

IL CALORE

– RISCALDARE CON IL CALORE

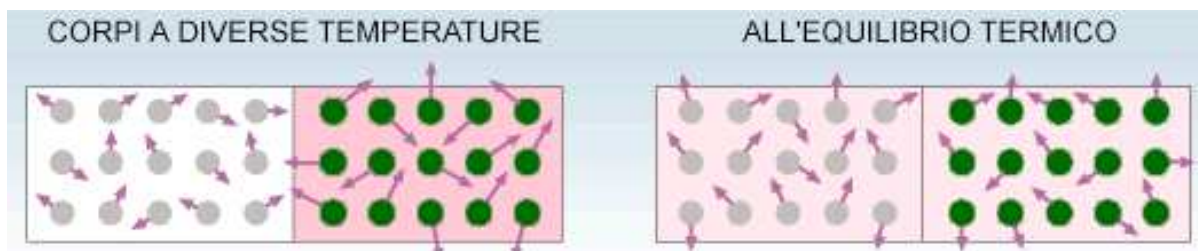
Ponendo a contatto due corpi di temperature diverse dopo un certo tempo la temperatura del corpo più caldo diminuisce mentre quella del corpo più freddo aumenta finché entrambi non raggiungono una stessa temperatura intermedia detta temperatura di equilibrio.

Tra i due oggetti è stata scambiata una quantità di calore.

Da un punto di vista microscopico che cos'è il calore?

Sappiamo che la temperatura è una misura dell'energia cinetica media delle molecole.

Quando i due corpi sono a contatto, sulla superficie che li separa si scontrano le molecole veloci del corpo caldo con quelle più lente del corpo freddo.



Per effetto degli urti le prime rallentano e le seconde acquistano velocità.

Con il passare del tempo questo processo si estende anche all'interno dei due corpi fino a che i due gruppi di molecole hanno in media la stessa energia cinetica.

Alla fine le molecole del corpo freddo hanno più energia di quanto ne avevano all'inizio, mentre quelle del corpo caldo ne hanno meno.

Nel complesso c'è stato un passaggio di energia dal corpo caldo a quello freddo.

Quindi il **calore** è una **forma di energia** che passa da un corpo a un altro per effetto della differenza di temperatura esistente tra i due corpi.

– RISCALDARE CON IL LAVORO

Si può aumentare la temperatura di un corpo anche senza metterlo a contatto con un altro corpo più caldo.

Per esempio quando ci strofiniamo le mani, ci scaldiamo mediante un lavoro.

Quindi possiamo scaldare un corpo mediante una forza che compie un lavoro.

J. Joule nell'Ottocento scoprì che il lavoro meccanico riscalda l'acqua e misurò sperimentalmente quanto lavoro serve per aumentare di 1 K la temperatura di un kg d'acqua: $W = 4186 \text{ J}$

– ESPERIMENTO DI JOULE (1843)

L'apparecchio usato da Joule era composto di un asse verticale munito di palette, immerso nell'acqua di un calorimetro; due pesi erano poi collegati all'asse in modo che, cadendo, ne provocavano la rotazione; le palette, ruotando agitavano l'acqua e gli attriti interni, ne producevano il riscaldamento.

Valutando il lavoro compiuto dai pesi ($W=mgh$) ed il calore assorbito dall'acqua, Joule riuscì a determinare il valore del rapporto tra queste due quantità.

Alla costante che esprime il valore del rapporto lavoro ottenuto/calore trasformato si dà il nome di equivalente meccanico del calore.

Se il lavoro è misurato in joule ed il calore in calorie, il valore dell'equivalente meccanico del calore è 4,186 (è pertanto $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$).

Dall'esperienza risulta che per innalzare di 1 K la temperatura di 1 kg di acqua occorre un lavoro di 4186 J.

Ogni volta che si scalda un corpo (con il calore o con il lavoro), la sua energia aumenta. Quindi calore e lavoro sono modi per trasferire energia da un sistema ad un altro.

