

6.08 - Calore Specifico

6.08.a) Legge Fondamentale della Termologia

Un modo per fare aumentare la *Temperatura di un Corpo* è quello di cedere ad esso del *Calore*, per esempio mettendolo in *Contatto Termico* con un *Corpo a Temperatura Più Alta*.

Sperimentalmente si è trovato che la *Quantità di Calore* necessaria per far *Variare la Temperatura* di un *Corpo* è proporzionale:

- 1) Alla *Massa del Corpo*;
- 2) Alla *Variazione della Temperatura*;
- 3) Dipende dalla *Sostanza* di cui è costituito il *Corpo*.

Tutto ciò come si vedrà a breve, si traduce in una legge che definisce una quantità fondamentale nello studio dei fenomeni termici: il **Calore Specifico**.

Relazione $Q-\Delta T$

Supponendo che la *Variazione di Energia del Sistema* sia dovuta a un *Trasferimento di Calore Q* tra i *Corpi*, vale che il *Calore che deve Assorbire una Sostanza di Massa m* affinché la sua *Temperatura* subisca la *Variazione ΔT* è dato da:

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

Dove c è una costante caratteristica della sostanza in oggetto detta **Calore Specifico**.

Essendo $c \cdot m > 0$: $\text{sgn}(Q) = \text{sgn}(\Delta T)$, tale relazione esprime il **Calore Assorbito da un Corpo quando la sua Temperatura aumenta di ΔT** ma anche il **Calore Ceduto dallo stesso Corpo quando la sua Temperatura Diminuisce della stessa Quantità**.

6.08.b) Calore specifico e sua Unità di Misura

Dalla relazione $Q - \Delta T$ possiamo ricavare l'espressione del calore specifico come segue: $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$.

Unità di Misura del Calore Specifico: $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ oppure: $\frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
 molto utilizzata come unità è: $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$.

6.08.c) Definizione di Capacità Termica di un Corpo

Il rapporto fra l'*Energia Acquistata da una Sostanza ΔE* di *Massa m* e il suo *Incremento di Temperatura ΔT* è detta **Capacità Termica del Corpo** la grandezza:

$$C = \frac{\Delta E}{\Delta T} = c \cdot m$$

Dunque, quanto più grande è la *Massa* che viene scaldata, tanto maggiore è l'*Energia* necessaria per aumentare la sua *Temperatura* di un *Grado*, cioè la *Capacità Termica* è direttamente proporzionale alla *Massa*.

Interpretazione della Definizione

La *Capacità Termica di un Corpo*, costituisce una *Misura del Calore* necessario per innalzare di **1 Grado** la *Temperatura* del *Corpo* stesso.

6.08.d) Calore Specifico di un Corpo a Pressione o Volume Costante

In realtà, non ha senso parlare di *Calore Specifico* (e quindi di *Capacità Termica*) *di un Corpo* se non sono precisate le condizioni sotto cui lo scaldiamo o raffreddiamo. Si definiscono dunque due *Calori Specifici*:

- Il Calore Specifico a Pressione Costante (c_p)
- Il Calore Specifico a Volume Costante (c_v)

Osservazione Operativa

Mentre questi valori sono apprezzabilmente diversi tra loro nel caso dei *Gas*, le cui *Variazioni di Volume a Pressione Costante* possono essere notevoli, nei *Solidi* e nei *Liquidi* sono circa uguali. Comunque, per *Sostanze allo Stato Solido o Liquido*, poiché in generale le *Variazioni di Temperatura* avvengono alla *Pressione Atmosferica*, ci si riferisce abitualmente al *Calore Specifico a Pressione Costante*.

