

Il calore: energia o sostanza?

di Nadia Correale

Nucleo Trasversale

Storia della Scienza (riferito a L'energia e le sue trasformazioni)

Autore

Nadia Correale

Referente Scientifico

Giovanni di Pasquale

Ordine di scuola

Scuola secondaria di primo grado

Livello scolastico

Classi prima, seconda e terza

Tempo medio per svolgere il percorso

15 h + 10 h per la costruzione dell'esperimento di Joule

Indice

Scheda generale	3
Introduzione al percorso.....	5
Descrizione del percorso	8
Attività 1 - La trasmissione del calore e il termometro	9
Attività 2 - L'esperimento: Il calore assorbito dipende dal tipo di sostanza e dalla sua quantità?	13
Attività 3 - Gli esperimenti di Thompson e Joule	15
Attività 4 - L'esperimento: l'equivalente meccanico e l'energia termica	20
Indicazioni metodologiche	23
Spunti per un approfondimento disciplinare	23
Spunti per collegamenti con Ed. alla sostenibilità e/o Storia della Scienza	23
Spunti per la valutazione	23
Spunti per altre attività con gli studenti	23
Documentazione e materiali	24

Scheda generale

Riferimenti alle Indicazioni per il curriculum

Affrontare concetti fisici quali: [...] energia, temperatura e calore effettuando esperimenti e comparazioni, raccogliendo e correlando dati con strumenti di misura e costruendo reti e modelli concettuali e rappresentazioni formali di tipo diverso.

Comparare le idee di storia naturale e di storia umana.

Organizzatori concettuali

- Temperatura e calore.
- Conservazione dell'energia e sua degradazione.

Concetti Chiave

Attraverso gli esperimenti eseguiti da Benjamin Thompson (1753 – 1814) e James Prescott Joule (1818 – 1889) per trovare l'equivalente meccanico, si intende approfondire il significato di calore da un punto di vista scientifico, misurando sperimentalmente anche il calore assorbito da diversi tipi di sostanze.

Prerequisiti dello studente

- Saper ordinare i dati in sequenze.
- Conoscere il diagramma a barre e l'unità di misura della massa nel Sistema Internazionale.

Obiettivi lato docente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato di calore.
- Trasmettere agli studenti l'idea che la scienza è un cammino di conoscenza che si sviluppa partendo da domande chiave che permettono di comprendere i fenomeni e di superare il senso comune.
- Ripercorrere i ragionamenti e gli esperimenti di Thompson e Joule per permettere l'interpretazione del calore inteso come forma di energia che si trasforma e si conserva.¹

Obiettivi lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato del calore.
- Comprendere che la capacità termica di un corpo dipende dalla sua massa e dal suo calore specifico e che il calore è una forma di energia che si trasforma e si conserva.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura negli esperimenti proposti (del calore assorbito e dell'equivalente meccanico).
- Giungere a sintetizzare il percorso storico formulando una legge matematica generale che esprima la relazione tra calore, temperatura, massa e calore specifico del corpo e trovando sperimentalmente il rapporto tra energia cinetica e termica.
- Comprendere che l'energia tende sempre a dissiparsi o a degradarsi sotto forma di energia termica.

Competenze lato docente

- Partire dalle preconcoscenze degli studenti per organizzare e animare situazioni di apprendimento significativo.
- Dedicare tempi ampi alla discussione, al dialogo, al confronto alla riflessione su quello che si fa;
- Individuare nel linguaggio corrente i modi di esprimersi in accordo o disaccordo con i corretti termini scientifici.
- Fornire agli studenti strumenti di lettura analitica e critica della "complessità" del mondo naturale, stimolandoli ad applicare il metodo scientifico in contesti ambientali e sociali.
- Riflettere sui modi di procedere della scienza, sulle sue specificità e sui suoi vincoli, anche culturali e sociali.

Competenze lato studente

- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare ad annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali e cogliendo lo spessore storico dello sviluppo della scienza.
- Ricordare e applicare alla situazione problematica la conoscenza scientifica necessaria.

¹ A questo obiettivo si connettono i seguenti obiettivi derivati e più particolari:

- migliorare l'apprendimento del formalismo matematico (compreso quello grafico e algebrico) attraverso la legge del calore assorbito dal corpo e relazione tra energia cinetica e termica (equivalente meccanico);
- trasmettere agli studenti l'importanza di usare strumenti precisi di misura negli esperimenti proposti (del calore assorbito e dell'equivalente meccanico);
- favorire l'individuazione delle variabili che determinano la variazione di calore assorbito da un corpo (la massa, il calore specifico, la variazione di temperatura);
- far comprendere il concetto di dissipazione o degradazione dell'energia.

Introduzione al percorso

Frequentemente succede che gli studenti non sono accompagnati ad approfondire il significato del concetto di calore e rimane perciò la misconcezione dettata dal senso comune secondo cui calore e temperatura siano la stessa cosa. La confusione è alimentata dal fatto che una tendenza comune è quella di bruciare le tappe introducendo senza adeguata preparazione il livello microscopico della materia col risultato che l'energia cinetica esercitata sul sistema e l'aumento di temperatura vengono associate direttamente al movimento degli atomi e delle molecole. A parte l'eccessiva semplificazione e riduzione della spiegazione dei fenomeni che non consente la comprensione profonda di essi, vengono totalmente omessi dei passaggi concettuali intermedi. Da questo punto di vista ripercorrere le tappe storiche che nel corso del tempo hanno permesso di approfondire in ambito scientifico il concetto di calore, permette di renderci conto di molte cose. Prima di tutto il fatto che la teoria in base a cui è il moto eccitato e caotico degli atomi e delle molecole che crea nel nostro corpo una sensazione di caldo o freddo, è un'idea relativamente moderna che si afferma solo a partire dal XIX secolo, momento storico in cui l'esistenza degli atomi era ancora messa in discussione da molti scienziati. Infatti la teoria del calorico, in base a cui il calore fosse un fluido imponderabile, che passava dal corpo più caldo a quello più freddo attraverso lo sfregamento o per mezzo della combustione (disperdendosi in ultimo anche nell'aria), per quanto oggi ci possa apparire alquanto sorprendente, sopravvisse per lungo tempo e fu estremamente difficile da sradicare. Facciamo notare che anche la teoria atomica più antica che si rintraccia nella storia e che risale a Democrito, concepiva l'esistenza di atomi di calore.



