

## Termologia (parte prima)

Al termine del capitolo “Lavoro e energia” era stato affermato che in presenza di attrito l'energia “mancante” andava ad aumentare l'energia del corpo associata alla temperatura che avevamo chiamato energia termica.

Nostro compito a questo punto è determinare la relazione che esiste fra l'aumento di temperatura di un corpo e la variazione d'energia ad esso associata.

Per prima cosa è necessario definire che cosa intendiamo con il termine temperatura e come si possa misurare questa nuova grandezza fisica.

### ***Contatto termico, equilibrio termico e temperatura***

Se qualcuno vi chiedesse che cosa è la temperatura potreste tranquillamente rispondere che con **temperatura** si intende quella grandezza fisica che misura lo stato termico di un corpo. Misurando la temperatura di un corpo siamo in grado di stabilire se quel corpo è freddo oppure caldo o, dato che il caldo e il freddo sono concetti piuttosto relativi, se un corpo è più caldo o più freddo di un altro corpo. Noi sappiamo che essa viene misurata con lo strumento chiamato **termometro**. Ma come funziona un termometro? Per rispondere a questa domanda ecco alcuni esperimenti sui quali vale la pena riflettere.

Preleviamo una bottiglia d'acqua dal frigorifero, riempiamo d'acqua bollente un'altra bottiglia identica alla prima e appoggiamole entrambe sul tavolo vicine ad una terza bottiglia piena d'acqua che avevamo messo sul tavolo il giorno prima. La sola cosa che distingue le tre bottiglie è la loro temperatura (basta toccarle per sapere di quale bottiglia si tratta). Se attendiamo sufficientemente a lungo, per esempio fino al giorno dopo, non saremo più in grado di distinguere fra le tre bottiglie. La bottiglia inizialmente fredda e quella inizialmente calda hanno raggiunto lo stesso stato termico, cioè la stessa temperatura, di quella che si trovava già da lungo tempo sul tavolo e che a sua volta era nello stato termico (stessa temperatura) dell'ambiente che la circonda. Questo sta a significare che, se non agiamo in qualche modo per mantenere lo stato termico iniziale, tutti i corpi tendono allo stato termico dell'ambiente?

Facciamo la seguente altra esperienza. Mettiamo in un contenitore di polistirolo (sagex) con pareti piuttosto spesse contenente acqua a temperatura ambiente un bicchiere contenente acqua calda, chiudiamo il contenitore e attendiamo. Controllando la temperatura dell'acqua nel bicchiere e di quella all'esterno osserviamo che il valore della prima scende mentre quello dell'altra sale e che, dopo aver atteso sufficientemente a lungo, la temperatura della due quantità di acqua sarà la stessa e non cambierà più. Evidentemente questa situazione di equilibrio, che noi chiamiamo **equilibrio termico**, si realizza ad una temperatura diversa da quella dell'ambiente contenente la scatola di polistirolo. La scatola di polistirolo è un sistema isolato non influenzato dall'ambiente esterno (sia chiaro che nella realtà dopo molto tempo la temperatura interna diminuirà lentamente fino alla temperatura ambiente, in altre parole la scatola di polistirolo non è un sistema perfettamente isolato. Per le nostre esperienze la scatola di polistirolo o eventualmente un thermos possono essere considerati un sistema isolato).

Queste due esperienze ci portano a concludere che ponendo in un sistema isolato due o più corpi aventi temperature diverse, realizzando cioè quello che noi chiamiamo **contatto termico** fra corpi, e si aspetta sufficientemente a lungo, si instaura una situazione di equilibrio caratterizzata da uno stato termico comune vale a dire che tutti i corpi avranno la stessa temperatura.

Avremmo potuto effettuare questa seconda esperienza esattamente come prima, mettendo cioè una bottiglia con acqua calda e una contenente acqua a temperatura ambiente nella scatola di polistirolo. L'aver scelto di mettere il bicchiere (o la bottiglia) contenente acqua calda direttamente a contatto con l'acqua a temperatura ambiente ha ridotto il tempo necessario al raggiungimento dell'equilibrio termico. Nelle prossime esperienze verseremo l'acqua ad una

temperatura direttamente nell'acqua ad un'altra temperatura così che il raggiungimento dell'equilibrio termico sia quasi immediato.