Esempio di Trasformazione a Volume Costante

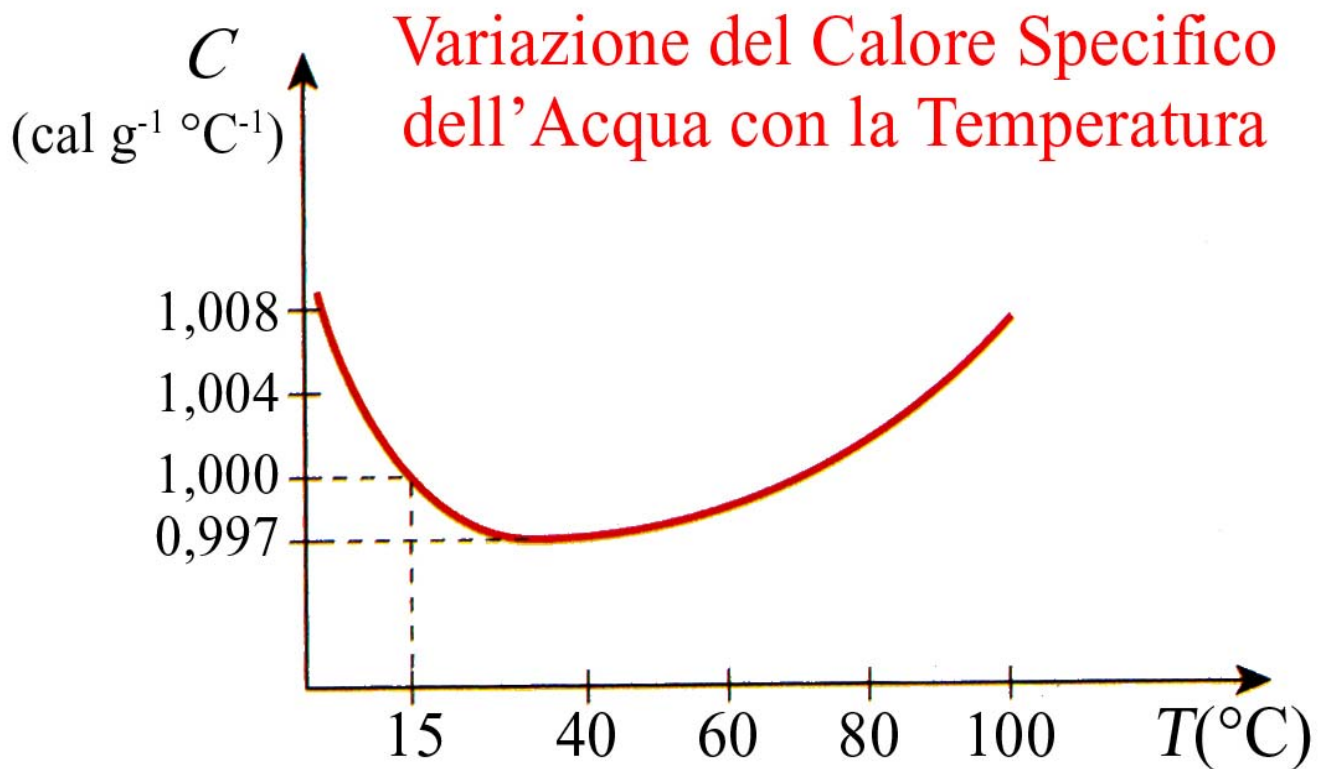
Gas contenuto in un recipiente a forma di *Cilindro Sigillato con uno Stantuffo Bloccato*.

Esempio di Trasformazione a Pressione Costante *Gas* contenuto in un recipiente a forma di *Cilindro Sigillato con uno Stantuffo Non Bloccato* e quindi libero di sollevarsi.

La *Quantità di Calore* Q che bisogna somministrare nei due casi alla stessa *Quantità di Gas* per ottenere uno stesso *Incremento di Temperatura* ΔT è diversa, e quindi risulta anche differente il *Calore Specifico* (in quanto ad esso strettamente connesso). Più precisamente, nel caso del *Riscaldamento a Pressione Costante* il *Calore Specifico* c_p è maggiore di c_v tipico del *Riscaldamento a Volume Costante*, in quanto una parte del *Calore* viene utilizzata per sollevare lo *Stantuffo* (si parla anche di *Lavoro di Espansione*).