I primi scienziati (o filosofi) che avevano ipotizzato che il calore fosse legato a qualche forma di moto corpuscolare, in base ad una concezione meccanicista che si andava a poco a poco affermando, erano (per citare i più famosi) Cartesio (1596-1650), Francis Bacon (1561-1626), Robert Boyle (1627-1691), Robert Hooke (1635-1703), Galileo Galilei (1564 - 1642) e Isaac Newton (1642 - 1727) sebbene non riuscirono a fornire prove sperimentali esaurienti di questa loro convinzione.

Per documentare questo riporto tre brevi citazioni di Galileo, Boyle e Newton:

"[...]Inclino assai a credere che il calore sia di questo genere, e che quelle materie che in noi producono e fanno sentire il caldo, le quali noi chiamiamo con nome generale fuoco, siano una moltitudine di corpicelli minimi, in tal e tal modo figurati, mossi con

tanta e tanta velocità; li quali, incontrando il nostro corpo, lo penetrino con la loro somma sottilità, e che il loro toccamento, fatto nel loro passaggio per la nostra sostanza e sentito da noi, sia l'affezione che noi chiamiamo caldo, grato o molesto secondo la moltitudine e velocità minore o maggiore d'essi minimi che ci vanno pungendo e penetrando."

G. Galilei, *Il Saggiatore*,
in Bergamaschini M. E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001).
L'indagine del mondo fisico, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano.

"Una volta che l'Universo è stato strutturato da Dio e sono state determinate le leggi del movimento, sorrette dal suo incessante aiuto e dalla generale provvidenza, i fenomeni del mondo così costituiti sono prodotti dalle affezioni meccaniche delle parti della materia e dalle loro reciproche operazioni secondo le leggi della meccanica."

R. Boyle, *About the excellency and grounds of the mechanical hypothesis*,
in Bergamaschini M. E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001).
L'indagine del mondo fisico, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano.

"Molte cose mi inducono infatti a sospettare che tutti i fenomeni dipendano da certe forze per opera delle quali le particelle dei corpi, per cause ancora sconosciute, o sono spinte l'una verso l'altra o si connettono in figure regolari oppure si respingono e si allontanano l'una dall'altra."

I. Newton *Philosophia naturalis principia mathematica*,
in Bergamaschini M. E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001).
L'indagine del mondo fisico, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano.

Perfino Kelvin (1824-1907) per molto tempo si dimostrò molto dubbioso riguardo alla natura del calore. Questo soprattutto per via dell'influenza del pensiero di Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796-1832) che aveva definito qualche anno prima (1824) in termini matematici il limite superiore di efficienza della macchine a vapore dell'epoca a partire dalla teoria del calorico. Fu solo più tardi che contemporaneamente a Clausius, sviluppando gli studi di Carnot, elaborò il secondo Principio della Termodinamica a prescindere dalla teoria del calorico (questo aspetto di proposito non viene approfondito perché esula dal nostro percorso). Prima di Kelvin, il padre della chimica moderna Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), aveva definitivamente provato l'inesattezza della teoria del flogisto, un fluido immateriale che si pensava si trasmettesse da un corpo all'altro. Egli spiegò infatti in termini analoghi a quelli attuali, che era l'ossigeno che innescava quella che oggi chiamiamo la reazione di combustione. Pur tuttavia era convinto che il calore e la luce fossero sostanze, al pari degli elementi veri e propri, che entravano in gioco nella reazione, a testimonianza del fatto che sopravviveva pervicacemente la convinzione dell'esistenza del calorico. In conclusione, fu solo quando James Clerk Maxwell (1831-1879) e più tardi Ludwig Boltzmann (1844-1906) elaborarono le loro teorie cinetiche dei gas attraverso gli strumenti matematici della meccanica statistica, che si affermò la teoria atomica abban-

donando definitivamente quella del calorico. Tuttavia ancora esistevano molte resistenze e contrasti non privi di conseguenze che impedivano di accettare l'esistenza di atomi non solo in senso convenzionale, dal momento che questo fu uno dei motivi che probabilmente portarono Boltzmann al suicidio. La lunga disputa ebbe fine solamente nella prima decade del XX secolo quando Jean Perrin - attraverso una lunga serie di esperimenti che provarono la correttezza della teoria formulata da Albert Einstein per spiegare il moto Browniano che era fondata su quella atomica - dimostrò in maniera inoppugnabile l'esistenza degli atomi. Tutta questa carrellata molto veloce di scienziati e presentazione delle loro teorie e scoperte che abbiamo rammentato ci è parsa doverosa per far percepire con cognizione di causa quanto sia stato lungo e faticoso il percorso che ha condotto all'attuale concezione di calore e temperatura, che coinvolge anche conoscenze del comportamento della materia anche a livello microscopico. Per questo motivo ci sembra più utile e adeguato per gli studenti della secondaria di primo grado affrontare tale argomento con la dovuta gradualità riproponendo (come dettaglieremo in seguito) alcuni degli esperimenti più importanti - comprensibili su scala macroscopica - che hanno contribuito a chiarire la differenza tra calore e temperatura e il principio di equivalenza, piuttosto che anticipare conoscenze che non potrebbero neppure essere apprezzate nella loro complessità e profondità perché richiedono di possedere categorie concettuali di tipo matematico e strumenti sperimentali più sofisticati. Questo approccio permette inoltre agli studenti di immedesimarsi nelle domande a cui gli scienziati intendevano rispondere coinvolgendosi in prima persona. Prima di procedere con il nostro percorso val la pena fornire qualche breve informazione riguardo all'utilizzo del calore prima del XVIII secolo. Se andiamo ancora più indietro nel tempo, rimaniamo stupefatti da quanti oggetti, utensili e strumenti sono stati prodotti fin dai tempi delle civiltà antiche che presuppongono conoscenze tecniche sulla fusione dei metalli e sul fissaggio dei colori ad alte temperature su terracotta; basti pensare ai preziosi gioielli e ai vasi decorati che risalgono agli antichi persiani nel VII a. C., sebbene non fossero noti i principi termodinamici, non essendo chiari neppure concetti fondamentali come la differenza tra temperatura e calore, (cosa che è avvenuta solo nel XVII secolo). Ancora più stupefacente l'invenzione dell'*aelipila* ad opera degli antichi greci nel I secolo d.C. che utilizzava l'azione del getto di vapore per ottenere la rotazione di una sfera. Una macchina termica analoga ad essa ricomparve solo nel XVII e XVIII secolo per azionare delle grossolane pompe per l'acqua. A questo punto era però finalmente stato compreso il suo principio di funzionamento attraverso la legge di conservazione dell'energia (di cui tratteremo in seguito).