A questo punto siamo in grado di capire come si usa correttamente un termometro. Se vogliamo misurare la temperatura di un corpo, ad esempio quella di un liquido in un bicchiere, non dobbiamo far altro che mettere il termometro nel liquido, attendere che l'indicatore che segna la temperatura si stabilizzi e leggere il valore indicato. Fisicamente non facciamo altro che porre il termometro a contatto termico con il corpo di cui vogliamo conoscere la temperatura, attendere l'equilibrio termico e determinare la temperatura del termometro che noi sappiamo essere uguale a quella del corpo in esame.

Ma come fa un termometro a indicare una temperatura? in altre parole come si costruisce e come funziona un termometro?

A livello qualitativo e per temperature non troppo diverse da quelle dell'ambiente che ci circonda a volte bastano i nostri sensi (nella prima esperienza proposta basta toccare le bottiglie). Per sensibili che possano essere, in particolare attorno alla temperatura corporea, le nostre mani non sono in grado in primo luogo di quantificare un valore (e voi sapete quanto sono importanti gli aspetti quantitativi) e non sempre reagiscono allo stesso modo nella stessa situazione (provate a mettere una mano in un contenitore contenente acqua e ghiaccio e l'altra in uno contenente acqua calda, la più calda possibile senza scottarvi, e lasciatele per un po' di tempo; toglietele e mettetele entrambe in acqua a temperatura ambiente; la sensazione che avrete alle due mani sarà evidentemente diversa).

Occorre perciò utilizzare come strumento di misura della temperatura un oggetto che modifica una qualche sua caratteristica al cambiare della temperatura e che questo cambiamento sia sempre lo stesso quando si trova ad una determinata temperatura.

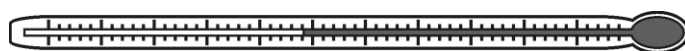
I primi termometri costruiti si basavano sul fenomeno fisico della dilatazione termica. Era cosa nota che il volume di un liquido aumenta se riscaldato e diminuisce se raffreddato. Il **termoscopio** (per farlo diventare un termometro occorre fornirgli una scala) che si basa sulla dilatazione termica è costituito da un recipiente (bulbo) contenente un liquido che è costretto a dilatarsi in un tubicino (capillare) di diametro piuttosto piccolo così che anche un piccolo cambiamento di volume si traduce in una grande variazione del livello del liquido nel capillare.

Quando il livello del liquido è basso la temperatura del termoscopio è bassa, quando il livello del liquido è alto la temperatura è pure alta.

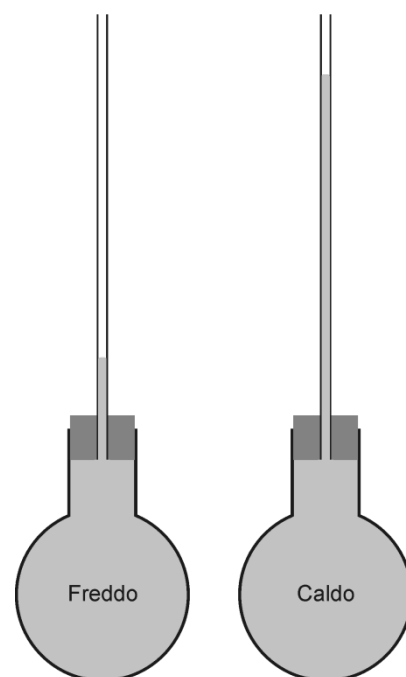
Come già accennato per passare da un termoscopio ad un termometro occorre fornire al termoscopio una scala.

Come per tutte le scale si può procedere in modo arbitrario e suddividere il capillare in un certo numero di tacche equidistanti e attribuire ad ogni tacca un valore di temperatura.

Il termometro così costruito possiede una scala conosciuta solo a chi lo ha costruito. In commercio esistono termometri tarati su una o più scale universalmente conosciute.