6.08.e) Calore Specifico dell'Acqua

Si è detto che il *Calore Specifico*, per un dato *Materiale*, è una *Costante*. In realtà ciò è vero, con buona approssimazione, solo per variazioni piuttosto piccole della *Temperatura*; infatti il *Calore Specifico* varia, sia pure lentamente, al variare della *Temperatura*. Resta così giustificato perché, nel definire la *Caloria*, ci siamo riferiti a una particolare variazione di 1°C della *Temperatura Dell'acqua*, precisamente da 14.5°C a 15.5°C . In figura è rappresentato il grafico del *Calore Specifico dell'Acqua in Funzione della Temperatura*: si può osservare che a 15°C esso vale: $1.000 \text{ cal}/(\text{g}^{\circ}\text{C})$ e che inoltre, le sue *Variazioni con la Temperatura* sono piuttosto piccole.



Osservazioni Importanti

Dalle tabelle del paragrafo successivo, si osserva che, a parte l'*Idrogeno*, il *Calore Specifico dell'Acqua* è maggiore di quello delle altre sostanze elencate; ciò significa che per provocare la stessa *Variazione di Temperatura*, l'*Acqua* necessita di una *Quantità di Calore* maggiore di quella che, a parità di *Massa* occorre per le altre sostanze.

L'*Acqua*, quindi, in natura, rappresenta una specie di *Serbatoio Termico*, cioè un *Elemento Equilibratore* che tende a far variare molto lentamente la *Temperatura dell'Ambiente* in cui è presente in notevole quantità.

6.08.f) Tabelle dei Calori Specifici (Temperatura Ambiente / Pressione Atmosferica)

Nella prima tabella che segue, sono riportati i *Calori Specifici di alcune Sostanze a Temperatura Ambiente (20°C) ed a Pressione Atmosferica (1 atm = 1,03·10⁵ Pa = 760 mmHg).*

Per i *Gas* invece, si è considerato un *Calore Specifico* detto Calore Specifico a Pressione Costante.

Sostanza Temperatura Ambiente (20°C) Pressione Atmosferica (1 atm)	Calore specifico (cal g ⁻¹ °C ⁻¹)	Calore specifico (J kg ⁻¹ °C ⁻¹)
Rame	0,0920	385
Alluminio	0,214	896
Zinco	0,0929	389
Oro	0,0308	129
Argento	0,0571	239
Piombo	0,0308	129
Ferro	0,108	452
Stagno	0,0571	239
Carbone	0,287	1.200
Zolfo	0,175	733
Silicio	0,162	678
Vetro	0,191	800
Ghiaccio (0 °C)	0,487	2.040
Ghiaccio (-20 °C)	0,466	1.950
Bronzo	0,0908	380
Invar	0,110	460

Sostanza Temperatura Ambiente (20°C = 293 K) Pressione Atmosferica (1 atm)	Calore specifico (cal g ⁻¹ °C ⁻¹)	Calore specifico (J kg ⁻¹ °C ⁻¹) (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
Ottone	0,0908	380
Acqua (0 °C)	1,008	4.218
Acqua (15 °C)	1,000	4.186
Acqua Di Mare	0,939	3.930
Glicerina	0,571	2.390
Alcool Etilico	0,581	2.430
Benzina	0,535	2.240
Mercurio	0,0332	139
Olio	0,442	1.850
Petrolio	0,454	1.900
Idrogeno	3,411	14.280
Ossigeno	0,219	917
Azoto	0,248	1.038
Anidride Carbonica	0,200	837
Vapore d'Acqua (100 °C)	0,463	1.940