Descrizione del percorso

A partire dalle conoscenze degli studenti e da semplici esperienze (sfregamento della gomma, sensazione di freddo e caldo che cambia) vengono focalizzate delle domande chiave: la temperatura è la stessa cosa del calore? Quali sono gli strumenti di cui si ha bisogno per misurare queste grandezze e qual è il loro principio di funzionamento? Per rispondere a queste domande si fa riferimento al percorso storico che ha consentito la comprensione di quali sono le grandezze macroscopiche da cui dipende il calore, vale a dire la quantità o massa della sostanza, il suo calore specifico e la variazione di temperatura. Attraverso gli esperimenti della seconda attività si verifica anche che tutte queste grandezze sono direttamente proporzionali al calore; questo fatto consente di formulare una legge che le lega tra loro. Sempre facendo tesoro dell'evoluzione dell'interpretazione del concetto di calore avvenuta nel corso della storia, si può riproporre l'istruttiva esperienza eseguita da Thompson e in seguito quella più sofisticata e rigorosa di Joule. Attraverso di essa si può comprendere che il lavoro eseguito sul calorimetro ha l'effetto di produrre calore. Di conseguenza il calore non può essere interpretato come una sostanza invariante immagazzinata nei corpi: esso si trasforma e per questo per descriverlo risulta adeguato il termine energia. Inoltre, essendo il calorimetro isolato termicamente, (cioè non avvengono scambi di calore con l'ambiente esterno) può essere calcolato il rapporto tra il lavoro eseguito sul sistema e il calore assorbito dal sistema.

Attività 1 - La trasmissione del calore e il termometro

Obiettivi e competenze specifiche lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato del calore.
- Comprendere che la capacità termica di un corpo dipende dalla sua massa e dal suo calore specifico e che il calore è una forma di energia che si trasforma e si conserva.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura per quanto riguarda misurando il calore assorbito.
- Giungere a sintetizzare il percorso storico formulando una legge matematica generale che esprima la relazione tra calore, temperatura, massa e calore specifico del corpo.

Competenze specifiche lato studente

- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare ad annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 2 h

Introduzione all'attività

L'attività può iniziare con domande poste agli studenti per sondare le pre-conoscenze dopo l'osservazione di semplici situazioni in cui il movimento di oggetti produce sensibilmente un effetto di calore (esempio: sfregamento delle mani o della gomma da cancellare sul foglio...). Gli studenti percepiscono attraverso il tatto un aumento di calore (e di temperatura, al momento non entriamo nei dettagli sulla loro differenza). A questo punto si può ricordare loro che perfino gli uomini primitivi avevano effettuato questa scoperta sensazionale e rivoluzionaria: sfregando insieme due bastoncini di legno, si produceva calore e successivamente fuoco, utile per cuocere cibi, scaldarsi, illuminare di notte ecc. Tornando al fenomeno che si sta osservando, esso consente di capire che il calore passa da un corpo ad un altro. Dopo un po' di tempo però la gomma si raffredda. L'esperienza del raffreddamento di un corpo caldo è ben nota: il cibo caldo dopo un po' si raffredda, noi stessi ci raffreddiamo in ambienti meno riscaldati. Si può cercare di riflettere sul motivo per cui questo avviene e sul fatto che questo fenomeno ci suggerisce che il passaggio di calore non avviene per sempre: ad un certo punto si arresta. Tutto questo verrà approfondito attraverso gli esperimenti della seconda attività introducendo il concetto di equi-

librio termico. Un'altra cosa di cui ci rendiamo conto è che abbiamo bisogno di strumenti di misura perché le nostre sensazioni non sono per nulla oggettive. Riguardo a questo punto basta fare l'esempio di quello che succede quando proveniamo da un ambiente molto freddo e molto caldo: all'inizio le nostre sensazioni di temperatura sono diverse e siamo più sensibili nel primo caso al caldo nel secondo al freddo. Oppure si può eseguire in classe o a casa un'esperienza molto semplice: far toccare per un minuto circa dei cubetti di ghiaccio e notare la differenza di sensazione percepita toccando la gomma sfregata sul foglio prima e dopo tale operazione. I contenuti di questa prima attività, possono essere ulteriormente approfonditi, in particolare in riferimento alla comprensione del concetto di equilibrio termico e agli strumenti di misura della temperatura, facendo riferimento al percorso di Mirella Rafanelli *"Caldo e freddo, con senso e con misura"*.

Joseph Black (chimico-fisico scozzese 1728-1799) diede importanti contributi per quanto riguarda la comprensione del concetto di calore, chiarendo per primo la differenza intercorrente tra calore e temperatura. Introdusse la definizione di calore latente, come si può desumere dalla lettura di questo stralcio da lui scritto che descrive le sue osservazioni riguardo ai passaggi di stato dell'acqua:

"Quando il ghiaccio, per esempio, o qualunque altra sostanza solida viene liquefatta dal calore, io credo che essa riceva una quantità di calore molto più grande di quella che è percepibile mediante il termometro. Una maggior quantità di calore fluisce in essa, in tale caso, senza farla apparentemente riscaldare [...] Questo calore, tuttavia, deve essere introdotto in essa, per darle la forma del fluido e io ritengo che questa grande aggiunta di calore è la principale e più immediata causa della fluidità indotta."

