

# Kemia

*fascino e complessità della chimica*

DIVULGAZIONE E RICERCA

I

*Direttore*

Margherita VENTURI  
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

*Comitato scientifico*

Paola AMBROGI  
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

Paola GOVONI  
Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

Nick SERPONE  
Concordia University

# Kemia

*fascino e complessità della chimica*

DIVULGAZIONE E RICERCA



Là dove la natura finisce di produrre le sue specie, l'uomo comincia, utilizzando le specie della natura, e in armonia con la natura stessa, a creare una infinità di specie.

— LEONARDO DA VINCI

Tutti i processi che sostengono la vita sono basati su reazioni chimiche, e tutto ciò che viene utilizzato quotidianamente è la risultante di composti chimici, naturali o artificiali. Negli ultimi cento anni lo studio della materia ha apportato enormi benefici all'umanità dando forte impulso all'attuale progresso scientifico e tecnologico: ha fornito potenti fonti di energia; ha prodotto vaccini e farmaci capaci di prevenire e curare molte malattie; ha contribuito a sviluppare materiali con proprietà eccezionali come polimeri, materie plastiche e semiconduttori; in agricoltura, ha introdotto fertilizzanti e molto ancora.

*Kemia* pubblica monografie e saggi che permettono al lettore di intraprendere un meraviglioso viaggio nel mondo degli atomi e delle molecole alla scoperta della bellezza e dei misteri della natura.

La sezione "Didattica e studi" privilegia gli aspetti di base della chimica senza però tralasciare i risvolti più innovativi, anche per quanto riguarda l'approccio metodologico-didattico.

La sezione "Divulgazione e ricerca" ha, invece, l'obiettivo di presentare, in modo scientificamente rigoroso ma adatto a qualsiasi lettore curioso, i temi d'avanguardia e i risvolti sociali della ricerca chimica.



*Vai al contenuto multimediale*

Nick Serpone  
Stefano Protti  
Satoshi Horikoshi

## **Le Microonde**

Tra scienze chimiche e scienze gastronomiche





Aracne editrice

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)  
[info@aracneeditrice.it](mailto:info@aracneeditrice.it)

Copyright © MMXIX  
Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale

[www.giacchinoonoratieditore.it](http://www.giacchinoonoratieditore.it)  
[info@giacchinoonoratieditore.it](mailto:info@giacchinoonoratieditore.it)

via Vittorio Veneto, 20  
00020 Canterano (RM)  
(06) 45551463

ISBN 978-88-255-2151-1

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento anche parziale,  
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie  
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: gennaio 2019

# Indice

- 9 *Introduzione*
- 11 *Capitolo I*  
*Aspetti storici del calore*
- 17 *Capitolo II*  
*Calore vs temperatura*
- 21 *Capitolo III*  
*La termodinamica*
- 25 *Capitolo IV*  
*Cosa sono le microonde?*
- 27 *Capitolo V*  
*Applicazioni delle microonde*
- 29 *Capitolo VI*  
*Il riscaldamento a microonde e le sue applicazioni*
- 31 *Capitolo VII*  
*La chimica a microonde e la lavorazione di materiali*
- 35 *Capitolo VIII*  
*Reazioni chimiche via microonde*
- 39 *Capitolo IX*  
*Sintesi e funzionalizzazione di materiali*
- 41 *Capitolo X*  
*Uso delle microonde in altri campi scientifici*
- 45 *Capitolo XI*  
*Il riscaldamento di alimenti via microonde*

- 49    Capitolo XII  
      *Il forno a microonde*
- 51    Capitolo XIII  
      *Modi per prevenire la fuoriuscita di microonde*
- 53    Capitolo XIV  
      *Doratura e croccatura in un forno a microonde*
- 55    Capitolo XV  
      *L'uso delle microonde nell'industria alimentare*
- 57    Capitolo XVI  
      *Futuro della lavorazione degli alimenti con microonde*
- 59    Capitolo XVII  
      *Sviluppi futuri dei forni a microonde*
- 61    *Osservazioni conclusive*
- 65    *Bibliografia*
- 69    *Ringraziamenti*

## Introduzione

Il riscaldamento per microonde ha trovato negli ultimi cinquant'anni innumerevoli applicazioni che spaziano dalla messa a punto di forni per uso domestico alla chimica di sintesi. Inoltre, le microonde vengono impiegate in processi di lavorazione dei materiali quali sinterizzazione, nel riscaldamento dei metalli, nell'estrazione di composti chimici da matrici naturali, e per illuminare le cosiddette lampade a scarica, cioè le cosiddette *electrodeless lamps* (senza l'uso di elettrodi e fili metallici). L'applicazione di questa tecnica nella modificazione chimica e strutturale di sostanze ha portato all'osservazione di fenomeni, altrimenti non osservati durante un riscaldamento convenzionale. I meccanismi di questi fenomeni devono ancora essere pienamente compresi. In ogni caso, prima di addentrarci nel mondo delle microonde, è importante comprendere il significato di *calore*, *temperature* e *lavoro*, e conoscere le relazioni che intercorrono tra queste grandezze.