6.08.g) Applicazione del Principio di Conservazione dell'Energia

Il *Principio di Conservazione dell'Energia* impone che il *Calore Ceduto* da un *Corpo* sia uguale al *Calore Assorbito* dall'altro. In generale, per un *Sistema Costituito da N corpi*, la somma delle *Quantità di Calore Scambiate dai Singoli Corpi*, prese ciascuna con il proprio segno, Positivo (se si tratta di *Calore Assorbito*) e Negativo (se si ha *Calore Ceduto*), è *Nulla*. Indicando con la *Quantità di Calore Scambiata dall'i-esimo Corpo* possiamo scrivere:

$$\sum_{k=1}^N Q_k = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N = 0.$$

Dunque la *Somma* è estesa a tutti i *Corpi* che compongono il sistema.

Osservazioni sugli Scambi di Calore

Dalla relazione: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ si vede facilmente che:

- Se la *Temperatura Finale* è *Maggiore* della *Temperatura Iniziale* (*Variazione di Temperatura Positiva*), la *Quantità di Calore* al primo membro è *Positiva* (*Calore Assorbito dal Corpo*);
- Se la *Temperatura Finale* è *Minore* della *Temperatura Iniziale* (*Variazione di Temperatura Negativa*), la *Quantità di Calore* al primo membro è *Negativa* (*Calore Ceduto dal Corpo*);

Dalla relazione: $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, possiamo esprimere la *Quantità di Calore* in forma esplicita in funzione delle *Variazioni di Temperatura*.

6.08.h) Legge Fondamentale della Termologia

Si abbia un *Sistema di Corpi in Contatto Termico*:

- m_k : la *Massa del k-esimo Corpo*;
- c_k : la *Calore Specifico del k-esimo Corpo*;
- $T_{i,k}$: *Temperatura Iniziale del k-esimo Corpo*;
- $T_{F,k}$: *Temperatura Finale del k-esimo Corpo*;

(N.B.: è uguale per tutti i *Corpi* in quanto il *Sistema* arriva all'*Equilibrio Termico*).

$T_{F,k}$ è costante, pertanto possiamo assegnarli un nome uguale per tutti i *Corpi* (T_F).

Sotto queste ipotesi, supponendo che la *Variazione di Energia del Sistema* è dovuta a dei *Trasferimenti di Calore* Q_k tra i vari *Corpi*, vale che:

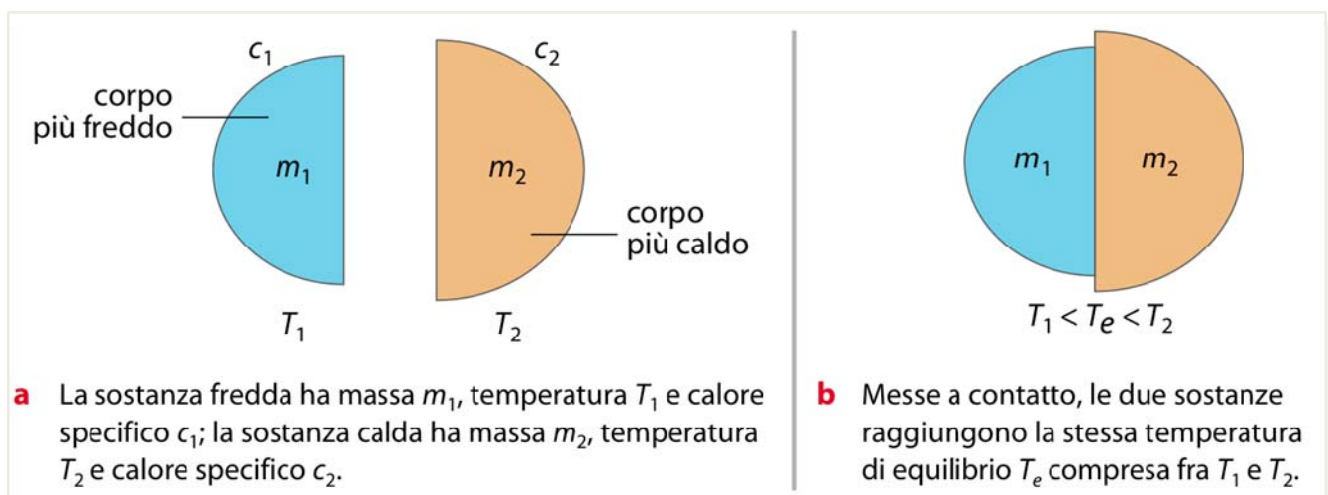
$$\Delta E \equiv Q = \sum_{k=1}^N Q_k = \sum_{k=1}^N m_k \cdot c_k \cdot (T_F - T_{i,k}).$$