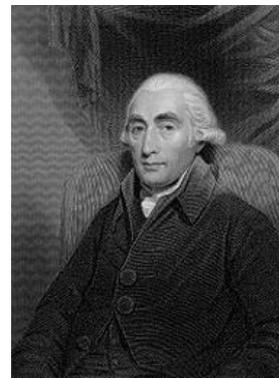
Più avanti spiega come la stessa cosa avvenga nel passaggio dello stato liquido a quello di ebollizione, evidenziando come:

*"[...] il calore sia assorbito dall'acqua ed entri nella composizione del vapore da essa prodotto. E, come in quest'ultimo caso l'effetto visibile del calore non consiste nel riscaldamento dei corpi circostanti ma nel rendere liquido il ghiaccio, così, nel caso dell'ebollizione il calore assorbito non riscalda i corpi circostanti ma converte l'acqua in vapore. In entrambi i casi non siamo in grado di percepire la presenza calore, causa del riscaldamento nascosto, o latente e **gli ho dato il nome di calore latente.**"*

J.Black, *Lectures on the elements of chemistry*,
in Bergamaschini M.E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001).
L'indagine del mondo fisico, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano, p.73

Abbiamo ritenuto importante parlare, seppur brevemente, di questo particolare tipo di calore che si rintraccia solo quando avvengono i passaggi di stato (che in questa sede non affrontiamo). Questo caso è infatti emblematico per mostrare agli studenti la differenza tra calore e temperatura perché accade addirittura che non viene apprezzata variazione di temperatura sebbene il calore sia stato fornito al corpo. Per i docenti che volessero approfondire l'argomento, si potrebbero anche proporre esperimenti attraverso cui gli studenti possono rendersi conto attraverso le loro misurazioni di questo fenomeno.

Una curiosità che ci sembra interessante riportare è che J. Black poté individuare il calore latente cercando di rispondere alla domanda che gli posero alcuni distillatori scozzesi locali dello Scotch whiskey². Essi erano interessati a conoscere la quantità minima di combustibile necessaria per la distillazione (che richiede l'ebollizione del liquido alcolico e successivamente la sua refrigerazione senza disperderne i vapori). Il modo in cui è avvenuta questa scoperta è particolarmente istruttivo perché permette di rendersi conto che spesso la conoscenza dei fenomeni avviene quasi per caso nel tentativo di rispondere a problemi molto concreti. Inoltre questo esempio consente di mostrare il fatto che esistono da sempre interazioni proficue e costruttive tra ricerca scientifica, innovazione tecnologica e produzione industriale.



Ritratto di Joseph Black

Egli scrisse:

«Con l'uso di questo strumento (il termometro) abbiamo imparato che se prendiamo anche mille e più differenti specie di materia, quali metalli, pietre, sali, legni, piume, lana, acqua e altri fluidi diversi, le quali sostanze abbiano inizialmente calori (N.B. Il termine corretto oggi sarebbe temperatura) differenti e se le collochiamo insieme in una stanza non riscaldata e nella quale non dà il sole, il calore verrà comunicato dai più caldi di questi corpi ai più freddi.»

Da Einstein A., Infeld L. (1965).
L'evoluzione della Fisica, Bollati Boringhieri, Torino, p. 48.

[Audio - Black](#)

In Natura, dunque, avviene sempre spontaneamente il passaggio di calore dai corpi più caldi ai corpi più freddi. Tale passaggio avviene fino a quando i corpi raggiungono la stessa temperatura e in termini scientifici corretti si dice che viene raggiunto l'equilibrio termico. Questo principio fondamentale è alla base anche del funzionamento del *termometro* classico al *mercurio* utilizzato per misurare la temperatura corporea o dell'ambiente. Tali termometri – oggi sostituiti in gran parte da quelli digitali – sono costituiti da un tubicino sottile graduato di vetro che contiene una colonna di mercurio. Il mercurio è l'unico metallo che a temperatura ambiente rimane allo stato liquido e si dilata, come tutti i metalli, ma in modo molto marcato all'aumentare della temperatura. Se dunque il bulbo del termometro è posto a contatto del corpo di una persona, esso acquista la stessa temperatura, misurabile attraverso la scala graduata. L'invenzione del termometro fu resa possibi-

² Informazione tratta dal sito <http://peripateticengineer.blogspot.it/2009/02/scotch-whiskey-and-thermodynamics.html>

le dalla scoperta oltre che della dilatazione dei liquidi all'aumentare della temperatura, anche del valore costante della temperatura di fusione e di ebollizione delle sostanze. Queste due proprietà sono fondamentali per costruire la scala di un termometro. Infatti occorrono due punti di riferimento fissi e facilmente riconoscibili che corrispondono al livello del mercurio quando il bulbo del termometro è posto a contatto col ghiaccio al momento in cui comincia a fondere e il livello del mercurio quando il bulbo è posto a contatto con l'acqua in ebollizione. Nella scala Celsius viene indicato con 0 gradi il primo punto e con 100 gradi il secondo. Per questo motivo la scala adottata si definisce centigrada.

Per questa attività suggeriamo di mostrare/proiettare delle slide che proponiamo come materiale allegato.

[Slides - Come si propaga il calore](#)

Attività 2 - L'esperimento: Il calore assorbito dipende dal tipo di sostanza e dalla sua quantità?

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato del calore.
- Comprendere che la capacità termica di un corpo dipende dalla sua massa e dal suo calore specifico e che il calore è una forma di energia che si trasforma.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura per quanto riguarda il calcolo del calore assorbito.
- Giungere a sintetizzare il percorso storico formulando una legge matematica generale che esprima la relazione tra calore, temperatura, massa e calore specifico del corpo.

