

Cristina Caligaris
Andrea Guarise
Marco W. Bassignana

AULA DI FISICA

Osservare, sperimentare
e comprendere

2

App
HOEPLI LINK
REALTÀ AUMENTATA

Edizione **OPENSCHOOL**

1	LIBRODITESTO
2	E-BOOK+
3	RISORSEONLINE
4	PIATTAFORMA

HOEPLI

AULA DI FISICA

CRISTINA CALIGARIS
ANDREA GUARISE
MARCO W. BASSIGNANA

AULA DI FISICA

**Osservare, sperimentare
e comprendere**

Volume 2



EDITORE ULRICO HOEPLI MILANO

Copyright © Ulrico Hoepli Editore S.p.A. 2019

Via Hoepli 5, 20121 Milano (Italy)

tel. +39 02 864871 – fax +39 02 8052886

e-mail hoepli@hoepli.it

www.hoepli.it



Tutti i diritti sono riservati a norma di legge
e a norma delle convenzioni internazionali

Presentazione

La struttura del testo

Il testo *Aula di Fisica*, oltre a rispondere ai programmi e alle direttive formative ministeriali, è stato concepito allo scopo di attribuire un ruolo formativo preponderante all'attività sperimentale, utilizzando materiale di facile reperibilità, in grado di evidenziare concretamente i fenomeni fisici, a cui segue una fase di ragionamento e discussione volta a pervenire alla formulazione di leggi, principi e formule.

Ben comprendendo che i limiti di tempo possono imporre al Docente di dover eseguire solo una parte delle esperienze proposte, il testo rimane sempre fruibile anche nel caso in cui si optasse per trattare gli argomenti senza l'esecuzione pratica dell'esperimento proposto, il cui svolgimento, i risultati e le conseguenze logiche sono sempre esposti per intero e in modo esaustivo. Questo permette di alternare fasi di didattica sperimentale e di didattica frontale senza penalizzare la fluidità e la completezza della trattazione.

La sezione *Proviamoci insieme* comprende esercizi svolti nell'ottica di accompagnare lo studente nell'applicazione di quanto appena studiato. Gli esercizi, più che al calcolo, sono finalizzati alla comprensione del concetto e alla sua applicabilità nella vita di tutti i giorni. Il testo infatti si prefigge di superare i limiti dovuti alla mancanza di conoscenze matematiche formalizzate.

L'opera è suddivisa in **moduli**, a loro volta strutturati in **unità didattiche** indipendenti, che rendono possibile l'adozione di percorsi formativi differenziati e adattabili alle necessità delle singole classi e delle specifiche realtà territoriali.

Il secondo volume è costituito di 3 moduli:

Modulo E <i>Termodinamica</i>	Nella prima unità didattica si formalizzano i concetti di temperatura e calore, mentre nella seconda si studiano le leggi dei gas ed i principi della Termodinamica.
Modulo F <i>Meccanica ondulatoria e ottica</i>	Nella prima unità didattica si introducono le onde e le oscillazioni, nella seconda la luce e l'ottica.
Modulo G <i>Elettricità e magnetismo</i>	Nelle tre unità si affrontano i fenomeni elettrici e i modelli atomici; il campo elettrico, la corrente elettrica e i circuiti; il campo elettrico e l'induzione elettromagnetica.

L'eBook+ che completa il volume può essere utilizzato su dispositivo elettronico (tablet, LIM e computer) e offre:

- ✓ domande a completamento, a scelta multipla e vero o falso interattive e autocorretive;
- ▶ video;
- ⬇ approfondimenti sulla Fisica e sui suoi protagonisti: non solo biografie ma curiosità sui principali personaggi incontrati.

Risorse online  hoepliscuola.it

Il sito fornisce ulteriori materiali integrativi a disposizione del docente, come le mappe, le formule dirette e inverse, le rubriche *La strumentazione utile* e *Riassumendo...* e schede per le esperienze in formato .pdf e .xls.

Realtà aumentata



Attraverso la app Hoepli Link è possibile visualizzare gli approfondimenti e i video anche in realtà aumentata.

Per visualizzare i contenuti digitali in AR è sufficiente:

- scaricare la app sullo smartphone o sul tablet dagli store
- inquadrare le pagine del libro con la fotocamera.



Gli autori ringraziano anticipatamente quanti vorranno fare loro pervenire, attraverso l'Editore, critiche e suggerimenti atti a migliorare il testo.

CRISTINA CALIGARIS

ANDREA GUARISE

MARCO W. BASSIGNANA

Il volume è suddiviso in sette moduli, strutturati in unità didattiche indipendenti, allo stesso tempo consequenziali tra loro e arricchite di uno stimolante apparato didattico.