In Europa la più usata è la scala centigrada o scala Celsius. La scala Celsius utilizza come punti di riferimento la temperatura di fusione del ghiaccio e quella di ebollizione dell'acqua a condizioni normali (cioè alla pressione media al livello del mare). Utilizzando un termometro a mercurio si suddivide la differenza segnata dal liquido nei due punti



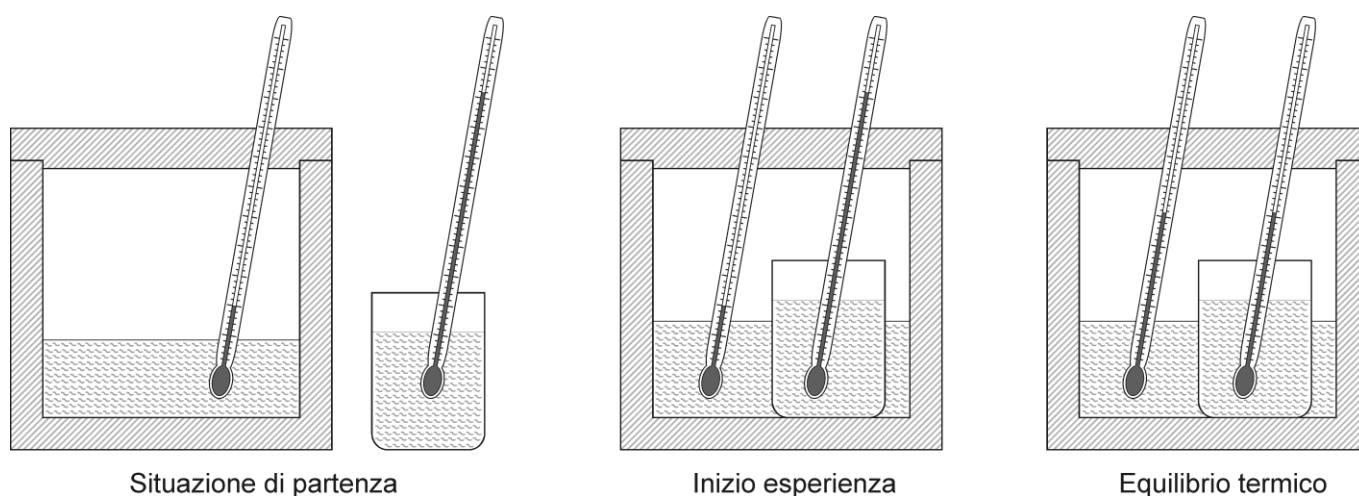
indicati in cento parti uguali ognuno dei quali vale appunto  $1^{\circ}\text{C}$ . La temperatura di fusione del ghiaccio è dunque  $\vartheta = 0^{\circ}\text{C}$  mentre quella d'ebollizione vale  $\vartheta = 100^{\circ}\text{C}$ . Il simbolo che abbiamo usato e che useremo pure in seguito per indicare la temperatura è la lettera greca  $\vartheta$  (leggi theta).

A questo punto siamo in grado di misurare la temperatura che hanno i vari corpi in esame e cercare una relazione fra le diverse grandezze fisiche in gioco quando poniamo a contatto termico due o più corpi in un sistema isolato e attendiamo il raggiungimento dell'equilibrio termico.

### **La relazione di bilancio termico**

Come già detto il nostro compito è quello di realizzare una serie di esperienze in cui in un sistema isolato si mettono in contatto termico due o più corpi e si attende sufficientemente a lungo in modo che si raggiunga l'equilibrio termico. Si legge la temperatura dei corpi prima e dopo e si analizza quale relazione esiste fra queste temperature.

Evidentemente la temperatura all'equilibrio termico dipenderà da altre grandezze fisiche oltre alle temperature iniziali.



Probabilmente la massa dei due corpi dovrà giocare un ruolo importante (versare un bicchiere d'acqua bollente in una vasca da bagno piena d'acqua fredda non modifica di molto la temperatura dell'acqua contenuta nella vasca), così come probabilmente anche il tipo di sostanza che costituisce il corpo in esame.

Come si fa sempre in fisica quando si deve indagare su che cosa capita quando ci sono molti parametri che possono variare si inizia con il realizzare l'esperienza facendo variare un solo parametro e tenendo fissi tutti gli altri.