Competenze specifiche lato studente

- Elaborare ipotesi sulla base delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 3 h + 2 h per la relazione da svolgere a casa

Introduzione all'attività

Questo esperimento permette di chiarire la differenza tra calore e temperatura. Gli studenti svolgono gli esperimenti a gruppi. Il primo esperimento consiste nel calcolare - utilizzando la formula - il calore assorbito dai diversi liquidi (acqua, olio, aceto) di due diverse quantità (per semplicità una doppia dell'altra) dopo averli riscaldati con una stessa fonte di calore (che perciò non varia per i diversi liquidi) fino a raggiungere una certa temperatura stabilita, per esempio 40 gradi centigradi. A tal scopo possono essere utilizzati scaldabiberon elettrici o bollitori facilmente in commercio. Gli studenti possono verificare che il calore assorbito dipende sia dalla quantità di liquido che dal tipo di sostanza, contrariamente alla temperatura. Ai ragazzi si può far notare che il calore viene trasmesso ai corpi attraverso la resistenza del bollitore e che la quantità di esso aumenta in modo proporzionale al tempo di esposizione alla sorgente di calore. Una volta eseguiti gli esperimenti, ogni gruppo svolge una relazione - corredata se possibile, di grafico che riporti per ogni sostanza utilizzata il calore assorbito al variare della massa del liquido - e la espone al docente, che ha modo di apportare le dovute correzioni, e agli altri studenti in modo tale che il lavoro svolto diventi patrimonio comune. Inoltre in questa fase si possono formulare considerazioni di tipo quantitativo; ad esempio si può notare che con una quantità doppia di liquido anche la quantità sia di tempo che di calore necessario per raggiungere la stessa temperatura raddoppia. Queste osservazioni potrebbero indurre ad effettuare nuove misure per vedere cosa succede con una quantità tripla o quadrupla ecc. e per e-

ventualmente effettuare delle previsioni NB: occorrono termometri che arrivano a misurare almeno 50 gradi centigradi. Per quanto riguarda la costruzione dei grafici, può essere utilizzato excel.

In generale notiamo che è possibile effettuare misure del calore assorbito da un solido piuttosto che da un liquido, come è mostrato nella figura sottostante.



Fig.2: Calcolo del calore specifico nei solidi [\[fonte\]](#)

Per quanto riguarda lo schema della relazione che gli studenti devono produrre, suggeriamo che essi rispondano alle domande: **“Cosa occorre?, Cosa faccio?, Cosa osservo?, Cosa capisco?”**. Considerando la risposta alla terza domanda vale la pena precisare che le osservazioni che gli studenti devono fornire sono sia di carattere qualitativo che quantitativo (misurazioni, tabelle, grafici); la risposta all’ultima domanda deve contenere invece la spiegazione di quanto è stato osservato, cercando di adottare una terminologia appropriata. I contenuti di questa seconda attività, se vogliono essere ulteriormente approfonditi mediante altri esperimenti ed esempi, in particolare in riferimento alla comprensione del concetto di capacità termica e calore specifico, si possono consultare altri percorsi relativi agli argomenti calore e temperatura, in particolare quello di Mirella Rafanelli Caldo e freddo, con senso e con misura.

Attività 3 - Gli esperimenti di Thompson e Joule

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato del calore.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura nel descrivere gli esperimenti.
- Comprendere che l'energia tende sempre a dissiparsi o a degradarsi sotto forma di energia termica.
- Giungere a sintetizzare il percorso storico trovando sperimentalmente il rapporto tra energia cinetica e termica.

Competenze specifiche lato studente

- Elaborare ipotesi sulla base delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 2 h

Introduzione all'attività

Il senso comune degli studenti viene messo a confronto con l'interpretazione del calore data da Thompson e Joule.

Riflettendo su quanto è stato verificato durante le attività sperimentali precedenti, emerge che il calore può fluire da un corpo ad un altro. Tuttavia possiamo presumere che se fosse possibile isolare perfettamente dall'ambiente esterno la sostanza che consideriamo, il calore contenuto in essa non dovrebbe variare. È possibile riprodurre una situazione del genere, con un certo grado di approssimazione, ponendo la sostanza in un thermos. La domanda che si potrebbe porre agli studenti è a questo punto la seguente: il calore in essa contenuto si conserva qualunque cosa succeda all'interno del thermos? Dopo aver lasciato libero spazio alle ipotesi degli studenti, si può confrontare quanto emerge dalla discussione con le risposte date dagli studiosi nel passato. Per molto tempo, fino al XIX secolo, era fortemente radicata la convinzione che il calore, in base alla teoria del calorico (di cui abbiamo parlato nell'introduzione) al pari di ogni sostanza, non potesse essere né creato né distrutto.

Benjamin Thompson (1798), un espatriato dalle colonie americane di Inghilterra (gli attuali Massachusetts e New Hampshire) che in Baviera ottenne il titolo di conte Rumford, inferse un duro colpo a questa concezione.

Possiamo apprendere direttamente da questo testo il racconto delle osservazioni di Thompson mentre le canne di cannone venivano perforate nell'arsenale di Monaco in Baviera:



Benjamin Thompson
(1753 – 1814)

«Avviene frequentemente che nelle ordinarie faccende e occupazioni della vita si presenti l'occasione di assistere a talune fra le più curiose operazioni della Natura [...] sono persuaso che l'abitudine di tenere gli occhi aperti su tutto ciò che avviene nel corso ordinario della vita ha condotto [...] a utili quesiti e a sensati divisamenti d'indagine e di perfezionamento, assai più spesso che non le più profonde meditazioni dei filosofi durante le ore dedicate allo studio [...]

Trovandomi recentemente impegnato nel dirigere la foratura di cannoni nelle officine dell'arsenale di Monaco, fui sorpreso dal considerevolissimo grado di calore che in breve tempo, un cannone di ottone acquista con la foratura, nonché dall'ancora più intenso calore (assai superiore a quello dell'acqua bollente come constatai sperimentalmente) dei trucioli metallici che il trapano separa dal cannone [...]

Donde proviene il calore effettivamente prodotto durante l'operazione meccanica suddetta?

É esso fornito dai trucioli separati col trapano dalla massa solida del metallo? Se così fosse, allora secondo la moderna dottrina del [...] calorico, la capacità [oggi calore specifico] dovrebbe non soltanto essere modificata, ma la modificazione da essi [i trucioli] subita dovrebbe essere abbastanza grande per dare ragione di tutto il calore prodotto. Ma nessuna modificazione del genere si era prodotta [...]: accertai che l'acqua nella quale erano immersi i trucioli non appariva né più né meno scaldata di quell'altra, nella quale erano immerse le fettine di metallo»

Da Einstein A., Infeld L. (1965).
L'evoluzione della Fisica, Bollati Boringhieri, Torino, p. 52.