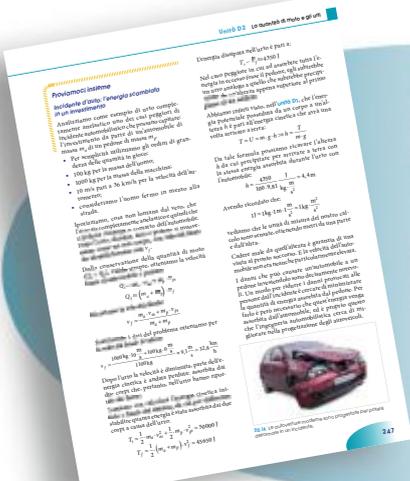
L'apertura di modulo riporta le competenze e le abilità che lo studente dovrà acquisire.



In apertura di unità, il box **Procuriamoci il materiale** elenca tutti gli oggetti che saranno necessari per la realizzazione degli esperimenti.



La rubrica **Rimbocchiamoci le maniche** racchiude l'attività esperienziale e contiene l'elenco di tutto il materiale necessario, la descrizione dettagliata dell'esperimento con l'analisi quantitativa o qualitativa del risultato e la formalizzazione teorica di quanto emerso dall'esperimento.



Il box **A cosa ci serve** presenta le applicazioni pratiche del concetto esposto. Nel corso della trattazione sono continui i riferimenti a fatti e curiosità realmente accaduti nella vita di tutti i giorni.

Il box **Per i più curiosi** propone approfondimenti, con curiosità per collegamenti con altre materie e argomenti più complessi da sviluppare a discrezione del docente.

In **Procuriamoci insieme** vengono presentati alcuni esercizi svolti con calcoli eseguiti nel dettaglio e attenzione all'uso delle unità di misura.

Indice

Modulo **E** TERMODINAMICA 1

Unità **E1** TEMPERATURA E CALORE 2

E1.1	La temperatura e l'equilibrio termico	3
E1.2	La misura della temperatura	6
E1.3	Il calore	8
E1.4	Gli effetti della temperatura sulla materia	8
E1.5	La dilatazione termica	13
E1.6	Il calore specifico	14
E1.7	La propagazione del calore	16

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Acqua calda e acqua fredda	3
Il riscaldamento dei corpi	8
Cucchiaino di legno o di metallo?	14
Il metallo conduce il calore	16
Convezione e irraggiamento	17

LA STRUMENTAZIONE UTILE

Il termometro	20
---------------	----

LA MATEMATICA UTILE

La media pesata	21
-----------------	----

Riassumendo...	22
Provaci tu...	24
Verifica di Unità	25

Unità **E2** LE LEGGI DEI GAS E I PRINCIPI DELLA TERMODINAMICA 27

E2.1	I sistemi termodinamici	28
E2.2	La teoria cinetica dei gas	28
E2.3	Il lavoro e le leggi dei gas	31
E2.4	Il primo principio della Termodinamica	41
E2.5	Introduzione alle macchine termiche	44
E2.6	Il secondo principio della Termodinamica	46

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Dal freddo al caldo (esperimento n. 1)	33
Dal freddo al caldo (esperimento n. 2)	35
È ora del caffè	38
Acqua e inchiostro	46

Riassumendo...	50
Provaci tu...	53
Verifica di Unità	54
Mappe	56

Modulo **F** MECCANICA ONDULATORIA E OTTICA 61

Unità **F1** ONDE E OSCILLAZIONI 62

F1.1	Il pendolo	63
F1.2	Il moto armonico	66
F1.3	Le onde	68
F1.4	Il suono	73

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

L'isocronismo del pendolo	64
Onde stazionarie con una molla Slinky	69
La propagazione di un'onda	71
Trasportiamo l'energia	72

LA MATEMATICA UTILE

Un accenno di Trigonometria	76
-----------------------------	----

Riassumendo...	77
Provaci tu...	78
Verifica di Unità	79

Unità **F2** LA LUCE E L'OTTICA 80

F2.1	La luce	81
F2.2	Sorgenti di luce e raggi luminosi	84
F2.3	La riflessione	85
F2.4	La rifrazione	93
F2.5	Le lenti	97
F2.6	La dispersione e i colori	102
F2.7	L'occhio e la visione	104

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

La diffrazione del capello	83
La luce viaggia in linea retta	84
Ombra e penombra	85
Riflettiamo su un cucchiaino	89
Gli occhiali	97