Cominceremo con il realizzare la seguente esperienza: in un sistema isolato contenente una certa quantità d'acqua (ad esempio  $m_1 = 1,0\text{ kg}$ ) ad una temperatura data ( $\vartheta_1 = 20^{\circ}\text{C}$ ) verseremo una identica quantità sempre d'acqua ( $m_2 = m_1 = 1,0\text{ kg}$ ) ad una temperatura più alta (per esempio  $\vartheta_2 = 50^{\circ}\text{C}$ ).

Dopo aver atteso il raggiungimento dell'equilibrio termico si legge la temperatura e questa vale esattamente (entro i limiti di errore sperimentale):

$$\vartheta_f = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} = \frac{(20 + 50)^{\circ}\text{C}}{2} = 35^{\circ}\text{C}.$$

Ripetendo l'esperienza con le stesse temperature di partenza e con quantità diverse d'acqua ma comunque uguali fra di loro la temperatura all'equilibrio termico è sempre la stessa. Anche versando acqua fredda in quella calda la temperatura all'equilibrio non cambia. Infine ripetendo il tutto con temperature di partenza diverse si misura una temperatura all'equilibrio che è sempre la media delle temperature di partenza.

Che cosa succede ora se le masse di partenza sono diverse fra di loro.

Sperimentando con una quantità d'acqua fredda maggiore di quella calda si ha all'equilibrio termico una temperatura che, evidentemente, è più vicina alla temperatura di partenza dell'acqua fredda. Usando una quantità d'acqua fredda pari al doppio di quella calda ( $m_1 = 2 \cdot m_2$ ) si legge un valore calcolabile con:

$$\vartheta_f = \frac{2 \cdot \vartheta_1 + \vartheta_2}{2 + 1} = \frac{(2 \cdot 20 + 50)^\circ\text{C}}{3} = 30^\circ\text{C}.$$

Ripetendo l'esperienza con masse diverse si scopre che la temperatura all'equilibrio termico si può calcolare come media ponderata (pesata) delle temperature dove i pesi sono rappresentati dalle masse cioè:

$$\vartheta_f = \frac{m_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 + m_2}.$$

Che cosa cambia se i corpi a contatto termico sono composti da sostanze diverse? La temperatura all'equilibrio termico dipende ancora solo dalle temperature di partenza e dalle masse dei corpi oppure il fatto di avere sostanze diverse gioca un ruolo importante?

Prima di rispondere a questa domanda, vale a dire prima di effettuare l'esperienza con sostanze diverse, riscriviamo la relazione precedente in modo da mettere a sinistra tutti i dati riguardanti un corpo e a destra quelli riguardanti l'altro corpo. Poche semplici manipolazioni algebriche portano alla seguente relazione:

$$m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f).$$

Come si può notare la relazione così riscritta ci indica che il prodotto fra la massa e la differenza (aumento) di temperatura fra la situazione iniziale e quella all'equilibrio termico per  $m_1$  è pari al prodotto fra la massa e la differenza (diminuzione) di temperatura fra la situazione iniziale e quella all'equilibrio termico per  $m_2$ .

Questo lo si può interpretare nel seguente modo: ciò che ha guadagnato il corpo di massa  $m_1$  è uguale a ciò che ha perso il corpo di massa  $m_2$ . Sommando guadagno e perdita (alla perdita diamo evidentemente segno "-") otteniamo zero. Siamo decisamente di fronte ad una situazione di conservazione nella quale, nonostante gli scambi fra i corpi, a livello di sistema la grandezza fisica con la quale siamo confrontati si conserva.

Facciamo ora la seguente esperienza: nel contenitore di sagex (il nostro sistema isolato) contenente  $m_1 = 1,0\text{ kg}$  di acqua alla temperatura  $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$  introduciamo un bicchiere contenente una quantità di alcool di massa  $m_2 = 1,0\text{ kg}$  alla temperatura  $\vartheta_2 = 50^\circ\text{C}$  (è necessario usare il bicchiere e non versare direttamente l'alcool in acqua per due motivi: il primo è pratico, alla fine dell'esperienza non sarebbe più possibile recuperare l'alcool; il secondo motivo è che non vorremmo che eventuali reazioni chimiche fra le due sostanze possano influire sui risultati). Attendiamo il raggiungimento dell'equilibrio termico e leggiamo la temperatura comune delle due sostanze.