[Audio - Thompson](#)

Thompson poté in questo modo dedurre che il calore contenuto nei trucioli di ferro prodotti proveniva dal processo meccanico di perforazione. Infatti la loro temperatura era così elevata che il calore contenuto in essi non poteva essere nel metallo prima di subire l'alesatura, come asseriva la teoria del calorico. In base ad essa si sarebbe dovuta apprezzare una diminuzione della capacità termica dei trucioli rispetto al blocco originario di bronzo, cosa che non era stata rilevata da Thompson. In lui inoltre maturò l'ipotesi che la propagazione del calore avvenisse per effetto di un moto.

La lezione più generale offerta da Thompson che emerge da questa lettura, è che nessuna teoria può giustificarsi da sola senza il vaglio sperimentale: ogni ragionamento è accompagnato da una verifica quantitativa condotta con cura (per quello che era consentito con i mezzi a disposizione). Thompson infatti calcolò anche la quantità di lavoro equivalente al calore, però non con la precisione con cui venne calcolato più tardi da Joule. Questo racconto permette anche di constatare la difficoltà di superare, nell'ambito del contesto storico che consideriamo, la teoria del calorico che interpretava il calore come un fluido contenuto nei materiali, perciò caratteristico dei materiali stessi. In effetti quanto affermato da questa teoria non è del tutto sbagliato, nel senso che attraverso gli esperimenti precedenti siamo giunti a comprendere che il calore dipende dal tipo di materiale considerato. Quello che non è corretto è concepire il calore come un fluido, ossia come una sostanza immagazzinata immutabilmente in un corpo, quando invece è energia e in quanto tale non solo si trasferisce da un corpo all'altro, ma anche può essere trasformata, come è successo nell'esperienza di Thompson in cui l'energia meccanica è diventata energia termica.



Ritratto di Joule (1818-1889)



Ritratto di Mayer (1814-1878)

Prima di procedere con la descrizione dell'esperimento di Joule, forniamo un sintetico quadro storico che ci dimostra come le scoperte e le nuove idee abbiano bisogno di tempo per diffondersi e sedimentarsi, oltre che della condivisione di esperienze e ragionamenti nella cerchia dei ricercatori. Julius Robert Mayer (1814-1878) nel 1842 pubblicò una relazione sulla generale equivalenza di tutte le forme di energia, fornendo una prima previsione dell'equivalente meccanico del calore. Tuttavia la sua ipotesi sulla conservazione dell'energia non fu accettata. Fu James Joule a eseguire la serie definitiva ed approfondita di esperimenti che dimostravano la convertibilità dell'azione meccanica in un equivalente calorico. Sebbene Joule avesse iniziato nel 1843 a pubblicare e a tenere conferenze sul suo lavoro, fu solo il 27 giugno del 1847, durante una lezione tenuta presso l'Università di Oxford, che le sue idee iniziarono ad essere condivise. In quella sede, l'uomo

dell'establishment William Thomson (1824-1907), più noto come Lord Kelvin, rimase impressionato dal serio lavoro di Joule sull'equivalente meccanico del calore contribuendo a chiarirgli le sue ipotesi che lo condussero alla formulazione del Secondo Principio della Termodinamica.

Attraverso l'esperimento di Joule del 1847, che viene descritto avvalendosi anche di proiezione di un filmato, viene trovato con precisione l'equivalente meccanico, ovvero il numero fisso che permette il passaggio dall'una all'altra forma di energia e che da un punto di vista matematico non è altro che il rapporto tra l'energia meccanica sviluppata dalla macchina in movimento e il calore assorbito.

[Video - Mechanical Equivalent Of Heat](#)

www.youtube.com/watch?v=5yOhSIAIPRE

Si può inoltre far notare agli studenti che, come il calore fluisce sempre spontaneamente in unica direzione (dal corpo caldo al corpo freddo) allo stesso modo, quando un oggetto si muove, qualunque movimento compia, parte della sua energia cinetica sarà sempre degradata e dispersa (nel senso di inutilizzabile) in calore.

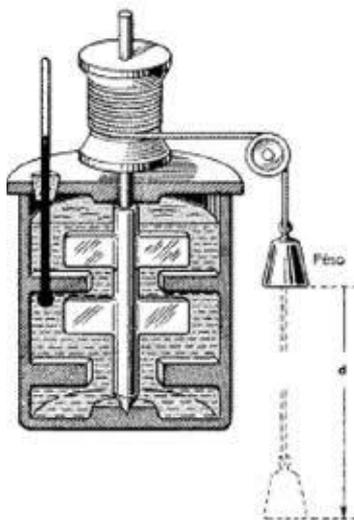


Fig.6: Immagine dell'esperimento di Joule [fonte]

Riportiamo di seguito, essendo in inglese, la traduzione del filmato.

Traduzione: Joule scoprì che il lavoro meccanico eseguito su un sistema era proporzionale al calore prodotto. L'equivalente meccanico del calore è la quantità di lavoro che deve essere fornita per produrre una quantità unitaria di calore.

Viene mostrato l'esperimento di Joule per determinare l'equivalente meccanico del calore. Joule utilizzò un calorimetro cilindrico di rame chiuso ermeticamente da un coperchio forato dotato di termometro. Fissò due carrucole ai lati del cilindro e avvolse su di esse una corda a cui appese due pesi equivalenti. La corda era avvolta a sua volta

su un asse ruotante su sé stesso posto verticalmente al centro del cilindro in corrispondenza del foro. All'asse erano attaccate delle pale messe in movimento durante la discesa delle due masse esterne. L'altezza a cui esse cadevano era calcolata mediante una scala graduata. Una manovella collegata all'asse centrale permetteva di variare l'altezza di caduta delle masse esterne. Dopo aver introdotto una certa quantità d'acqua nel calorimetro e aver misurato l'aumento di temperatura prodotto dalla messa in azione delle pale all'interno del cilindro, fu in grado di calcolare l'equivalente meccanico (che abbiamo già definito essere il rapporto tra l'energia meccanica sviluppata dalle pale in movimento e il calore assorbito). L'energia meccanica si ottiene calcolando la differenza tra energia potenziale delle due masse che cadono e l'energia cinetica, ma ha senso specificare questi dettagli solo se i ragazzi hanno già affrontato questi argomenti (di solito nel terzo anno). Il valore da lui trovato, necessario per innalzare di un grado centigrado la temperatura di un Kg di acqua, fu 4,173 kj/kcal (il valore più accurato trovato in seguito è 4,1855). In sintesi, cosa è successo? L'energia potenziale delle masse è stata convertita in energia cinetica delle pale e infine in energia termica.

