

Relazione di Laboratorio

Gruppo 3

Gerardo Selce, Maurizio Liguori, Emanuela Galluccio

29/04/2025

STIMA DEL CALORE SPECIFICO DI UN METALLO

1 Introduzione

Scopo dell'esperienza è la stima del calore specifico di un metallo, utilizzando il calorimetro delle mescolanze, altrimenti noto come calorimetro di Regnault. Dal calore specifico misurato è stato poi determinato il suo materiale. L'esperienza si suddivide in due fasi:

- Nella prima fase viene stimata la capacità termica del calorimetro, espressa in termini dell'equivalente in acqua.
- Nella seconda fase viene stimato il calore specifico del metallo la cui composizione è ignota. In questa fase il metallo viene prima riscaldato e poi immerso nel calorimetro contenente acqua a temperatura ambiente.

2 Richiami teorici

2.1 Calore Specifico

Consideriamo un sistema termodinamico costituito da un corpo rigido. Ricordiamo che un corpo può dirsi rigido se, per i nostri scopi, volume e forma sono praticamente immutabili. In particolare, si può considerare trascurabile l'effetto della dilatazione termica. In questo caso, l'unico parametro termodinamico significativo per caratterizzare lo stato del sistema è la sola temperatura. Pertanto, per l'energia interna si avrà:

$$U = U(t) \quad (1)$$

Ricordando l'espressione del primo principio della termodinamica:

$$Q - L = \Delta U \quad (2)$$

nel caso in esame, per una qualunque trasformazione termodinamica che porti il sistema da una temperatura t_A ad una generica t , si ottiene:

$$Q - L = U(t) - U(t_A) \quad (3)$$

Consideriamo ora il caso in cui il sistema scambi calore Q senza scambiare lavoro meccanico (che in questo caso sarebbe per attrito), allora $L = 0$ e la (3) si riduce a:

$$Q = U(t) - U(t_A) \quad (4)$$

La (4) quantifica la quantità di calore necessaria per portare il sistema dalla temperatura t_A alla temperatura t . Generalmente, come dimostrano risultati sperimentali, tale quantità è proporzionale alla massa m del sistema. Pertanto, derivando rispetto alla temperatura e dividendo per la massa m si ottiene:

$$c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt} = \frac{1}{m} \frac{dU}{dt} \quad (5)$$

La quantità $c = \frac{1}{m} \frac{dQ}{dt}$ viene detta **calore specifico** del corpo. Essa rappresenta la quantità di calore che deve essere fornita all'unità di massa che si trova ad una certa temperatura T per innalzarla di un grado. Si misura in $\frac{\text{cal}}{\text{gK}}$ oppure in $\frac{\text{Joule}}{\text{kgK}}$. In altri termini, c descrive quanto il sistema è resistente a una variazione di temperatura quando assorbe o cede energia termica e si tratta di una proprietà caratteristica per ogni materiale. La quantità mc viene detta **capacità termica** del corpo ed indica la quantità di calore che è necessario somministrare a tutto il corpo per causare un aumento di temperatura pari ad un grado.

2.2 Calorimetro delle Mescolanze

Il calorimetro delle mescolanze è uno strumento utilizzato per studiare gli scambi di calore tra corpi o sostanze posti a temperature diverse, senza che avvengano reazioni chimiche o cambiamenti di stato. È costituito da un contenitore isolante, spesso realizzato in materiali a bassa conducibilità termica, dotato di coperchio, foro per il termometro e agitatore. L'isolamento termico è fondamentale per ridurre al minimo le dispersioni di calore verso l'ambiente esterno e rendere l'apparato il più simile possibile a un sistema termicamente chiuso. Alla base del funzionamento del calorimetro delle mescolanze vi è il principio di conservazione dell'energia: in assenza di scambi termici con l'ambiente, il sistema $C + S$ composto dal calorimetro e dalle sostanze in esso contenute può considerarsi un sistema isolato e pertanto gli scambi energetici possono avvenire solo tra le sue parti. Il primo principio della termodinamica ci assicura dunque che, detti Q_C e Q_S rispettivamente il calore scambiato dal calorimetro con le sostanze e quello scambiato dalle sostanze con il calorimetro, si ha:

$$Q_C + Q_S = 0 \quad (6)$$

Per tener conto dell'effetto termico del calorimetro stesso, si introduce il concetto di equivalente in acqua del calorimetro: una massa fittizia di acqua che assorbe la stessa quantità di calore che sarebbe assorbita dal calorimetro reale.