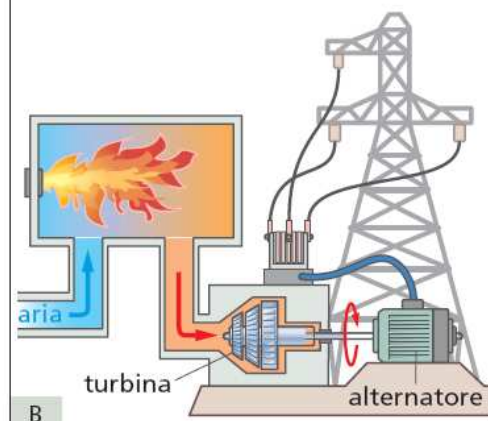
– ENERGIA IN TRANSITO

Quando un corpo si scalda, la sua energia aumenta e può trasformarsi o essere ceduta.

► Quando si apre la valvola di una pentola a pressione, esce un getto di vapore, con il quale si può far ruotare una girandola, che acquista così energia cinetica.



► Nelle centrali a turbogas un getto di gas caldo ad alta pressione fa ruotare una turbina che, accoppiata a un alternatore, genera energia elettrica.

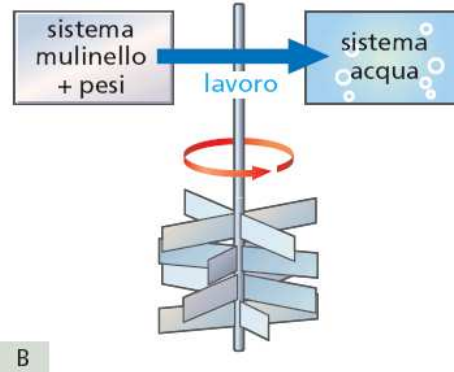


Calore e lavoro sono modi per trasferire *energia*: sono variazioni di energia e si misurano in joule (J).

► Nel caso della pentola riscaldata dalla fiamma, l'energia passa dal gas caldo (metano + ossigeno) all'acqua mediante un flusso di calore.



► Quando si aziona il mulinello di Joule, il lavoro della forza-peso determina un passaggio di energia dal sistema (mulinello + pesi) all'acqua.



Il calore Q e il lavoro W sono *energia in transito*.

QUANTITÀ DI CALORE

Per modificare la temperatura di un corpo occorre fornirgli o sottrargli calore.

Risulta sperimentalmente che:

- la quantità di calore Q da fornire o sottrarre è direttamente proporzionale alla variazione Δt della temperatura ($Q \propto \Delta t$)
- la quantità di calore Q è direttamente proporzionale alla massa m del corpo ($Q \propto m$) (infatti una variazione di temperatura equivale ad una variazione di energia cinetica delle molecole del corpo e quindi maggiore è il numero delle molecole, maggiore sarà la quantità di calore da assorbire o cedere)
- la quantità di calore Q dipende dalla natura del corpo

Quindi:

$$(1) \quad Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad \text{relazione fondamentale della termologia}$$

dove c è una costante di proporzionalità, chiamata *calore specifico* del corpo, che dipende dalle proprietà del corpo e dalla temperatura.

CALORE SPECIFICO

Dalla (1) segue che:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$$

Se $m=1$ e $\Delta t=1$ si ottiene $c = Q$, cioè:

Il calore specifico è la quantità di calore che deve scambiare l'unità di massa di una sostanza per variare di un grado la temperatura.

UNITÀ DI MISURA DEL CALORE

Essendo il calore una forma di energia, la sua unità di misura nel S.I. è il **joule (J)**.