Sperimentalmente si ottiene il seguente risultato:

$\vartheta_f = 31^\circ\text{C}$  contro i  $35^\circ\text{C}$  che avevamo misurato durante la prima esperienza (acqua con acqua).

Ripetendo nuovamente l'esperienza con  $1,0\text{ kg}$  di pezzettini di rame il risultato è ancora diverso cioè:

$$\vartheta_f = 22,5^\circ\text{C}.$$

Come interpretare questi fatti sperimentali?

Si potrebbe pensare che la grandezza fisica della quale abbiamo ipotizzato la conservazione durante il processo di raggiungimento dell'equilibrio termico in realtà non si conservi, oppure, e vedremo essere questa la giusta interpretazione, le varie sostanze possiedono una nuova caratteristica che descrive la loro tendenza ad aumentare o diminuire la loro temperatura quando acquistano o perdono la grandezza fisica in gioco.

Per tenere in considerazione questa nuova caratteristica, che indichiamo con la lettera  $c$ , la si deve introdurre nella relazione precedente che diventa:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f),$$

così che per determinare la temperatura all'equilibrio termico si può scrivere:

$$\vartheta_f = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot \vartheta_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot \vartheta_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}.$$

Nelle due situazioni sperimentali appena esaminate, attribuendo valore unitario alla caratteristica dell'acqua, per garantire la corrispondenza dei valori sperimentali con quelli determinabili dalla formula precedente occorre assegnare alla caratteristica dell'alcool un valore di circa 0,58 mentre per il rame di circa 0,09.

Un prova a conferma della validità delle relazioni appena scritte consiste nel determinare sperimentalmente la temperatura all'equilibrio termico fra due quantità di alcool e rame e confrontare il valore trovato con quello determinabile dalla relazione attribuendo alla caratteristica dei due materiali i valori appena trovati. Perciò, versando in un contenitore isolato contenente 1,0 kg di alcool a 20°C una quantità di pezzettini di rame di massa 1,0 kg e temperatura 50°C ci aspettiamo all'equilibrio termico un valore (calcolato) di circa 24°C, valore che si accorda perfettamente con quello misurato.

La relazione  $c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f)$  è pertanto verificata in tutte le situazioni in cui, in un sistema isolato, poniamo in contatto termico due corpi qualsiasi aventi temperature qualsiasi e attendiamo il raggiungimento dell'equilibrio termico. Essa rappresenta l'uguaglianza fra ciò che un corpo perde e quello che l'altro corpo guadagna. A questa grandezza che rappresenta ciò che si scambiano i due corpi diamo il nome di **calore**. Possiamo perciò affermare che il calore acquistato da un corpo è uguale quello perso dall'altro, cioè:

**Calore acquistato da una sostanza = Calore ceduto dall'altra.**

Indicando il calore scambiato fra le due sostanze con il simbolo  $Q$ , dove  $Q = c \cdot m \cdot \Delta\vartheta$ , si può scrivere più semplicemente:  $Q^{\swarrow} = Q^{\nearrow}$ ; la freccia sta a indicare se il calore è acquistato oppure ceduto.

Trattandosi di una nuova grandezza fisica occorre trovarle una unità di misura. Storicamente l'unità di misura per il calore è la **caloria** indicata con  $cal$ , vale a dire:  $[Q] = cal$ .

Quanto vale 1 cal? Come per tutte le nuove unità di misura occorre scegliere un valore campione. Si è scelto di attribuire il valore di 1 cal a quella quantità di calore necessaria per riscaldare 1 g di acqua di 1°C.

Siamo a questo punto in grado di meglio definire quella caratteristica specifica di ogni sostanza che abbiamo indicato col la lettera  $c$ . Essa indica la quantità di calore da fornire ad 1 g di una sostanza per aumentarne la temperatura di 1°C. A questa caratteristica diamo il nome di **calore specifico**.