Riassumendo...	106
Provaci tu...	110
Verifica di Unità	111
Mappe	112

Modulo **G** **ELETTRICITÀ E MAGNETISMO**115

Unità **G1** **FENOMENI ELETTRICI E MODELLI ATOMICI** 116

G1.1	I fenomeni elettrostatici	117
G1.2	La teoria atomica e i modelli atomici	119
G1.3	La forza elettrica e la legge di Coulomb	122



RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

L'attrazione elettrostatica	117
L'attrazione dell'acqua	118
Carica di una pallina di stagnola	122



Riassumendo...	125
Provaci tu...	126
Verifica di Unità	127

Unità **G2** **IL CAMPO ELETTRICO, LA CORRENTE ELETTRICA E I CIRCUITI**129

G2.1	Il campo elettrico	130
G2.2	L'energia potenziale del campo elettrico	133
G2.3	La corrente elettrica	138
G2.4	La potenza elettrica	142
G2.5	I condensatori	143
G2.6	I circuiti elettrici	146



RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

La pila di Volta	136
La corrente nei materiali	139

La bottiglia di Leida	143
La resistenza delle resistenze	146



LA STRUMENTAZIONE UTILE

Il voltmetro	153
L'amperometro	154
L'Ohmmetro	154
Riassumendo...	155
Provaci tu...	158
Verifica di Unità	159

Unità **G3** **IL CAMPO MAGNETICO E L'INDUZIONE ELETTROMAGNETICA**161

G3.1	I fenomeni magnetici e il campo magnetico	162
G3.2	Azione del campo magnetico su cariche e correnti elettriche	165
G3.3	L'induzione elettromagnetica	176
G3.4	La corrente alternata	179
G3.5	Le onde elettromagnetiche	182



RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

La calamita	162
Costruiamo una bussola	164
La bussola e la corrente elettrica	165
Il campo magnetico di un solenoide	170
Costruiamo un piccolo motore elettrico	173
Generiamo una corrente	176



Riassumendo...	187
Provaci tu...	190
Verifica di Unità	191
Mappe	194

Indice dell'Area digitale

Modulo E TERMODINAMICA

Unità E1

- I termometri3
I protagonisti: Celsius, Kelvin, Fahrenheit (6)
Rankine (7), Fourier (16)
- Il metallo conduce il calore 16
La propagazione del calore 18

Unità E2

- I protagonisti: Boyle e Mariotte (32),
Gay Lussac (34)
Il principio di indeterminazione di Heisenberg.....36
I protagonisti: Mayer (42),
Boltzmann (42), Carnot (45),
Otto e Langen (46),
Clausius, Planck (47), Nernst (48)
- Il riscaldamento a volume costante.....29
Il riscaldamento a pressione costante.....29
L'entropia.....46

Modulo F MECCANICA ONDULATORIA E OTTICA

Unità F1

- Misuriamo la velocità di un'onda 73
L'effetto Doppler 74
- L'isocronismo del pendolo64
Dal pendolo al moto circolare.....67
La funzione seno 67
Le onde stazionarie.....69
Le onde longitudinali e trasversali..... 71

Unità F2

- I protagonisti: Huygens (82), Snell e Cartesio (94)
La figura di diffrazione di un capello.....83
Il microscopio e il telescopio..... 101
Il sensore della macchina fotografica..... 104
- Gli specchi sferici 91
La rifrazione della luce nei materiali 94
La riflessione totale 95
Le lenti sottili..... 99

Modulo G ELETTRICITÀ E MAGNETISMO

Unità G1

- I protagonisti: Coulomb (118),
Crookes e Thomson (119)
Rutherford (120),
Bohr e Sommerfeld (121)
- Carica di una pallina di stagnola..... 122

Unità G2

- I protagonisti: Faraday (130), Volta (134),
Ampere (138), Ohm (141),
Kirchhoff (152)
- La codifica dei resistori..... 146
- La pila di Volta..... 136

Unità G3

- I protagonisti: Oersted (166), Tesla (167)
Biot e Savart (167), Lorentz (174),
Weber (177), Lenz (178), Hertz (184)
- Costruiamo una bussola 164
Un piccolo motore elettrico 174

Introduzione

Dai perché alla Fisica

L'uomo si pone continuamente delle domande, sin dai tempi più antichi. Già dai primi anni di vita, i bambini iniziano a chiedere: "Perché?". La curiosità di capire è una caratteristica innata nell'uomo, il perché di questo lo lasceremo alle discussioni dei filosofi, noi, in questa sede, cercheremo di rispondere a molte di queste domande.