Nel **Sistema cgs** l'unità di misura del calore è la **caloria (cal)** definita come *la quantità di calore da fornire a 1 g di acqua distillata per far variare la temperatura di 1 °C da 14,5°C a 15,5°C.*

Molto usata è la **kilocaloria (kcal)** definita come *la quantità di calore da fornire a 1 kg di acqua distillata per far variare la sua temperatura di 1 °C da 14,5°C a 15,5°C.*

Relazione tra joule e caloria: $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$

Relazione tra kilocaloria e caloria: $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$

UNITÀ DI MISURA DEL CALORE SPECIFICO

L'unità di misura del calore specifico nel **S.I.** è il **joule al kilogrammo kelvin $\text{J}/(\text{kg K})$** .

Nel **Sistema cgs** è la **caloria al grammo grado Celsius $(\text{cal}/\text{g}^\circ\text{C})$** .

Se $m = 1$ e $\Delta t = 1 \Rightarrow c = Q \Rightarrow c$ è la quantità di calore che deve scambiare l'unità di massa di una sostanza per variare di un grado la temperatura.

Per determinare il calore ceduto o assorbito da un corpo e il calore specifico si usa un dispositivo detto calorimetro.

CAPACITÀ TERMICA DI UN CORPO

Si chiama **capacità termica** di un corpo il prodotto della massa del corpo per il suo calore specifico

$$C = m \cdot c$$

Nel **S.I.** si misura in **joule al grado kelvin (J/K)** .

Nel **Sistema cgs**, l'unità di misura è la *caloria al grado Celsius* (**cal/°C**).

La capacità termica è una caratteristica del corpo, in quanto legata alla massa del corpo stesso.

Poiché $Q = C \cdot \Delta t$ si ha:

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

Quindi:

La **capacità termica** di un corpo è la *quantità di calore che esso deve scambiare per variare la propria temperatura di 1 grado*.

CALORIMETRO

I calorimetri sono apparecchi utilizzati per la *misura della quantità di calore scambiata da un corpo con un altro* ed in particolare per la *misura del calore specifico di un corpo*.

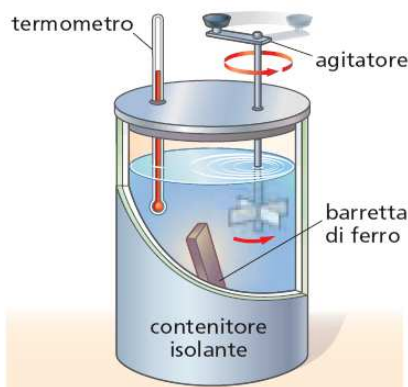
Esistono diversi tipi di calorimetri, ma i più usati sono: il *calorimetro a ghiaccio* e il *calorimetro delle mescolanze*.

CALCOLO DEL CALORE SPECIFICO DI UNA SOSTANZA

Per calcolare il calore specifico di una sostanza, ad esempio di una barretta di ferro, occorre immergere la sostanza nel calorimetro in cui è contenuta una certa quantità di liquido (ad es. acqua, il cui calore specifico è $c = 4186 \frac{J}{kg \cdot K}$).

Mettendo nel calorimetro acqua a temperatura T_1 e un corpo a temperatura T_2 , dopo un intervallo di tempo Δt , si arriva all'equilibrio termico a temperatura T_e .

Conoscendo la massa dell'acqua, m_1 , e quella della sostanza, m_2 , se $T_2 > T_1$ si ha:



– Calore assorbito dall'acqua:

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_e - T_1).$$

– Calore ceduto dal corpo:

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_e - T_2).$$

Poiché non viene ceduto calore all'esterno, l'energia ceduta dalla sostanza deve essere assorbita dall'acqua e quindi:

$$Q_1 + Q_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad c_1 m_1 (T_e - T_1) + c_2 m_2 (T_e - T_2) = 0. \quad (1)$$

Risolvendo l'equazione (1) si ha:

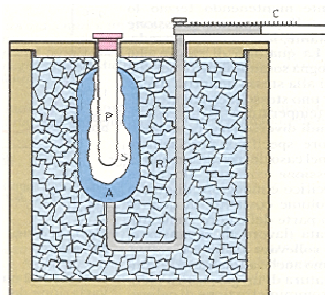
$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (T_e - T_1)}{m_2 (T_2 - T_e)}$$

