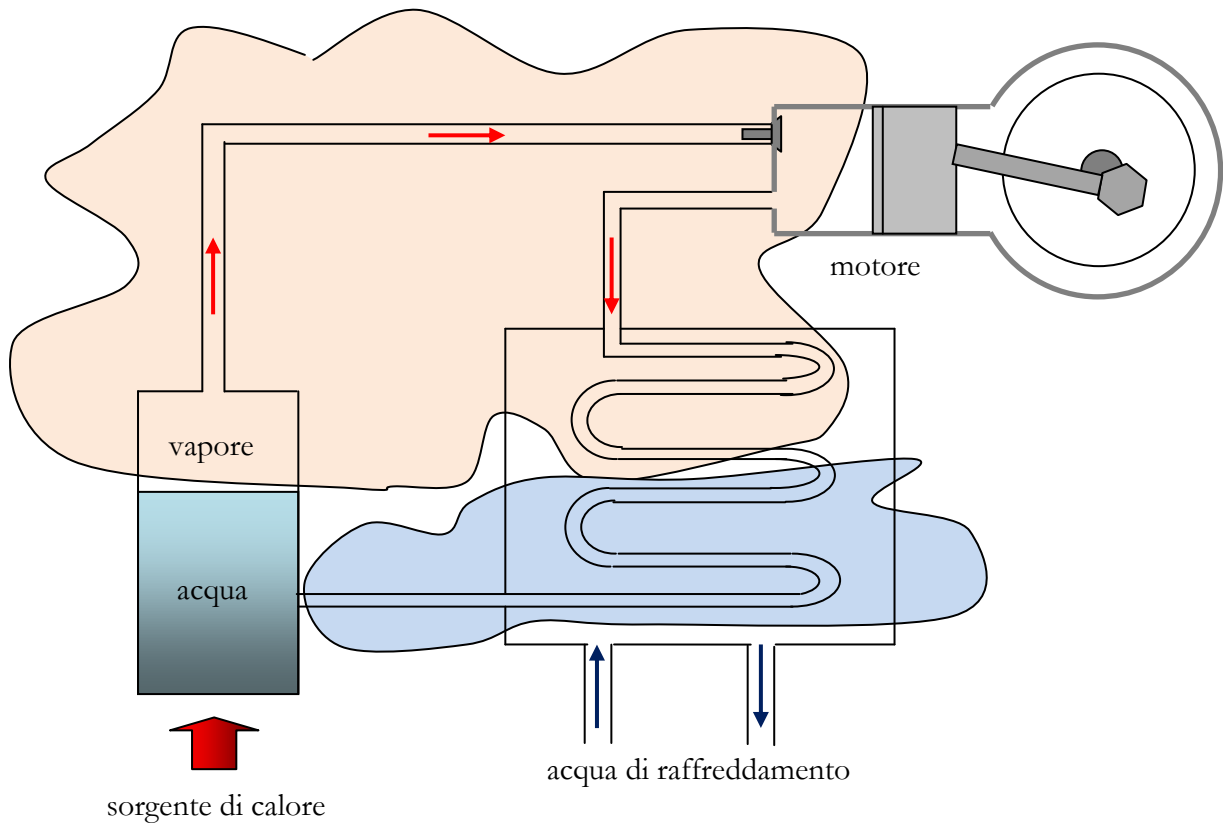
$$\Delta U = 0 \quad \Longrightarrow \quad Q_{\text{tot}} = W_{\text{tot}}$$

Il lavoro totale compiuto dal sistema in una trasformazione ciclica è uguale alla somma algebrica dei calori scambiati tra il sistema e l'ambiente nel corso della trasformazione.

IL SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

La macchina termica. Una *macchina termica* è un dispositivo in grado di compiere un lavoro continuativo a spese dell'energia interna ricevuta mediante scambi di calore: il suo funzionamento è descritto da una trasformazione ciclica.

Una macchina termica per funzionare ha bisogno di almeno due sorgenti di calore: una (detta “**caldaia**”) che riscaldi il fluido e provochi la sua espansione e un'altra (detta “**refrigerante**”) che raffreddi il fluido in modo da chiudere il ciclo.



Con una macchina a vapore ad es. una sorgente di calore ad alta temperatura produce vapore che spinge un pistone che, a sua volta, imprime movimento alle ruote della macchina; nel caso invece di una centrale termoelettrica il vapore fa girare una turbina che a sua volta è collegata a un generatore elettrico. In entrambi i casi esiste un condensatore (spesso raffreddato ad acqua) che riporta il vapore allo stato liquido, in modo che il ciclo possa iniziare da capo. Gran parte del calore speso dalla sorgente ad alta temperatura viene necessariamente ceduto al condensatore e poi disperso nell'ambiente.