La Fisica, che ci accingiamo a scoprire, è una disciplina scientifica che nasce dalla ricerca delle risposte ad alcune delle innumerevoli domande che ci siamo posti nel corso della Storia. In origine lo scienziato si occupava di tutti i quesiti che ci poniamo, osservando la natura che ci circonda; la sua era una figura molto diversa da quella che conosciamo oggi, poiché scienza, filosofia e religione non erano separate.

Nei secoli successivi, lo studio delle Scienze si è differenziato in molte discipline sempre più specialistiche, ciascuna volta all'analisi di alcuni fenomeni specifici, ma le domande più basilari sulla natura hanno dato origine proprio a quella che oggi chiamiamo **Fisica**, che è dunque la più anziana di tutte le Scienze. Ma quali sono queste domande a cui daremo una risposta?

Le domande che si ponevano gli uomini del passato non sono poi così diverse da quelle che incuriosiscono noi oggi.

"Prendiamo questo libro: se lo solleviamo e lo lasciamo, cade. Perché?"

Quando tocca il pavimento emette un rumore. Perché?"

Più lo facciamo cadere dall'alto, maggiore sarà il rumore. Perché?"

Ma poi cos'è il rumore?"

Guardiamo meglio il libro: la carta è bianca, i caratteri neri, ci sono anche dei bei disegni colorati, ma cosa sono i colori?"

Per vederli serve la luce del Sole o di una lampadina.

Ma cos'è il Sole? E la lampadina? E cos'è la luce?"

Quante domande, solo osservando un semplice libro. Come trovare le risposte? E come capire se abbiamo trovato quelle giuste?

Ci è voluto un po' di tempo, anzi... tanto tempo, migliaia di anni, ma oggi possiamo rispondere a tutte queste domande.

Per secoli le risposte sono state principalmente qualitative, o hanno fatto riferimento a concetti filosofici astratti. Abbiamo dovuto attendere il XVI secolo, con Galileo Galilei, per veder nascere la scienza come la conosciamo oggi, la **scienza del misurabile, del ripetibile, la scienza del metodo scientifico**.

Il **metodo scientifico** è una particolare e ben definita metodologia operativa che gli scienziati hanno messo a punto nel corso del tempo e che sarà il più importante regalo che questo libro e questa materia faranno a chi avrà la pazienza di applicarvi.

A cosa ci serve la Fisica?

A nostro avviso esistono due motivi per studiare la Fisica:

- ✓ imparare le leggi che governano la Natura, o almeno quelle che conosciamo, per poterle applicare e risolvere i problemi pratici della nostra Società;
- ✓ capire il **metodo scientifico**, per poter imparare a valutare criticamente ciò che accade attorno a noi.

Ma se la prima risulta quasi scontata, la seconda è ancor più importante.

E chissà che qualcuno non decida di fare della Fisica una professione. Sì, perché la Fisica è anche una professione, quella esercitata dai fisici. Già, ma chi sono questi fisici? E cosa fanno?

Professione Fisico

Conosciamo dunque queste persone che nella vita hanno scelto di fare della Fisica una professione. I fisici si dividono in due grandi famiglie: i fisici sperimentali e i fisici teorici.

Quando sono di fronte a un fenomeno di cui non conoscono la spiegazione, i fisici si dividono in due squadre.

I primi (**fig. 1**), gli **sperimentali**, iniziano a studiarlo cercando di "misurare" in qualche modo quello che succede. Torniamo all'esempio del libro: cercherebbero di capire quanto tempo ci mette il libro a cadere da diverse altezze, o quanto rumore fa cadendo (come farlo è un'altra bella domanda).

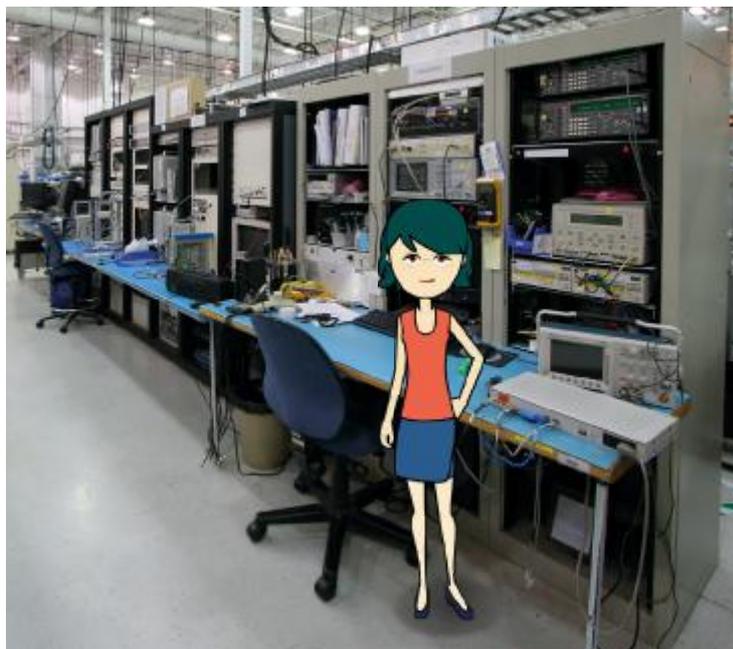


Fig. 1 I fisici sperimentali hanno il compito di eseguire misure accurate dei fenomeni fisici.