TEMPERATURA DI EQUILIBRIO

Dall'equazione (1), se sono note tutte le altre grandezze, si può calcolare la temperatura di equilibrio T_e :

$$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2} .$$

CALORIMETRO DI BUNSEN O CALORIMETRO A GHIACCIO



È costituito da un'ampolla A di vetro a cui è saldata una provetta P . L'ampolla, contenente acqua, è in comunicazione con il capillare C a mezzo di un condotto pieno di mercurio. Facendo evaporare un po' di etere nella provetta P , intorno ad essa si forma uno strato S di ghiaccio a causa del raffreddamento dovuto all'evaporazione.

Il calorimetro è così pronto e viene immerso in un recipiente R ben isolato contenente ghiaccio fondente, in modo che tutto il dispositivo si mantenga alla temperatura di $0\text{ }^\circ\text{C}$. Se immergiamo allora nella provetta P un corpo la cui temperatura sia maggiore di $0\text{ }^\circ\text{C}$, dopo un po' di tempo la sua temperatura scende a $0\text{ }^\circ\text{C}$; il calore che esso ha ceduto ha provocato la fusione di una certa quantità di ghiaccio.

Nella fusione del ghiaccio, poiché il volume di una data quantità di ghiaccio è maggiore del volume della sua acqua di fusione, si ha una diminuzione di volume del sistema ghiaccio-acqua contenuto nell'ampolla A e di conseguenza il mercurio nel capillare C indietreggia verso sinistra. Il contrario avviene se la temperatura del corpo posto in P è minore di $0\text{ }^\circ\text{C}$. Sul capillare sono segnate alcune divisioni ugualmente distanziate.

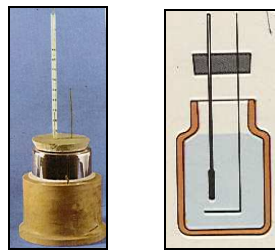
Il numero di divisioni di cui arretra il mercurio è con buona approssimazione proporzionale alla massa di ghiaccio fusa che assumiamo, per definizione, proporzionale alla quantità di calore cedutagli dal corpo immerso nella provetta P.

In un calorimetro di Bunsen si misura la variazione di volume che accompagna la fusione di una quantità di ghiaccio o la solidificazione di una certa quantità d'acqua, che si trovano a 0°C .

Il rapporto di due quantità di calore è definito come rapporto dei corrispondenti numeri di divisioni di cui arretra il mercurio, quando tali quantità di calore sono somministrate al sistema ghiaccio + acqua dell'ampolla A.

Se immergiamo successivamente due corpi diversi con temperature superiori a 0°C , le quantità di calore cedute da essi al sistema ghiaccio-acqua di A sono uguali, se tali sono i numeri di divisioni di cui arretra il mercurio in C. Ad uno spostamento doppio corrisponde una quantità di calore data doppia.

CALORIMETRO DI REGNAULT O CALORIMETRO DELLE MESCOLANZE



Il calorimetro delle mescolanze (o ad acqua, o di *Regnault*) è costituito da un recipiente con pareti isolanti (per impedire perdite di calore) in cui sono immersi un termometro (per la misura della temperatura) ed un agitatore (per far sì che la temperatura sia uniforme). Nel recipiente viene versata dell'acqua e, successivamente, la sostanza in esame. Il calore specifico della sostanza viene dedotto dalla variazione di temperatura dell'acqua: a causa della non nulla capacità termica del calorimetro è necessario introdurre un *equivalente in acqua* del calorimetro, che tenga conto del calore assorbito o ceduto da esso durante la misura. Il calorimetro delle mescolanze è il tipo di calorimetro più impiegato per scopi didattici.

I CAMBIAMENTI DI STATO

EFFETTI DEL CALORE SULLO STATO DI AGGREGAZIONE DELLA MATERIA

In opportune condizioni di temperatura e di pressione, tutte le sostanze (purché non si decompongano ad alta temperatura) possono trovarsi in uno dei 3 stati di aggregazione: *solido, liquido, aeriforme*.