Ci pare importante infine fornire alcune precisazioni riguardo agli accorgimenti molto accurati di tipo sperimentale adottati da Joule (informazioni contenute nei suoi appunti del 1850)³.

Senza questo rigore, tenuto conto degli strumenti che si avevano a disposizione all'epoca, non sarebbe stato possibile il calcolo così preciso dell'equivalente meccanico con questo tipo di apparato.

Joule usò due masse di valore complessivo pari a 26,318 kg, a cui però ebbe l'accortezza di sottrarre le forze di attrito associate ai perni del sistema rotante (pari a 1,8 N). Calcolò la velocità di caduta delle due masse (pari a 0,0615) che si sviluppava su un tratto di 1,6 m ripetendo la misura per 20 volte. Contemporaneamente l'acqua contenuta nel calorimetro, di massa 6 Kg, subiva un salto termico di 0,313°C (rilevabile attraverso un termometro dotato di un notevole grado di precisione considerando soprattutto l'epoca). Il valore così esiguo misurato permette di comprendere il motivo per cui erano necessarie delle masse e un calorimetro di queste dimensioni. Per calcolare il calore trasferito all'acqua, aggiunte alla massa dell'acqua anche quella dell'equivalente delle palette e delle pareti del calorimetro, che misurò essere pari a 0,275 Kg.

³ Per questa parte è stato utilizzato il testo: Bergamaschini M.E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001). *L'indagine del mondo fisico*, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano, p.73).

Attività 4 - L'esperimento: l'equivalente meccanico e l'energia termica

Obiettivi specifici lato studente

- Comprendere i cambiamenti di interpretazione relativamente al significato del calore.
- Comprendere che il calore è una forma di energia che si trasforma e si conserva.
- Comprendere l'importanza di usare strumenti precisi di misura nell'esperimento proposto (misura del calore assorbito e dell'equivalente meccanico).
- Giungere a sintetizzare il percorso storico trovando sperimentalmente il rapporto tra energia cinetica e termica.
- Comprendere che l'energia tende sempre a dissiparsi o a degradarsi sotto forma di energia termica.

Competenze specifiche lato studente

- Saper raccogliere e ordinare dati sperimentali.
- Imparare ad annotare sistematicamente le osservazioni compiute al fine di poterle analizzare proficuamente in tempi successivi.
- Elaborare ipotesi sulla base dei dati raccolti e delle conoscenze personali e formulare proposte di esperimenti atti a verificarle.
- Trarre conclusioni basate sui fenomeni osservati e sugli esperimenti svolti.
- Conoscere ed apprezzare il percorso storico di alcune delle conoscenze scientifiche apprese, riconoscendo l'importanza dei contesti culturali e sociali.

Tempo medio per svolgere l'attività in classe: 4 h + 2 h per la relazione da svolgere a casa + 10 h per la costruzione del calorimetro con le pale e le carrucole. È compreso il lavoro della relazione che può essere svolto a casa.

Introduzione all'attività

Il secondo esperimento richiede l'uso di un calorimetro per ripetere l'esperienza di Joule con uno strumento più moderno. Occorrerebbe informarsi sul territorio se un museo della Scienza o un'università di Fisica o un Istituto dotato di Laboratorio di Scienze può mettere a disposizione lo strumento. In questo caso si tenga presente che spesso il calorimetro utilizzato è quello elettrico.



Calorimetro elettrico
[Copyright immagine: autore magic monkey!,
licenza CC BY-NC-SA 2.0]

In alternativa si può provare a riprodurre l'esperimento di Joule con l'aiuto del docente di Tecnologia ricordandosi che il contenitore in cui si misura la temperatura di acqua deve essere il più possibile isolato dall'ambiente per evitare dispersioni di calore (si dovrebbe sicuramente usare un Thermos). In questo caso la misurazione non potrà essere così precisa ma la soddisfazione di aver costruito l'esperimento più grande! Qui di seguito è fornito un sito internet che può essere utile per avere suggerimenti per la costruzione dell'esperimento. Si tenga presente che gli accorgimenti possono essere sofisticati; inoltre non si sottovaluti la difficoltà nell'intraprendere una simile iniziativa: si verifichi se ci sono persone competenti (genitori, operai nella cerchia di amici ecc.) che possano supportare l'esecuzione del lavoro (in questo senso le ore necessarie alla costruzione sono solo indicative). Eventualmente si può provare a contattare il docente che ha progettato e costruito l'esperimento sul sito per avere informazioni e suggerimenti o per poter avere in prestito lo strumento:



Fig.8: Calorimetro ad acqua

www.robertoocca.net/fis/term/term_dnm/en_tr_lavoro_calore_attrito.htm



Fig. 9: Apparecchio per l'esperimento di Joule [\[fonte\]](#)



Fig.10: Un altro strumento per il calcolo dell'equivalente meccanico [\[fonte\]](#)

Dal sito da cui abbiamo recuperato le immagini possono essere tratti ulteriori spunti per la costruzione dell'esperimento.