I secondi (fig. 2), i teorici, analizzano i numeri, le “misure” ottenute dai primi e cercano di ricavare delle leggi, espresse con il linguaggio della matematica, che trovino una corrispondenza con le misure di partenza e che possano prevedere il comportamento del fenomeno in casi diversi da quelli osservati dai colleghi-avversari. Cercano di ricavare ciò che si dice un “modello”.

A questo punto la prima squadra effettua nuove misure, per vedere se il modello ricavato dai teorici è giusto o sbagliato, nel qual caso il problema dovrà essere rianalizzato dalla seconda squadra... e così via, in una specie di partita a ping-pong, che si conclude quando il modello è ritenuto sufficientemente corretto ed entrambi i gruppi potranno concedersi il lusso di festeggiare, insieme, la loro conquista.

I fisici sperimentali lavorano nei laboratori, luoghi specifici che vengono attrezzati, di volta in volta, con il materiale e gli strumenti necessari per gli studi da effettuare. I laboratori possono assumere diverse dimensioni: possono essere piccoli se allestiti nelle stanze delle Università e nei centri di ricerca, oppure possono essere enormi complessi, grossi come piccole città, come ad esempio il CERN di Ginevra in Svizzera (figg. 3 e 4).

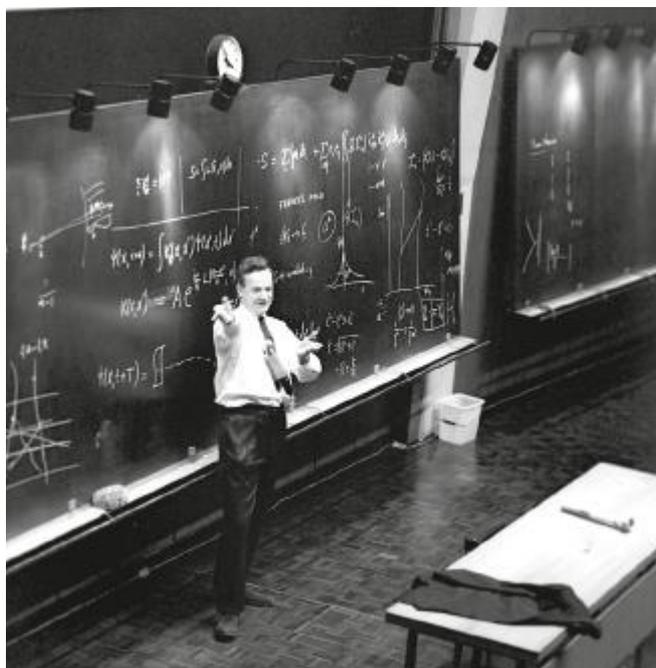


Fig. 2 Richard Feynman (1918-1988), uno dei più grandi fisici teorici del secolo scorso, Premio Nobel per la fisica nel 1965 per i suoi studi sull'Elettrodinamica Quantistica. (Fotografia gentilmente concessa dal CERN, tutti i diritti riservati).



Fig. 3 Il globo della Scienza e dell'Innovazione, posto nei pressi dell'ingresso dei laboratori.

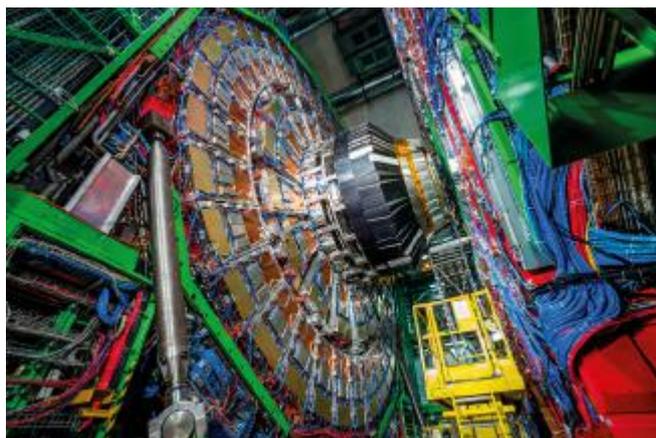


Fig. 4 Una parte del rivelatore dell'esperimento CMS, installato sotto terra è lungo 20 metri, alto 15 e pesa oltre 12 000 tonnellate.