Si chiama *cambiamento di stato di una sostanza* il suo passaggio da uno all'altro degli stati di aggregazione:

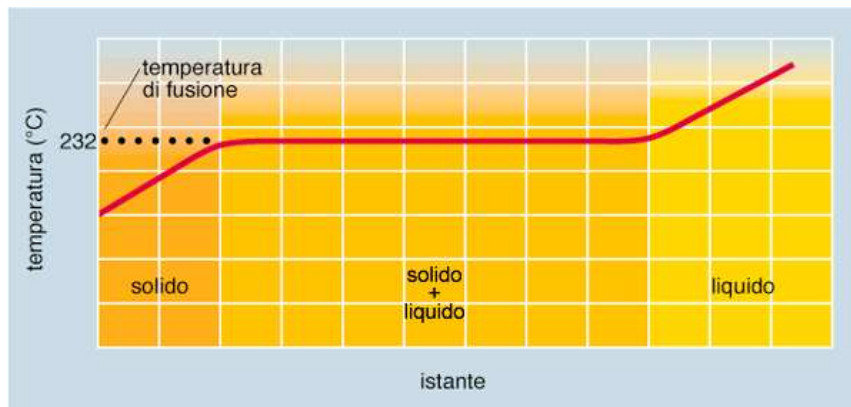
<i>Cambiamento di stato</i>	<i>passaggio dallo stato</i>	<i>allo stato</i>
fusione	solido	liquido
solidificazione	liquido	solido
vaporizzazione	liquido	vapore
condensazione	vapore	liquido
sublimazione	solido	aeriforme
sublimazione	aeriforme	solido

FUSIONE E SOLIDIFICAZIONE

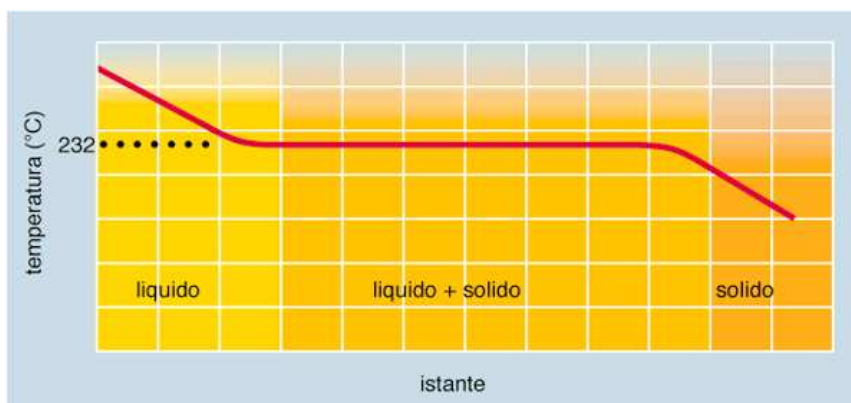
L'esperienza ha mostrato che, per ogni sostanza chimicamente pura, la *fusione* e la *solidificazione* seguono le seguenti leggi:

- per ogni sostanza, a una data pressione, la fusione e la solidificazione avvengono a una ben determinata temperatura che si chiama **temperatura di fusione** di quella sostanza;
- affinché una data sostanza, che si trovi alla sua temperatura di fusione, fonda, è necessario fornirle una quantità di calore, proporzionale alla massa m della sostanza. La stessa quantità di calore viene restituita dalla sostanza all'ambiente durante il processo inverso, cioè durante la solidificazione;
- malgrado che, durante la fusione (o la solidificazione), si fornisca (o si sottragga) calore, la temperatura della sostanza si mantiene costante e pari alla sua temperatura di fusione;
- al variare della pressione, la temperatura di fusione varia un poco; precisamente aumenta per quelle sostanze che, nel processo di fusione aumentano di volume, diminuisce per quelle sostanze che, fondendo, diminuiscono di volume (per esempio il ghiaccio).