6.08.i) Equilibrio Termico Tra Due Corpi (Equazione all'Equilibrio Termico)

L'equazione del paragrafo precedente può essere utilizzata per:

- i) trovare la *Temperatura T_e di Equilibrio di un Sistema di Corpi in Contatto Termico* (note che siano le *Masses*, i *Calori Specifici* e le *Temperature Iniziali*);
- ii) Ricavare un *Calore Specifico Incognito* se sono note le *Masses*, le *Temperature Iniziali* e la *Temperatura di Equilibrio T_e* .

Come già visto nei paragrafi precedenti [§ 6.03 (b)], quando due *Sostanze* sono poste a *Contatto Termico*, raggiungono la stessa *Temperatura di Equilibrio*, in quanto una certa *Quantità di Energia* (sotto forma di *Calore*) si trasferisce dalla *Sostanza Più Calda* alla *Sostanza Più Fredda*. Il valore della *Temperatura di Equilibrio* dipende sia dalle *Masses delle Sostanze*, sia dai *Calori Specifici*, sia da eventuali *Dispersioni di Calore Verso l'Ambiente*. Si considerino una *Sostanza Fredda* ed una *Sostanza Calda* come sintetizzato in figura (a). Messe a contatto, le due sostanze raggiungono la *Temperatura di Equilibrio*, che si indicherà con T_e .



La *Sostanza Calda Cede Calore* e si raffredda. Il relativo *Scambio Energetico* è dato da:

$$Q_{\text{CEDUTO}} = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_F - T_i) = c_2 \cdot m_2 \cdot (T_e - T_2) < 0$$

(è negativo perché: $T_e < T_2$)

La *Sostanza Fredda Acquista Calore* e si riscalda. Il relativo *Scambio Energetico* è dato da:

$$Q_{\text{ACQUISTATO}} = c_1 \cdot m_1 \cdot (T_F - T_i) = c_1 \cdot m_1 \cdot (T_e - T_1) > 0$$

(è positivo perché: $T_e > T_1$)

Supponendo che non ci siano *Dispersioni di Calore* verso altre *Sostanze* o l'*Ambiente Esterno*, la *Quantità di Calore* che la *sostanza Calda* cede è interamente acquistata dalla *Sostanza Fredda*, ovvero:

$$Q_{\text{ACQUISTATO}} = - Q_{\text{CEDUTO}}$$

[Il “segno meno” si spiega con il fatto che il *Calore Ceduto* è *Negativo* mentre il *Calore Acquistato* è *Positivo*; dunque, nell’eguagliare coerentemente le due quantità si deve cambiare *Segno* a una delle due]:

$$\Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot (T_e - T_1) = -m_2 \cdot c_2 \cdot (T_e - T_2) \Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot T_e - m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 = -m_2 \cdot c_2 \cdot T_e + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot c_1 \cdot T_e - m_1 \cdot c_1 \cdot T_1 = -m_2 \cdot c_2 \cdot T_e + m_2 \cdot c_2 \cdot T_2 \Rightarrow$$

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

Equazione dell’Equilibrio Termico