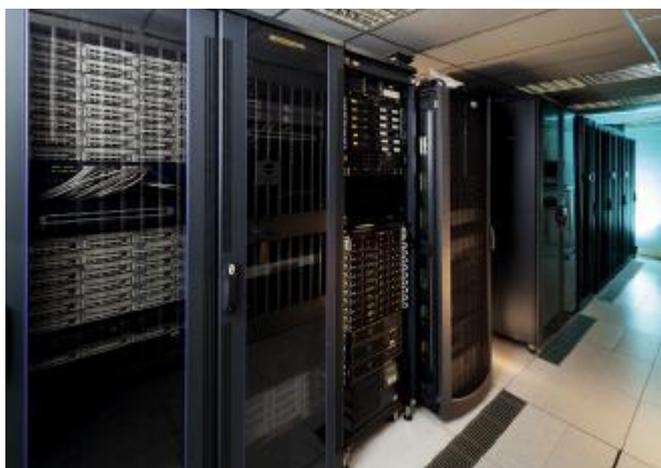


Fig. 5 L'uso dei computer, come quello della matematica, è all'ordine del giorno per i fisici.

Ai fisici teorici invece bastano carta e penna per fare i conti, o più verosimilmente oggi giorno una buona padronanza del computer (fig. 5).

Anche questo strumento nasce dall'esigenza dei fisici di fare conti sempre più complessi, anzi in pratica è una loro invenzione. Esattamente come il WEB, nato proprio per aiutare i fisici a giocare la loro partita a ping-pong senza doversi sempre incontrare di persona.

Possiamo dunque iniziare il nostro viaggio in cui vestiremo i panni del fisico, a volte giocando con gli sperimentali e a volte con i teorici, per dare un po' di risposte alle nostre domande, ben sapendo che alle domande non c'è mai fine.

Ma in fondo è proprio questa la cosa più bella della Scienza.

ⁱ Il CERN (Organizzazione Europea Per la Ricerca Nucleare) è uno dei principali laboratori di ricerca al mondo, specializzato nello studio delle particelle elementari, ovvero di tutto ciò che è davvero moto, molto piccolo, i mattoni stessi con cui è costruito l'Universo.

TERMODINAMICA

E1 Temperatura e calore

E2 Le leggi dei gas e i principi della Termodinamica

✓ Competenze

- Comprendere il concetto di calore come forma di energia
- Comprendere il concetto di temperatura
- Comprendere la differenza tra calore e temperatura
- Comprendere i concetti di stato e di sistema termodinamico
- Comprendere i motivi dell'impossibilità del moto perpetuo
- Comprendere il modello di gas perfetto e i suoi limiti

✓ Abilità

- Eseguire la conversione tra diverse unità di misura della temperatura
- Distinguere i quattro stati fisici della materia
- Eseguire calcoli con grandezze termodinamiche
- Descrivere le modalità di propagazione del calore
- Valutare l'impatto ambientale della dispersione di calore negli edifici
- Applicare le leggi dei gas
- Descrivere la teoria cinetica dei gas nelle sue linee essenziali
- Eseguire calcoli relativi alle trasformazioni termodinamiche
- Descrivere i principali cicli ideali

Area Digitale



Approfondimenti



Video



Esercizi interattivi

E1

Temperatura e calore

✓ Conoscenze

- Le definizioni di calore e temperatura
- L'equilibrio termico
- I quattro stati fisici in cui si presenta la materia
- Gli effetti della variazione di temperatura sui corpi
- La dilatazione termica
- La capacità termica
- Le modalità di propagazione del calore

✓ Abilità

- Eseguire la conversione tra diverse unità di misura della temperatura
- Distinguere gli stati fisici della materia
- Eseguire calcoli con grandezze termodinamiche
- Descrivere le modalità di propagazione del calore in casi reali
- Valutare l'impatto ambientale della dispersione di calore negli edifici

✓ Contenuti

- E1.1** La temperatura e l'equilibrio termico
- E1.2** La misura della temperatura
- E1.3** Il calore
- E1.4** Gli effetti della temperatura sulla materia
- E1.5** La dilatazione termica
- E1.6** Il calore specifico
- E1.7** La propagazione del calore



Ti ricordi?