FUSIONE



SOLIDIFICAZIONE



Si chiama **calore latente di fusione** di una sostanza la quantità di calore necessaria per fare fondere completamente l'unità di massa di questa sostanza che si trovi alla temperatura di fusione.

Si chiama **calore latente di solidificazione** di una sostanza la quantità di calore da sottrarre per fare solidificare completamente l'unità di massa di questa sostanza che si trovi alla temperatura di solidificazione.

Il calore latente di fusione e il calore latente di solidificazione coincidono.

VAPORIZZAZIONE E CONDENSAZIONE

– Vaporizzazione

La **vaporizzazione** è la trasformazione di una sostanza dallo stato liquido a quello di vapore; il processo inverso si chiama **condensazione**.

La vaporizzazione comprende due diversi casi: l'**evaporazione** e l'**ebollizione**.

Si parla di evaporazione quando il processo ha luogo solo alla superficie libera del liquido, si parla di ebollizione quando la formazione di vapore ha luogo in tutta la massa del liquido.

– Calore latente di evaporazione

In entrambi questi processi vi è un **calore latente di evaporazione**, definito come la quantità di calore necessaria per far passare l'unità di massa della sostanza dallo stato liquido allo stato di vapore, senza che abbia luogo alcun cambiamento di temperatura.

– Vapor saturo e sua pressione

Un vapore in presenza del corrispondente liquido (e in equilibrio con questo) si chiama **vapore saturo**; esso esercita una pressione, detta **pressione del vapor saturo**, che aumenta rapidamente all'aumentare della temperatura.

Per ogni gas esiste una temperatura, detta **temperatura critica**, tale che, se la temperatura è maggiore di essa, il gas non può condensarsi, comunque alta sia la pressione a cui viene sottoposto. La temperatura critica è diversa per i diversi gas.

Un corpo aeriforme si chiama **gas** se si trova a una temperatura maggiore della sua temperatura critica, si chiama **vapore** se si trova al di sotto di tale temperatura; è poi un **vapore saturo** se si trova in presenza del corrispondente liquido e in equilibrio con questo.

– Condensazione

La **condensazione** è la trasformazione di una sostanza dallo stato vapore allo stato liquido. La temperatura di condensazione di un vapore coincide con la temperatura di ebollizione del liquido che lo genera. Per condensare un vapore si può:

- aumentare la sua pressione (comprimendolo), mantenendo costante la sua temperatura;
- raffreddarlo, mantenendo costante la pressione.

– Temperatura critica

Nel 1863 il fisico inglese Andrews scoprì che *per ogni gas esiste una particolare temperatura, detta **temperatura critica**, tale che se la temperatura è maggiore di essa, il gas non può condensarsi, comunque alta sia la pressione a cui viene sottoposto.*

Quindi, alla temperatura ordinaria, si possono liquefare, sottoponendoli ad altissime pressioni, soltanto quei gas le cui temperature critiche siano superiori alla temperatura ordinaria (tra i 15 °C e i 20 °C).

SUBLIMAZIONE

La **sublimazione** è la trasformazione di una sostanza dallo stato solido a quello aeriforme. Ha luogo in quanto anche i solidi hanno una pressione del vapor saturo che aumenta rapidamente all'aumentare della temperatura; essa, tuttavia, per la maggioranza dei solidi, a temperature non molto diverse da quella ordinaria, è così bassa, che il fenomeno non ha luogo in maniera apprezzabile. Fanno eccezione alcune sostanze particolari, come l'anidride carbonica solida (ghiaccio secco), la canfora, ecc.

SOLUZIONI

Quando si scioglie una certa quantità di un sale (per es. sale da cucina, NaCl) o di acido (per es. acido muriatico HCl) in acqua o in altro liquido (per es. alcool), si forma una soluzione: il liquido è il *solvente*, la sostanza disciolta è il *soluto*.