2.2.1 Fase 1

Versando una quantità di acqua di massa nota m_1 nel calorimetro, il sistema calorimetro-massa m_1 raggiunge presto una temperatura T_1 . Consideriamo una seconda massa m_2 di acqua, questa viene portata alla temperatura di ebollizione T_2 e versata rapidamente nel calorimetro. In questo modo ci si assicura che non ci siano scambi energetici significativi con l'ambiente esterno. Dopo un tempo sufficiente, il sistema composto dal calorimetro e dalle masse m_1 ed m_2 raggiungerà una temperatura di equilibrio T_e . Per quanto detto (in particolare dalla (6)), segue:

$$\Delta Q_C + \Delta Q_{m_1} + \Delta Q_{m_2} = 0 \quad (7)$$

dove ΔQ_C , ΔQ_{m_1} e ΔQ_{m_2} sono rispettivamente il calore scambiato dal calorimetro, da m_1 e da m_2 . Esplicitando questi termini, utilizzando la (5), si ottiene:

$$c_a m_2 (T_2 - T_1) = c(T_e - T_1) + c_a m_1 (T_e - T_1) \quad (8)$$

dove c_a indica il calore specifico dell'acqua (che si assume costante e uguale al valore a temperatura ambiente) e c è la capacità termica del calorimetro. Utilizzando il concetto di equivalente in acqua del calorimetro m_e , possiamo riscrivere:

$$c = c_a m_a \quad (9)$$

La (8) pertanto diventa:

$$c_a m_2 (T_2 - T_1) = c_a m_e (T_e - T_1) + c_a m_1 (T_e - T_1) \quad (10)$$

da cui si ricava facilmente:

$$m_e = \frac{m_2 (T_2 - T_e)}{T_e - T_1} - m_1 \quad (11)$$

2.2.2 Fase 2

Una volta ricavato il valore di m_e è possibile ricavare il calore specifico della sostanza incognita. A partire dal sistema calorimetro-massa m_1 che si trova alla temperatura T_1 , in un contenitore separato, si porta ad ebollizione T_2 una certa quantità di acqua in cui viene immersa il metallo di massa nota m_x e si attende fino al raggiungimento di uno stato di equilibrio, in cui la sostanza avrà raggiunto la temperatura T_2 . A questo punto, immergendo rapidamente il metallo nel calorimetro, questo raggiungerà una temperatura di equilibrio con il sistema calorimetro-massa m_1 e ancora una volta si ha:

$$c_x m_x (T_2 - T_e) = c_a m_e (T_e - T_1) + c_a m_1 (T_e - T_1) \quad (12)$$

da cui possiamo ricavare facilmente il calore specifico c_x del metallo:

$$c_x = \frac{c_a (m_1 + m_e) (T_e - T_1)}{m_x (T_2 - T_e)} \quad (13)$$

2.3 Richiami di teoria della misura

Sia g una grandezza fisica dipendente da N grandezze fisiche x_1, \dots, x_N tale che

$$g = f(x_1, \dots, x_N) \quad (14)$$

con

$$x_1 = x_{10} \pm \Delta x_1 \quad (15)$$

...

$$x_N = x_{N0} \pm \Delta x_N \quad (16)$$

La formula di propagazione dell'errore massimo è:

$$\Delta g = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\partial g}{\partial x_i} \right|_{\vec{x}=\vec{x}_0} \Delta x_i \quad (17)$$

con

$$\vec{x} = (x_1, \dots, x_N) \quad (18)$$

$$\vec{x}_0 = (x_{10}, \dots, x_{N0}) \quad (19)$$

Sia g una grandezza fisica pari alla somma, o alla differenza, di N grandezze fisiche x_1, \dots, x_N tale che

$$g = x_1 \pm \dots \pm x_N \quad (20)$$

con

$$x_1 = x_{1_0} \pm \Delta x_N \quad (21)$$

...

$$x_N = x_{N_0} \pm \Delta x_N \quad (22)$$

La formula di propagazione dell'errore massimo è:

$$\Delta g = \Delta x_1 + \dots + \Delta x_N \quad (23)$$

3 Apparato sperimentale

Per l'esecuzione dell'esperienza è stato utilizzato il seguente apparato sperimentale:

- Un calorimetro con coperchio munito di agitatore e foro per il termometro;
- Un fornellino;
- Un blocchetto di metallo;
- Un filo sottile di rame;
- Un becher;
- Acqua distillata;
- Pinze per becher;
- Bilancia digitale;
- Termometro digitale.

Strumenti di misura	Risoluzione
Bilancia digitale	0.01 <i>g</i>
Termometro digitale	0.1°C

Tabella 1: Risoluzione degli strumenti di misura utilizzati



Figura 1: Calorimetro utilizzato per l'esperimento.



Figura 2: Becher utilizzati per l'esperimento.