Per affrontare questa unità didattica potrebbe essere utile un ripasso veloce ai seguenti argomenti:

- le grandezze fisiche e le unità di misura (A1.1);
- le dimensioni di una grandezza fisica (A1.5);
- le grandezze fisiche fondamentali e quelle derivate (A1.6);
- il calcolo dimensionale (A1.7);
- gli strumenti di misura (A2.1);
- la statistica (A2, "La matematica utile");
- i fluidi e il principio di Pascal (B3.2).

Procuriamoci il materiale

- Una pentola di acciaio
- Una bottiglia d'acqua fredda
- Un termometro con sonda esterna
- Un bollitore
- Un termos
- Un cucchiaino di legno e uno di metallo
- Un accendino
- Un cucchiaino di metallo

E1.1 La temperatura e l'equilibrio termico

La temperatura

Tutti abbiamo in casa un termometro: che si tratti di uno strumento analogico, quale la tipica colonnina di mercurio appesa al muro, oppure di una funzione integrata nei sempre più attuali orologi digitali. Su di esso possiamo leggere la temperatura dell'ambiente circostante, cioè, un valore misurato dallo strumento che dà un significato numerico alle sensazioni di caldo o freddo percepite dal corpo umano. Se siamo d'estate e c'è bel tempo, in Italia leggeremo sicuramente un valore superiore ai 25 °C (fig. E1.1), o magari anche oltre i 30 °C.

D'inverno, invece, ci si aspetta di leggere sul termometro un valore minore di 10 °C e, nei periodi più rigidi, anche negativo. Tutti questi valori numerici sono delle misure di **temperatura**.

“Temperatura” è per noi un termine talmente comune da non esserci forse mai chiesti davvero: che cos'è la temperatura? Che cosa misura un termometro?

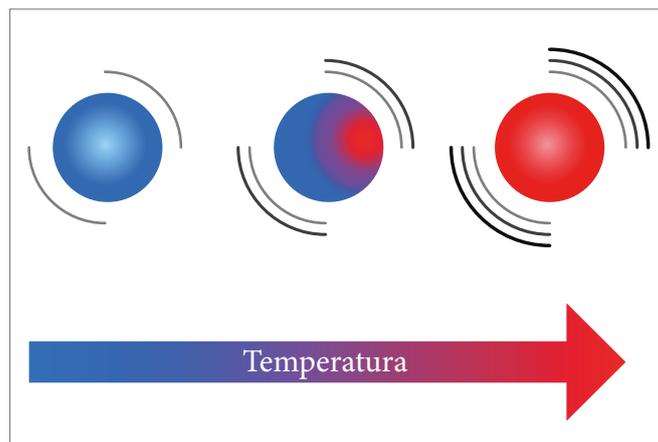


E1.1 Termometro digitale dotato di sonda esterna.

la **temperatura** è la misura dello stato di agitazione delle particelle (atomi e molecole) di cui è composta la materia.

L'esempio precedentemente trattato riguarda la lettura della temperatura atmosferica eseguita su un comune termometro domestico; in tal modo, si è misurato lo **stato di agitazione**, cioè la velocità con cui vibrano le molecole che compongono l'aria circostante (fig. E1.2). Ne deriva che *la temperatura dipende dal moto delle particelle di cui è composta la materia*; ecco perché si usa il termine più preciso di **temperatura termodinamica**.

Stiamo però attenti: non confondiamo la sensazione fisiologica di caldo e freddo con la temperatura. Queste sensazioni sono legate non solo alla temperatura, ma anche al calore (termine che come vedremo non è un suo sinonimo) e a come quest'ultimo si trasferisce da un corpo all'altro.



E1.2 Temperatura e agitazione delle molecole.

L'equilibrio termico

Cosa succede se due corpi con diversa temperatura si incontrano? Possiamo scoprirlo con un esperimento in cui mescoliamo delle masse d'acqua a diversa temperatura.



RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Acqua calda e acqua fredda



Procuriamoci il materiale

- Una pentola (meglio se di vetro o terracotta) o un termos con dell'acqua calda
- 2 bottiglie (una contenente acqua fredda)
- Un termometro digitale con sonda
- Un cucchiaino di legno da cucina



All'opera!

Riempiamo una bottiglia d'acqua e mettiamola in frigo, quando sarà fredda tiriamola fuori e misuriamone la temperatura con un termometro.

Al fine di ottenere una misurazione agevole e corretta, suggeriamo di utilizzare un termometro con sonda esterna (fig. E1.1). Ricordiamo di avvolgere la sonda con del cellophane da cucina, onde evitare

che l'acqua rovini lo strumento, e di verificare nelle specifiche che lo stesso sopporti temperature almeno fino ai 100 °C.