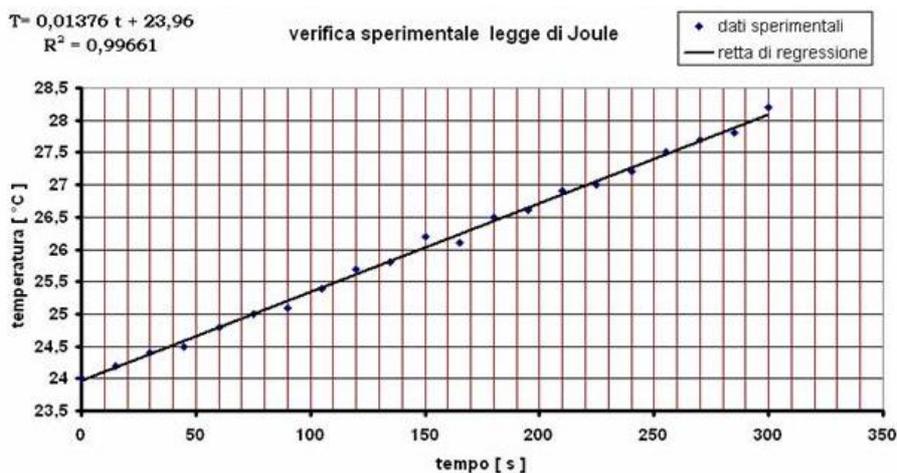


Fig.11: Esempio di grafico che riporta la variazione della temperatura in funzione del tempo [fonte]

Suggeriamo inoltre di consultare il sito che segue, in cui è presente una simulazione dell'esperimento di Joule contenente dei quesiti che possono essere proposti agli studenti (è opportuno non proporre il primo quesito, fornendo le corrette unità di misura delle masse e della temperatura; interessante, invece, l'ultimo esercizio):

[Equivalente meccanico della caloria: esperienza di Joule](http://ww2.unime.it/weblab/ita/kim/joule/joule2_ita.htm)
http://ww2.unime.it/weblab/ita/kim/joule/joule2_ita.htm

Indicazioni metodologiche

Apprendimento collaborativo nei lavori di gruppo nella fase sperimentale momento in cui gli studenti devono adottare strategie di problem solving o web quest e devono coordinarsi nelle mansioni da svolgere; comunicazione della relazione dell'esperimento del gruppo ai compagni solo per quanto riguarda il primo esperimento.

Immedesimazione degli studenti nei personaggi storici coinvolti nell'avventura scientifica attraverso l'utilizzo del registro recitativo (scambio di ruoli) e narrativo.

Sollecitazione continua degli studenti da parte dell'insegnante attraverso domande chiave che stimolano il gusto della scoperta.

Spunti per un approfondimento disciplinare

I percorsi correlati a quello proposto sono quelli che riguardano la temperatura (contenuti in questa area tematica) e che riguardano il calore (contenuti nell'area tematica dell'Ed. alla sostenibilità, per esempio quello che parla dei termometri inventati da Galileo). Inoltre dopo questo percorso si potrebbe continuare nell'anno successivo, nell'ottica della verticalità, con un percorso che mette a tema trasformazioni di altre forme di energia (elettromagnetica, nucleare) in cui avviene la degradazione in calore (a quel punto si potrebbe approfondire questo aspetto parlando di entropia).

Spunti per collegamenti con Ed. alla sostenibilità e/o Storia della Scienza:

- Passaggi di Stato
- Dispersione del calore nell'ambiente
- Effetto serra per Ed. alla sostenibilità
- Esperimento di Thompson e di Joule per Storia della Scienza

Spunti per la valutazione

All'inizio due o tre quesiti per sondare le preconcoscenze dei ragazzi riguardo a cosa intendono per calore.

Domande durante la prima attività. Esercitazione contenuta alla fine della quinta attività.

Spunti per altre attività con gli studenti

- Dispersione del calore nell'ambiente, effetto serra per Ed. alla sostenibilità.
- Esperimento di Thompson e di Joule per Storia della Scienza.
- Passaggi di stato.

Documentazione e materiali

[Audio - Black](#)

[Audio - Thompson](#)

[Slides - Come si propaga il calore](#)

Bibliografia

Einstein A., Infeld L. (1965). *L'evoluzione della Fisica*, Bollati Boringhieri, Torino.

Bergamaschini M.E., Marazzini P., Mazzoni L. (2001). *L'indagine del mondo fisico*, Volume C, Carlo Signorelli Editore, Milano.

Sitografia

[Equivalente meccanico della caloria: esperienza di Joule](#)

http://ww2.unime.it/weblab/ita/kim/joule/joule2_ita.htm

[Mechanical Equivalent Of Heat](#)

www.youtube.com/watch?v=5yOhSIAIPRE

[Voce "Joseph Black" su Wikipedia](#)

http://it.wikipedia.org/wiki/Joseph_Black

[Il dispositivo utilizzato da Joule per i suoi esperimenti](#)

www.bassilo.it/area_alunni/appunti_di_scienze/termodinamica.htm

[Verifica sperimentale della legge di joule](#)

http://liceoscientifico-or.it/ls3/images/stories/ponset/06_Esperimento.htm

[Il calorimetro elettrico](#)

www.fisicachimica.it/calorimetro%20elettrico.htm

[Calorimetro ad acqua](#) (apparecchio per verifica trasformazione lavoro in calore; strumento per la valutazione dell'equivalenza calore-lavoro con relativa spiegazione)

www.istitutoalfieri.it/labscienze/termologiaetermodinamica.htm

[Conversione di lavoro in calore, tramite attrito. Termoergometro](#)

www.robtoocca.net/fis/term/term_dnm/en_tr_lavoro_calore_attrito.htm

[L'energia non si crea, ma si trasforma slide](http://www.rural4kids.it/wp-content/uploads/2010/05/ene1.jpg)

www.rural4kids.it/wp-content/uploads/2010/05/ene1.jpg

[Il calore](http://www.limparo.it/il_calore.html)

www.limparo.it/il_calore.html

[Joseph Black, Scotch Whiskey and Thermodynamics](http://peripateticengineer.blogspot.it/2009/02/scotch-whiskey-and-thermodynamics.html)

<http://peripateticengineer.blogspot.it/2009/02/scotch-whiskey-and-thermodynamics.html>

*Questo percorso didattico è stato realizzato nel 2012 da INDIRE – ANSAS con i fondi del Progetto **PON Educazione Scientifica**, codice **B-10-FSE-2010-4**, cofinanziato dal Fondo Sociale Europeo.*

La grafica, i testi, le immagini e ogni altra informazione disponibile in qualunque formato sono utilizzabili a fini didattici e scientifici, purché non a scopo di lucro e sono protetti ai sensi della normativa in tema di opere dell'ingegno (legge 22 aprile 1941, n. 633).