

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. 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.

Infine, dal calore specifico del metallo misurato, è stato poi determinato il suo materiale confrontando tale stima con i calori specifici di diverse sostanze.

kcal/(kg K)

Ferro	0,12
Ferro	0,12
Ferro	0,12
Acciaio INOX	0,12
INOX temprato	9,12
Alluminio	0,21
Argento	0,057
Bronzo	0,086
Magnesio	0,27
Mercurio	0,033
NiCr	0,11
Ottone	0,094
Oro	0,031
Piombo	0,032
Platino	0,035
Rame	0,095
Stagno	0,054
Titanio	0,142
Tungsteno	0,04
Zinco	0,095

Figura 1: Calori specifici di diversi materiali.

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:

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

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

$$x_1 = x_{1_0} \pm \Delta x_1 \quad (15)$$

...

$$x_N = x_{N_0} \pm \Delta x_N \quad (16)$$

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

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

$$\vec{x}_0 = (x_{1_0}, \dots, x_{N_0}) \quad (19)$$

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 g
Termometro digitale	0.1°C

Tabella 1: Risoluzione degli strumenti di misura utilizzati



Figura 2: Calorimetro utilizzato per l'esperimento.



Figura 3: Becher utilizzati per l'esperimento.

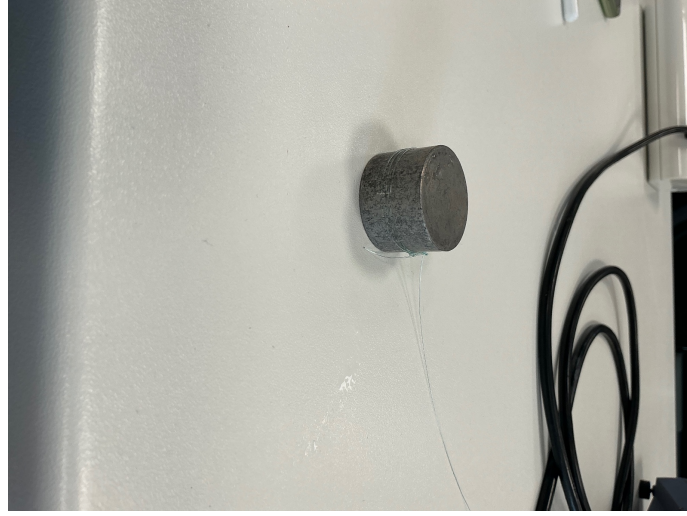


Figura 4: Metallo utilizzato per l'esperimento e di cui è stato stimato il calore specifico.

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.

$$T_1 = (19.1 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (25)$$

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 .

$$T_2 = (94.2 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (27)$$

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 .

$$T_e = (49.5 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (28)$$

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 .

$$T_1 = (21.5 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (32)$$

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 .

$$T_2 = (98.0 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (34)$$

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

$$T_e = (24.0 \pm 0.1) \text{ }^\circ\text{C} \quad (35)$$

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

In conclusione, confrontando il risultato ottenuto nella (37) con i valori tabulati in Tabella (1) dei calori specifici di vari materiali, si osserva che esso risulta compatibile, entro l'incertezza sperimentale, con il valore del calore specifico dell'alluminio, pari a $0.21 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}}$. Inoltre, come si vede in Figura (4), il metallo analizzato è di colore grigio-argento opaco e non presenta ruggine. Queste caratteristiche sono tutte compatibili con l'alluminio.