## Aspetti storici del calore

La natura del calore e la distinzione tra quantità di calore presente in un substrato e la sua temperatura fu chiaramente posta dallo scienziato scozzese Joseph Black (Fig. 1.1) nella metà del XVIII secolo. Black, infatti, comprese che i termometri potevano essere usati per misurare la quantità di calore ricevuta/ceduta da un corpo misurando l'andamento della temperatura durante il processo di riscaldamento o raffreddamento.

Per gli esperimenti, due flaconi di vetro riempiti con la stessa quantità di acqua vennero posti in ghiaccio. In uno dei due flaconi venne inoltre aggiunta una piccola quantità di alcol. Una volta rimossi i flaconi, Black notò che, nonostante i due flaconi fossero alla stessa temperatura, quello che conteneva acqua pura si era congelato, mentre l'altro, contenente l'alcol, rimaneva allo stato liquido. I due flaconi quindi furono sottoposti a riscaldamento, e, mentre la miscela acqua/alcol aumentava gradualmente la sua temperatura, il ghiaccio rimaneva alla temperatura di congelamento. Poiché i contenitori avevano assorbito il calore alla stessa velocità, Black sostenne che il calore assorbito dal ghiaccio dopo 10 ore avrebbe dovuto aumentare la temperatura della stessa quantità di acqua di  $78\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $172.4\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), e definì questa quantità come il calore latente di fusione dell'acqua.

Lo studio fu ulteriormente esteso [1] e applicato a sostanze diverse dall'acqua permettendo a Black di elaborare la sua teoria sul calore latente, che è alla base della termodinamica classica. La stessa teoria ebbe da subito diverse applicazioni pratiche, e fu sfruttata da James Watt per migliorare l'efficienza del motore a vapore inventato da Thomas Newcomen [1].

Verso la fine del 1700, gli esperimenti di Fahrenheit, di Black e di altri scienziati erano riusciti a definire un metodo sistematico per misurare la temperatura, flussi di calore, e capacità termiche, ma la reale natura del calore rimaneva comunque ignota. Nel 1787, Lavoisier propose la teoria del calorico (dalla parola greca per il calore), un fluido (le cui particelle si respingono a vicenda) in grado di scorrere da un corpo caldo ad un corpo freddo, teoria supportata inoltre dalle osservazioni di Black, che aveva definito il calore come una quantità conservata [2].

La prima ricerca che mise in dubbio la teoria del calorico si svolse in una fabbrica di cannoni in Baviera sotto la direzione di Benjamin Thompson (Fig.

1.2 – noto anche come Conte Rumford del Sacro Romano Impero). Nella fabbrica, i cilindri dei cannoni venivano infatti trivellati usando una punta di ferro all'interno di un cilindro di ottone, e ciò portava alla generazione di calore da attrito il quale, secondo la teoria calorica, era dovuto sia alla pressione che alla rotazione della punta. Thompson misurò la quantità di calore prodotta durante il processo immergendo il cilindro di ottone appena lavorato nell'acqua. Con suo grande stupore, l'acqua (2 galloni, circa 7.6 L) iniziò a bollire.

La relazione tra lavoro e calore venne definitivamente chiarita da uno studio di James Prescott Joule (Fig. 1.3) che osservò il riscaldamento del filo conduttore di una batteria che alimentava un motore. Questo esperimento spinse Joule a scrivere nel 1844:

The mechanical power exerted in turning a magneto–electric machine is converted into the heat evolved by the passage of the currents of induction through its coils, whereas the motive power of the electromagnetic engine is obtained at the expense of the heat due to the chemical reactions of the battery by which it is worked. [3]

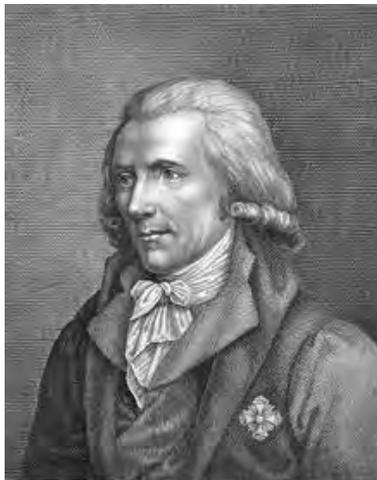
Inoltre, Joule ipotizzò che il calore fosse una forma di energia cinetica, al pari del calore e del lavoro dinamico, ed equivalente quindi al calore ed al lavoro cinetico. Per stabilire l'equivalenza tra calore e lavoro, lo scienziato eseguì un esperimento in cui l'acqua veniva agitata da un'elica legata a due pesi, come descritto in Fig. 1.4 [4]. Nello stesso periodo, l'equivalenza del