Avendo scelto l'acqua come sostanza di riferimento il calore specifico dell'acqua deve valere:  $c_{H_2O} = 1 \frac{cal}{g^{\circ}C}$ .

In base ai risultati ottenuti sperimentando con l'alcool e con il rame si può affermare che il calore specifico dell'alcool e quello del rame valgono  $c_{alcool} = 0,58 \frac{cal}{g^{\circ}C}$  rispettivamente  $c_{Cu} = 0,09 \frac{cal}{g^{\circ}C}$ .

Come affrontare ora il problema quando ad essere messi a contatto sono tre o più corpi? soprattutto quando le temperature di partenza sono tutte diverse? Come risolvere ad esempio il seguente problema? In un recipiente isolato si pongono a contatto termico tre quantità di acqua a tre temperature diverse e cioè:  $m_1 = 0,55 kg$  a  $\vartheta_1 = 22^{\circ}C$ ,  $m_2 = 0,65 kg$  a  $\vartheta_2 = 30^{\circ}C$  e  $m_3 = 0,40 kg$  a  $\vartheta_3 = 45^{\circ}C$ ; determinare la temperatura all'equilibrio termico. Se appare ovvio che la massa  $m_1$  acquista calore e la massa  $m_3$  ne perde, che cosa succede alla massa  $m_2$ ? acquista o cede calore?

Si potrebbe rispondere procedendo con un calcolo a tappe, cioè calcolando la temperatura all'equilibrio termico fra due masse e in seguito determinare la temperatura al nuovo equilibrio termico fra la massa rimanente e la somma delle due masse precedenti alla temperatura del precedente equilibrio. Anche se corretto questo modo di procedere non è sicuramente elegante e soprattutto non è efficace quando le masse in gioco sono tante.

È preferibile affrontare il problema cominciando con il riscrivere la relazione di bilancio termico fra due corpi portando a sinistra anche il termine che si trova a destra vale a dire:

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f) \text{ diventa } c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) - c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f) = 0 \text{ oppure:}$$

$$c_1 \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) + c_2 \cdot m_2 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_2) = 0.$$

Come si può notare, in quest'ultima relazione la differenza di temperatura non è più scritta in modo che sia sempre positiva e intesa come aumento di temperatura (calore acquisito) o diminuzione di temperatura (calore ceduto) ma viene scritta sempre come differenza fra la temperatura all'equilibrio termico e quella di partenza. A seconda che si tratti del corpo freddo o di quello caldo questa differenza è positiva o negativa, così che uno dei termini è positivo (calore acquisito) e l'altro negativo (calore ceduto). Inoltre fra i due termini c'è in segno "+". Il bilancio non è più visto come calore acquistato uguale a quello ceduto ma come somma dei calori (positivo quello acquistato e negativo quello ceduto) pari a zero cioè:

$$Q_1 + Q_2 = 0.$$

Non ha più importanza sapere chi acquista o cede e dunque la relazione può essere generalizzata per un numero qualsiasi  $N$  di corpi (sostanze) a contatto termico vale a dire:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = 0.$$

Nel caso del problema precedente con tre masse di acqua la relazione diventa:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0 \text{ cioè}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_2 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_2) + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_3 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_3) = 0; \text{ risolvendo rispetto a } \vartheta_f \text{ troviamo:}$$

$$\begin{aligned} \vartheta_f &= \frac{c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_1 \cdot \vartheta_1 + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_2 \cdot \vartheta_2 + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_3 \cdot \vartheta_3}{c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_1 + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_2 + c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_3} = \frac{m_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot \vartheta_2 + m_3 \cdot \vartheta_3}{m_1 + m_2 + m_3} = \\ &= \frac{0,55 \text{ kg} \cdot 22^\circ\text{C} + 0,65 \text{ kg} \cdot 30^\circ\text{C} + 0,40 \text{ kg} \cdot 45^\circ\text{C}}{0,55 \text{ kg} + 0,65 \text{ kg} + 0,40 \text{ kg}} = 31^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Risulta chiaro che se si conosce a priori quali sono le sostanze che acquistano calore e quali invece quelle che cedono calore si può sempre scrivere la relazione di bilancio termico nel seguente modo:

**Somma di tutti i calori acquistati = Somma di tutti i calori ceduti.**

Queste generalizzazioni ci permettono di riguardare con maggiore rigore le esperienze fatte in precedenza, in particolare quelle in cui il contatto termico fra le due sostanze non avveniva in modo diretto ma, ad esempio, tramite un bicchiere. Ripensando all'esperienza in cui si ponevano a contatto  $1,0 \text{ kg}$  di acqua a  $20^\circ\text{C}$  con  $1,0 \text{ kg}$  di alcool a  $50^\circ\text{C}$  contenuti in un bicchiere avremmo dovuto affrontare il problema nel seguente modo:

$$Q_{\text{H}_2\text{O}} = Q_{\text{alcool}} + Q_{\text{bicchiere}} \text{ cioè con un bicchiere di vetro:}$$

$$c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\vartheta_f - \vartheta_{\text{H}_2\text{O}}) = c_{\text{alcool}} \cdot m_{\text{alcool}} \cdot (\vartheta_{\text{alcool}} - \vartheta_f) + c_{\text{vetro}} \cdot m_{\text{vetro}} \cdot (\vartheta_{\text{alcool}} - \vartheta_f).$$

Conoscendo i valori del calore specifico dell'alcool ( $c_{\text{alcool}} = 0,57 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ ) e del vetro ( $c_{\text{vetro}} = 0,19 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$ ) e la massa del bicchiere ( $m_{\text{vetro}} = 120 \text{ g}$ ) e risolvendo rispetto alla temperatura all'equilibrio si ottiene:

$\vartheta_f = 31,2^\circ\text{C}$  che corrisponde comunque al valore misurato ( $31^\circ\text{C}$ ) con un termometro con sensibilità a  $0,5^\circ\text{C}$ , cioè quello che avevamo a disposizione.

Questo non significa che l'aver trascurato il bicchiere sia stato concettualmente corretto, vuole solo dire che la presenza del bicchiere poteva essere in un primo momento trascurata in quanto influente per la precisione di misura richiesta.

In linea di principio si devono comunque mettere nell'equazione di bilancio termico tutti i corpi coinvolti nello scambio di calore e quindi anche il contenitore nel quale avviene il processo fisico. Quindi all'equazione precedente va aggiunto un ulteriore termine che tenga conto del calore acquistato dalla scatola di sagex (e forse pure il calore acquistato dal termometro presente nella scatola). Non si può però in questo caso prendere in considerazione tutta la massa della scatola in quanto solo una parte di essa viene coinvolta nello scambio di calore.

Di solito misure di scambio termico avvengono in un recipiente detto **calorimetro** delle mescolanze. Esso è composto da un recipiente di vetro isolato (un thermos), un coperchio, una reticella che serve per sostenere gli oggetti e per mescolare e un termometro. Tutte le componenti del calorimetro coinvolte nello scambio termico si trovano alla stessa temperatura iniziale e pertanto la differenza di temperatura una volta raggiunto l'equilibrio termico è la stessa per tutte. Il calore acquistato o ceduto vale pertanto:

$$Q = c_1 \cdot m_1 \cdot \Delta\vartheta + c_2 \cdot m_2 \cdot \Delta\vartheta + \dots + c_N \cdot m_N \cdot \Delta\vartheta = (c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_N \cdot m_N) \cdot \Delta\vartheta.$$

Alla somma di tutti i termini  $c \cdot m$  diamo il nome di **capacità termica** e viene indicata con  $C$  cioè:

$$C = c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2 + \dots + c_N \cdot m_N.$$

È chiaro che il concetto di capacità termica può essere applicato anche ad un corpo composto da una singola sostanza. Essa rappresenta la quantità di calore necessario per riscaldare quel corpo di  $1^\circ\text{C}$ .

Nel caso del calorimetro delle mescolanze, ma pure nel caso della scatola di sagex, non è possibile stabilire la capacità termica a partire dalle componenti. In questi casi la capacità termica viene misurata.