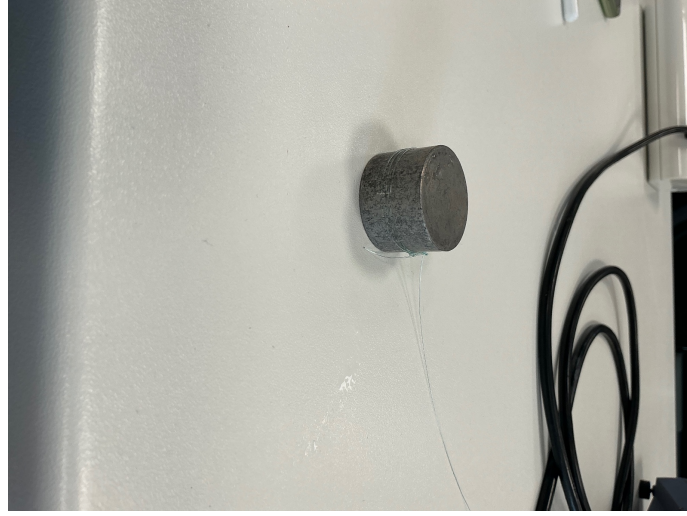


Figura 3: Metallo utilizzato per l'esperimento e di cui è stato stimato il calore specifico.

4 Descrizione e analisi dei dati sperimentali

4.1 Fase 1

È stata inizialmente misurata la massa m_1 d'acqua con la bilancia digitale. Sono state raccolte tre misurazioni. Il valore finale è stato stimato come la media delle tre misurazioni e l'incertezza è quella strumentale poiché maggiore della semidispersione.

$$m_1 = (140.45 \pm 0.01) \text{ g} \quad (24)$$

Una volta versata la quantità d'acqua m_1 all'interno del calorimetro ne è stata misurata la temperatura T_1 utilizzando il termometro digitale.

$$T_1 = (19.1 \pm 0.1) ^\circ \quad (25)$$

È stata poi stimata la massa d'acqua m_2 con lo stesso procedimento utilizzato per la massa m_1 .

$$m_2 = (111.57 \pm 0.01) \text{ g} \quad (26)$$

Una volta versata la quantità d'acqua m_2 all'interno di un becher, quest'ultimo è stato posto su un fornello elettrico e fatto riscaldare, portando l'acqua alla temperatura T_2 .

$$T_2 = (94.2 \pm 0.1) ^\circ \quad (27)$$

A questo punto la quantità d'acqua m_2 è stata versata rapidamente nel calorimetro ed è stata misurata la temperatura di equilibrio T_e .

$$T_e = (49.5 \pm 0.1) ^\circ \quad (28)$$

Con queste misurazioni dirette è possibile stimare l'equivalente in massa del calorimetro m_e . La sua incertezza è stata valutata col metodo dei differenziali (Legge (17)).

$$\Delta m_e = \left| \frac{\partial m_e}{\partial m_2} \right| \Delta m_2 + \left| \frac{\partial m_e}{\partial m_1} \right| \Delta m_1 + \left| \frac{\partial m_e}{\partial T_2} \right| \Delta T_2 + \left| \frac{\partial m_e}{\partial T_1} \right| \Delta T_1 + \left| \frac{\partial m_e}{\partial T_e} \right| \Delta T_e \quad (29)$$

Dalla Legge (11) e dalla Legge (29) otteniamo:

$$m_e = (135.2 \pm 1.9) \text{ g} \quad (30)$$

4.2 Fase 2

Per questa fase dell'esperienza è stata misurata una nuova massa d'acqua m_1 .

$$m_1 = (201.09 \pm 0.01) \text{ g} \quad (31)$$

Una volta versata la quantità d'acqua m_1 all'interno del calorimetro ne è stata misurata la temperatura T_1 .

$$T_1 = (21.5 \pm 0.1) ^\circ \quad (32)$$

È stata misurata la massa m_x del metallo.

$$m_x = (46.99 \pm 0.01) \text{ g} \quad (33)$$

Il metallo è stato poi immerso in acqua in stato di ebollizione per 10 minuti. In questo periodo di tempo il metallo si è portato alla temperatura T_2 .

$$T_2 = (98.0 \pm 0.1) ^\circ \quad (34)$$

A questo punto il metallo è stato immerso rapidamente nel calorimetro e ne è stata misurata la temperatura d'equilibrio T_e .

$$T_e = (24.0 \pm 0.1) ^\circ \quad (35)$$

Con queste misurazioni dirette è possibile stimare il calore specifico del metallo c_x (tenendo conto che il calore specifico dell'acqua sia $c_a = 1 \frac{\text{cal}}{\text{gK}}$). La sua incertezza è stata valutata col metodo dei differenziali (Legge (17)).

$$\Delta c_x = \left| \frac{\partial c_x}{\partial m_1} \right| \Delta m_1 + \left| \frac{\partial c_x}{\partial m_e} \right| \Delta m_e + \left| \frac{\partial c_x}{\partial m_x} \right| \Delta m_x + \left| \frac{\partial c_x}{\partial T_1} \right| \Delta T_1 + \left| \frac{\partial c_x}{\partial T_2} \right| \Delta T_2 + \left| \frac{\partial c_x}{\partial T_e} \right| \Delta T_e \quad (36)$$

Dalla Legge (13) e dalla Legge (36) otteniamo:

$$c_x = (0.24 \pm 0.03) \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} \quad (37)$$

5 Conclusioni