Una macchina che funzioni con due sorgenti di calore *assorbe una quantità di calore Q_2 dalla sorgente a temperatura maggiore (T_2), compie un lavoro W e cede una quantità di calore Q_1 (negativa) alla sorgente alla temperatura inferiore (T_1).*

essendo Q_1 negativo
$$W_{\text{tot}} = Q_2 + Q_1 = Q_2 - |Q_1|$$

L'energia interna ottenuta dal sistema grazie all'assorbimento del calore Q_2 (positivo) serve solo in parte a compiere lavoro meccanico (W_{tot}): la parte rimanente (Q_1) viene infatti "sprecata", essendo ceduta alla sorgente che si trova alla temperatura inferiore T_2 .

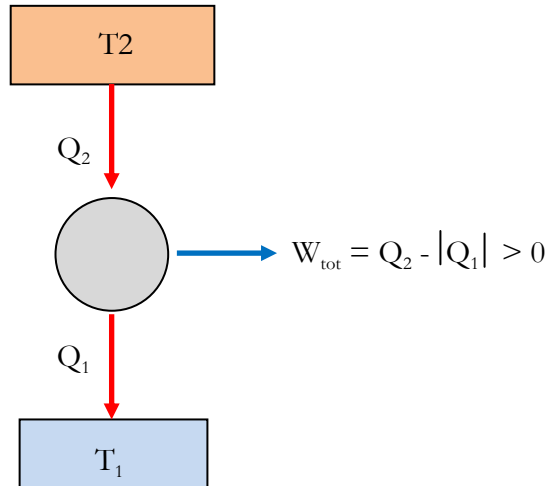
Enunciati del secondo principio della termodinamica

E' sempre possibile trasformare completamente il lavoro in calore, quando sono in gioco forze d'attrito: ad esempio, quando un'auto frena, la sua energia si trasforma completamente in calore per l'attrito tra le pinze e i dischi dei freni, e tra i copertoni e la strada.

La trasformazione inversa di calore in lavoro invece è soggetta a limitazioni che sono stabilite dal secondo principio della termodinamica.

➤ **Enunciato di Lord Kelvin**

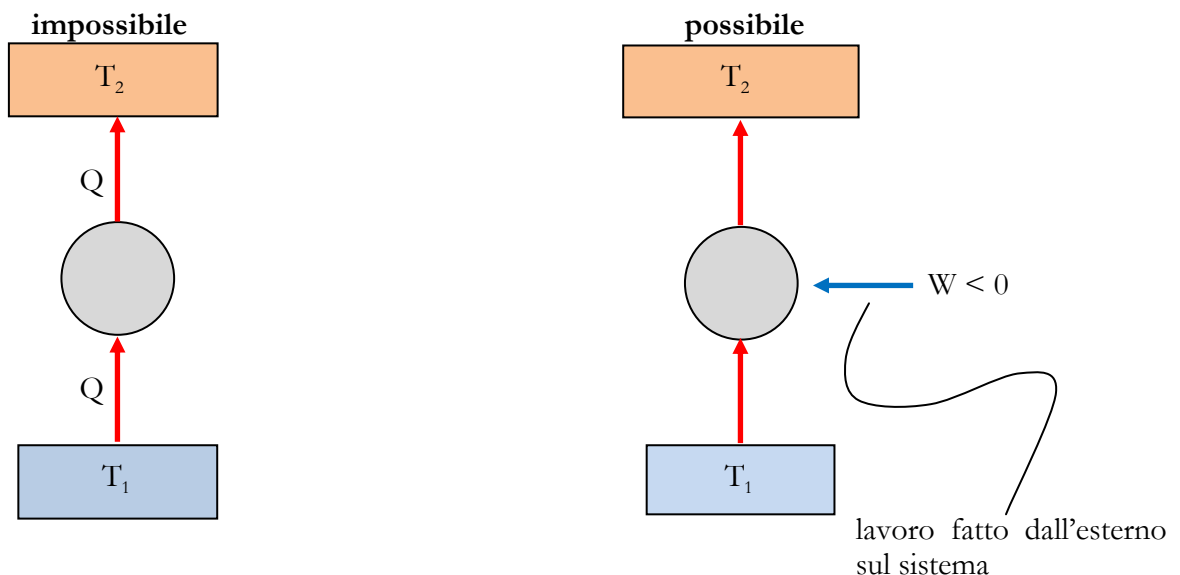
È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di assorbire una determinata quantità di calore da un'unica sorgente di calore e trasformarla integralmente in lavoro.