L'esperienza che permette di misurare la capacità termica di un calorimetro è molto semplice. Nel calorimetro in esame si versa una certa quantità nota d'acqua e se ne misura la temperatura, dopo avere atteso un attimo in modo che il calorimetro abbia la stessa temperatura dell'acqua. Si versa in seguito un'altra quantità d'acqua di massa e temperatura note nel calorimetro. Infine si misura la temperatura all'equilibrio termico.

La relazione di bilancio termico diventa pertanto (si supponga di aver versato inizialmente acqua calda):

$$c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_1 \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_2 \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f) + C_{\text{Cal}} (\vartheta_2 - \vartheta_f).$$

Risolvendo rispetto a  $C_{\text{Cal}}$  si ottiene:

$$C_{\text{Cal}} = c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_1 \cdot \frac{(\vartheta_f - \vartheta_1)}{(\vartheta_2 - \vartheta_f)} - c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_2$$

Tipici valore per i calorimetri in uso a scuola variano da  $10 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$  a  $20 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$ .

Una classica esperienza realizzabile con il calorimetro consiste nel determinare il calore specifico di una sostanza.

Si consideri ad esempio la seguente situazione. In un calorimetro di capacità termica  $12 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$  sono contenuti  $148 \text{ g}$  di acqua alla temperatura di  $21,4^\circ\text{C}$ . In esso si versano  $256 \text{ g}$  di alluminio alla temperatura di  $99,8^\circ\text{C}$ . All'equilibrio termico la temperatura è di  $41,4^\circ\text{C}$ . Per determinare il calore specifico dell'alluminio basta scrivere l'equazione di bilancio termico e risolverla rispetto a  $c_{\text{Al}}$ .

$c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) + C_{\text{Cal}} \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1) = c_{\text{Al}} \cdot m_{\text{Al}} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f)$ , da cui segue:

$$c_{\text{Al}} = \frac{(c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}} + C_{\text{Cal}}) \cdot (\vartheta_f - \vartheta_1)}{m_{\text{Al}} \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_f)} = \frac{\left(1 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \cdot 148 \text{ g} + 12 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}\right) \cdot (41,4^\circ\text{C} - 21,4^\circ\text{C})}{256 \text{ g} \cdot (99,8^\circ\text{C} - 41,4^\circ\text{C})} = 0,214 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}.$$

Le conclusioni che possiamo trarre da tutto questo è che, ponendo a contatto termico due o più corpi aventi temperatura iniziale diversa, essi raggiungono, dopo aver atteso a sufficienza, una situazione di equilibrio, detto equilibrio termico, caratterizzato da una temperatura comune. Questa situazione di equilibrio si realizza con lo scambio di una grandezza fisica che abbiamo chiamato calore, grandezza che dipende in maniera direttamente proporzionale dalla variazione di temperatura.

Come già ricordato all'inizio di questo capitolo, in un processo meccanico in cui è presente l'attrito, l'energia meccanica alla fine è minore di quella all'inizio. Inoltre la differenza, corrispondente all'energia "mancante", è andata ad aumentare l'energia del corpo in esame associata alla sua temperatura che abbiamo chiamato energia termica.

Anche uno scambio termico porta ad un aumento, o ad una diminuzione, della temperatura di un corpo e quindi della sua energia termica. Possiamo pertanto concludere che uno scambio di calore altro non è che un modo di scambiarsi energia termica fra due corpi. Di conseguenza anche la relazione di bilancio termico è un caso particolare della legge di conservazione dell'energia. Ma se acquisire o cedere calore è un modo di scambiarsi energia termica la grandezza calore deve essere a tutti gli effetti una energia e quindi deve essere misurata con l'unità di misura dell'energia, vale a dire il joule.

Nel paragrafo che segue andremo a verificare che l'aumento di temperatura associata all'aumento di energia termica è direttamente proporzionale alla perdita di energia meccanica e determineremo il rapporto fra il valore dell'energia meccanica persa espressa in joule e quello dell'energia termica guadagnata espressa in calorie (è chiaramente possibile esprimere l'energia termica guadagnata in calorie in quanto si può riscaldare il corpo in esame in maniera equivalente con un processo di contatto termico con un corpo più caldo).