**Figura 1.1.** Joseph Black – medico e chimico scozzese, noto per i suoi studi sul magnesio, sull'anidride carbonica, calore latente, calore specifico. È stato professore di Anatomia e Chimica presso l'Università di Glasgow, e poi professore di Medicina e Chimica presso l'Università di Edimburgo. ([https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph\\_Black](https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Black); maggio 2018).

lavoro dinamico e del calore veniva suggerita anche da Julius Robert von Mayer (Germania).

Alla riunione annuale del 1847 dell'Associazione Britannica per l'avanzamento delle scienze, Joule tentò quindi di confutare la teoria del calorico e quella del motore termico articolata da Sadi Carnot ed Émile Clapeyron, che sostenevano la mutua convertibilità del calore e del lavoro meccanico e la loro equivalenza meccanica. William Thomson (Fig. 1.5 – noto anche come Lord Kelvin, Inghilterra), scettico nei confronti dell'opinione di Joule, sebbene ritenesse che i risultati di Joule necessitassero di una spiegazione teorica approfondita, si espresse comunque a favore della teoria di Carnot–Clapeyron. Lord Kelvin predisse che il punto di fusione del ghiaccio doveva decrescere con la pressione; in caso contrario, la sua espansione sul congelamento avrebbe potuto essere sfruttata in un mobile perpetuo [5]. Insoddisfatto del termometro a gas che forniva solo una definizione operativa di temperatura, Kelvin estese ulteriormente la teoria di Carnot–Clapeyron e propose una scala di temperatura assoluta in cui « un'unità di calore discendente da un corpo  $A$  alla temperatura  $T$  di questa scala, ad un corpo  $B$  alla temperatura  $(T - 1)$ , darebbe lo stesso effetto meccanico (lavoro), qualunque sia il numero  $T$  ». Inoltre Kelvin osservò che una tale scala avrebbe potuto essere « del tutto indipendente dalle proprietà fisiche di qualsiasi sostanza specifica » [6]. Infine, Kelvin ipotizzò che sarebbe stato raggiunto un punto in cui non ogni ulteriore trasferimento di calore era impossibile. L'esistenza di questo punto, ora indicato come lo zero assoluto,



**Figura 1.2.** Benjamin Thompson (Conte Rumford) – fisico e inventore britannico di origine americana, le cui sfide per affermare la teoria fisica facevano parte della rivoluzione del XIX secolo in termodinamica.

era già stata ipotizzata da Guillaume Amontons nel 1702 e da Carnot nel 1824 sul lavoro *Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu* (Riflessioni sulla forza motrice del calore). A quel tempo, si considerava come zero assoluto una temperatura di  $-267\text{ }^{\circ}\text{C}$  (zero gradi Kelvin) [5]. Inoltre, Kelvin descrisse l'energia interna di un sistema come la somma dell'energia cinetica di ogni atomo o molecola presente e l'energia potenziale del sistema. In particolare, egli sostenne che il divario nell'energia interna con il cambiamento di stato del sistema fosse uguale alla somma del lavoro aggiunto dall'esterno e dalla caloria. Più tardi, il calore fu infine riassunto come un punto fisico da James Clerk Maxwell (Fig. 1.6 – Inghilterra) nel suo libro *Theory of Heat* del 1871.

Anche Carnot contribuì significativamente alla determinazione del calore, tentando di rispondere a due quesiti sul funzionamento dei motori termici [7]

- a) il lavoro disponibile da una fonte di calore è potenzialmente illimitato?;
- b) i motori termici potrebbero essere, in linea di principio, migliorati sostituendo il vapore con altri fluidi o gas funzionanti? Una conclusione importante alla quale Carnot giunse, dimostrava come la forza motrice del calore fosse indipendente dagli agenti impiegati per realizzarla essendo la sua quantità fissata unicamente dalla differenza di temperatura tra i corpi, tra i quali si effettua il trasferimento del calorico [8].



**Figura 1.3.** James Prescott Joule – fisico e matematico inglese che ha studiato la natura del calore e ha scoperto il suo rapporto con il lavoro meccanico che ha portato alla legge di conservazione dell'energia, e che a sua volta ha portato allo sviluppo della prima legge della termodinamica.