➤ **Enunciato di Clausius**

È impossibile realizzare una trasformazione il cui unico risultato sia quello di far passare calore da un corpo più freddo ad uno più caldo.

Ovvero, il calore non passa mai spontaneamente dai corpi freddi a quelli caldi : il flusso spontaneo del calore tende a livellare le temperature e mai ad accentuarne le differenze.



Rendimento di una macchina termica

Soltanto una parte del calore che una macchina termica preleva dalla sorgente alla temperatura maggiore può essere convertita in lavoro: l'altra parte di questo calore viene "sprecata" cedendola alla sorgente a temperatura più bassa. Ad es., le centrali elettriche sono spesso costruite lungo i fiumi o in riva al mare, per avere a disposizione grandi quantità di acqua per il raffreddamento del vapore ad alta temperatura.

Il rendimento di una macchina termica, che esprime la capacità di convertire calore in lavoro, è definito come il rapporto

$$\eta = \frac{W_{tot}}{Q_2}$$

lavoro totale prodotto dalla macchina in un ciclo

calore che in ogni ciclo la macchina assorbe dalla sorgente alla temperatura più alta

$$W_{tot} = Q_2 + Q_1 = Q_2 - |Q_1|$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{W_{tot}}{Q_2} = \frac{Q_2 - |Q_1|}{Q_2} = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2}$$

$$Q_1 \leq Q_2 \quad \Rightarrow \quad 0 \leq \eta < 1$$

Es. Una macchina termica riceve dall'esterno, sotto forma di calore, una quantità di energia pari a $Q_2 = 46,7 \text{ J}$ e cede al refrigerante una energia pari a $Q_1 = -31,8 \text{ J}$. Ad ogni ciclo il lavoro compiuto dalla macchina è dato da

$$W_{tot} = Q_2 + Q_1 = Q_2 - |Q_1| = 46,7 \text{ J} - 31,8 \text{ J} = 14,9 \text{ J}$$

Il rendimento è quindi $\eta = \frac{W_{tot}}{Q_2} = \frac{14,9 \text{ J}}{46,7 \text{ J}} = 0,319$

Il lavoro complessivo compiuto dalla macchina è dato dal lavoro compiuto ad ogni ciclo moltiplicato per il numero di cicli.

Trasformazioni reversibili ed irreversibili

Una trasformazione di un sistema termodinamico reversibile è un processo ideale; una **trasformazione reversibile** AB è tale che, quando essa è conclusa, è possibile riportare il sistema nello stato A , ripercorrendo a ritroso il cammino AB , riportando alle condizioni iniziali anche l'ambiente circostante.

Il processo di riscaldamento mediante combustione è, per sua natura, **irreversibile**; allo stesso modo sono irreversibili tutte le macchine termiche reali.

Una macchina termica reversibile è un dispositivo che compie una trasformazione ciclica reversibile: se essa è composta da più fasi, ciascuna di esse deve essere una trasformazione reversibile.

Si definisce ciclo di Carnot quello realizzato da una macchina termica reversibile che funziona con due sorgenti di calore, rispettivamente alle temperature T_1 e T_2 , con $T_1 < T_2$.

Il teorema di Carnot. Data una macchina reversibile R che lavori tra le temperature T_1 e T_2 , con rendimento η_R , e un'altra macchina qualunque S , con rendimento η_S , che lavora tra le stesse due temperature, si ha sempre