A una certa temperatura una soluzione è satura, quando è in equilibrio con un eccesso di soluto, che resta sul fondo del recipiente.

Si chiama **solubilità** di una sostanza in acqua (o in altro solvente) la massa, espressa in grammi, di questa sostanza che, a una data temperatura, è disciolta in 100 grammi di acqua, quando la soluzione è satura. La solubilità delle diverse sostanze dipende dalla temperatura.

La *temperatura di solidificazione* e la *temperatura di ebollizione* di una soluzione sono, rispettivamente, più bassa e più alta della temperatura di solidificazione e della temperatura di ebollizione del solo solvente.

Tutti i fenomeni descritti si interpretano facilmente per mezzo della teoria cinetica molecolare. In particolare, i calori latenti di fusione e di evaporazione corrispondono al lavoro che è necessario fornire per vincere le forze intermolecolari che agiscono fra le molecole di un grammo di una certa sostanza (allo scopo di cambiare il loro stato di aggregazione), mantenendo costante la temperatura (cioè l'energia cinetica media delle molecole).

PROPAGAZIONE DEL CALORE

➤ CONDUZIONE

Meccanismo tipico dei solidi, dovuto al moto degli elettroni liberi (elettroni di conduzione) che riscaldati aumentano la loro energia cinetica e quindi la temperatura, essi trasmettono per urti la loro energia di agitazione termica agli elettroni degli atomi vicini.

Avviene con moto microscopico di materia (una serie di urti con oscillazioni degli elettroni attorno alla loro posizione di equilibrio).

Le sostanze dotate di un maggior numero di elettroni liberi (*buoni conduttori*) conducono il calore in misura notevole, le sostanze che conducono poco il calore si dicono *cattivi conduttori*.

È caratterizzata dalla *legge di Fourier*.

Data una lamina di superficie S e spessore d (piccolo rispetto alle dimensioni delle facce parallele) tra le cui facce vi è una differenza di temperatura ΔT , la quantità di calore Q che attraversa la lamina nel tempo Δt è data da

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

dove λ è una costante detta *conducibilità termica* del materiale.

Poiché

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

l'unità di misura, nel S.I., è il watt al metro kelvin (**W/m K**).

Infatti:

$$\frac{\text{J} \cdot \text{m}}{\text{m}^2 \cdot \text{k} \cdot \text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{k} \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{k}}$$

La conduzione richiede la presenza di un mezzo materiale interposto tra la sorgente emittente ed il corpo ricevente l'energia termica.

➤ CONVEZIONE

Meccanismo tipico dei fluidi, causato dalle correnti convettive prodotte dalle differenze di densità che si manifestano nel fluido per effetto di variazioni locali di temperatura, infatti un fluido riscaldato diventa più leggero (meno denso) e sale verso l'alto spostando verso il basso il fluido più freddo (più denso).

Avviene con moto macroscopico di materia.

Richiede la presenza di un mezzo materiale interposto tra la sorgente emittente ed il corpo ricevente l'energia termica.

➤ IRRAGGIAMENTO

Meccanismo di propagazione del calore mediante *onde elettromagnetiche* che trasportano *energia radiante* (comprende radiazioni luminose e radiazioni invisibili).

Non richiede la materia come mezzo di trasporto e quindi avviene anche nel vuoto.

Tutti i corpi sono capaci di emettere e assorbire calore per irraggiamento con modalità che dipendono dalla temperatura del corpo stesso; se la quantità di calore irradiata supera quella assorbita, il corpo si raffredda, nel caso contrario si riscalda.

Non tutti i corpi, però, irradiano o assorbono nella stessa misura \Rightarrow la *quantità di calore irradiata* da una superficie unitaria, nell'unità di tempo, dipende dalla natura della superficie e dalla sua temperatura \Rightarrow definisce il **potere emissivo del corpo**.

In modo analogo si può definire il **potere assorbente di un corpo**.

[Approfondimento: [Effetto serra](#)]