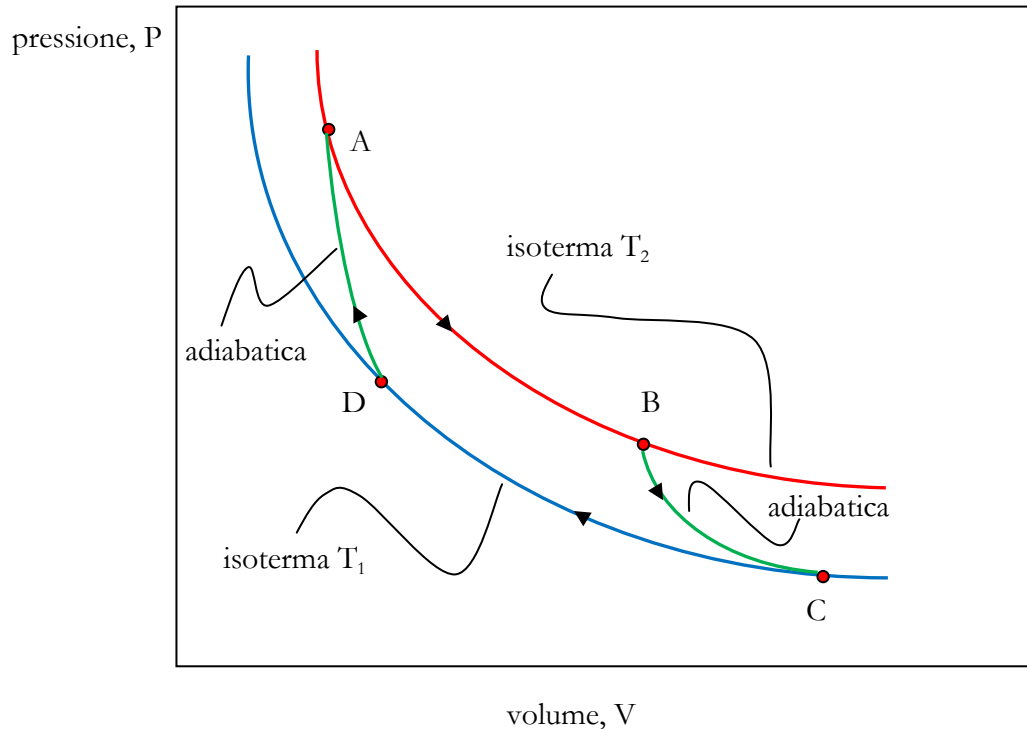
$$\eta_R \geq \eta_S$$

$\eta_R = \eta_S$ solo se anche la macchina S è reversibile.

Ciclo di Carnot.

È costituito dalla successione di

- ✓ una espansione isoterma
- ✓ una espansione adiabatica
- ✓ una compressione isoterma
- ✓ una compressione adiabatica che riporta il sistema allo stato iniziale



Partendo dallo stato A si compie una espansione isoterma alla temperatura T_2 fino a B; poi si opera un'espansione adiabatica, che permette di abbassare la temperatura fino allo stato C, al valore T_1 ; segue una compressione isoterma fino a D, alla temperatura T_1 ; infine, una compressione adiabatica riporta il sistema in A, alla temperatura T_2 .

In ogni ciclo, il lavoro totale compiuto è pari all'area racchiusa dalla linea ABCD.

Rendimento delle macchine termiche che lavorano tra due temperature

Per un ciclo reversibile si può dimostrare che
$$\eta = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

La formula sopra pone un limite massimo all'efficienza di ogni macchina: per una macchina reale (cioè irreversibile) che lavori tra le stesse temperature il rendimento sarà

$$\eta_{reale} < 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

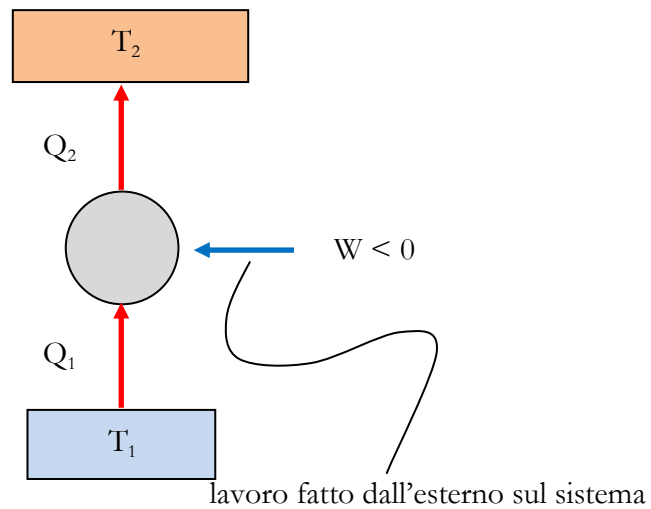
Ciclo di Stirling :

È costituito da 4 fasi: una espansione isoterma, una trasformazione isocora che diminuisce pressione e temperatura, una compressione isoterma e un'altra trasformazione isocora che riporta le variabili termodinamiche al valore iniziale.

Essendo silenzioso, è utilizzato per frigoriferi e pompe di calore.

Il frigorifero

Le macchine frigorifere sono dispositivi che trasferiscono il calore da una sorgente a bassa temperatura ad una sorgente a temperatura più alta mediante l'impiego di lavoro esterno.



La trasformazione ciclica, a differenza dei motori, per i frigoriferi è percorsa in senso antiorario. In un comune frigorifero la sorgente a bassa temperatura è costituita dagli scomparti del frigorifero, mentre quella ad alta temperatura è l'ambiente esterno. Il lavoro è fornito dall'energia elettrica