A questo punto, posizioniamo un recipiente su una bilancia da cucina, l'ideale sarebbe di vetro o terracotta ma in mancanza d'altro anche una pentola andrà bene.

Versiamo l'acqua fredda nel recipiente finché non leggiamo sulla bilancia 500 g, se dovessimo versarne un po' di più siamo ancora in tempo a togliere l'eccedenza con un mestolino.

Prendiamo una pentola, riempiamola d'acqua e scaldiamola per qualche minuto. Quando l'acqua è diventata un po' tiepida, spegniamo il fuoco e misuriamo la temperatura dell'acqua con il termometro.

Facendo molta attenzione (questa volta non potremo fare errori) versiamo l'acqua calda nel recipiente contenente già quella fredda, fino a raggiungere una massa d'acqua totale pari a 1 kg (facciamo buon uso del tasto "tara").

Mescoliamo per essere sicuri che le masse d'acqua a diversa temperatura si uniscano tra loro, come mostrato nella [figura E1.3](#) e misuriamo la temperatura della miscela finale.



E1.3 Mescoliamo l'acqua della bottiglia con quella nella pentola.

Si raccomanda di svolgere le misure nel minor tempo possibile. In mancanza di un laboratorio attrezzato con frigoriferi, suggeriamo di tenere la bottiglia di plastica dell'acqua fredda nel freezer di casa per tutta la notte, l'acqua si ghiaccerà e nell'arco della mattinata si scioglierà rimanendo comunque fredda. Analogamente, in mancanza di fornelli, potete munirvi di acqua calda in un thermos oppure dotarvi di un bollitore elettrico.



Ragioniamoci su...

Nell'esperimento da noi eseguito, abbiamo ottenuto le seguenti misure.

- Temperatura acqua fredda: $T_{fredda} = 23,9 \pm 0,05 \text{ °C}$
- Massa acqua fredda: $m_{fredda} = 500 \pm 1 \text{ g}$
- Temperatura acqua calda: $T_{calda} = 77,9 \pm 0,05 \text{ °C}$
- Massa acqua calda: $m_{calda} = 500 \pm 1 \text{ g}$
- Temperatura acqua calda + fredda: $T_f = 48,3 \pm 0,05 \text{ °C}$
- Massa acqua calda + fredda: $m_f = 1000 \pm 1 \text{ g}$



Cosa abbiamo imparato?

Noteremo che la miscela risulta meno calda dell'acqua che abbiamo riscaldato, ma anche meno fredda di quella del frigorifero. La temperatura finale è all'incirca a metà tra le due.



Raggiungimento della temperatura di equilibrio

Nell'esperienza appena eseguita abbiamo mescolato due quantità di acqua uguali (nel nostro caso 0,5 l), ma di temperatura differente, e abbiamo verificato che la temperatura finale T_f dell'acqua totale è più bassa di quella dell'acqua inizialmente calda, ma più alta di quella dell'acqua proveniente dal frigorifero.

Le due masse d'acqua, mescolandosi tra loro, hanno *mediato* le loro temperature.

Chiariamo questo concetto: le molecole calde cedono parte del loro calore a quelle più fredde; questo scambio dura per un po' di tempo, fino al raggiungimento di un equilibrio delle loro temperature, cioè, fino al raggiungimento di uno *stato di equilibrio termico*.

L'**equilibrio termico** di un sistema è una condizione in cui la temperatura è costante nel tempo ed è la stessa in ogni punto del sistema.

Ma quanto vale esattamente la temperatura di equilibrio?

Essa corrisponde alla **media aritmetica** delle due temperature, come espresso dalla seguente formula:

$$T_f = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

Cosa succede se le quantità d'acqua sono diverse?

Se le masse sono diverse si farà sempre una media, ma, useremo la *media pesata*ⁱ:

$$T_f = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2}{m_1 + m_2}$$

da questa relazione si può ottenere quella che si definisce la *legge dell'equilibrio termico*.

Legge dell'equilibrio termico: quando due corpi dello stesso materiale, ma con masse diverse m_1 ed m_2 e con temperature iniziali differenti T_1 e T_2 sono posti in condizione di interagire termicamente tra loro, subiscono variazioni termiche ΔT_1 e ΔT_2 inversamente proporzionali alle loro masse.

Matematicamente parlando si scrive:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

E se le masse fossero più di due?

La formula della temperatura finale può essere generalizzata come segue: la temperatura finale T_f di un numero n di masse dello stesso materiale che vengono mescolate tra loro è espressa da un rapporto avente a numeratore la somma dei prodotti di ogni singola massa per la sua temperatura, a denominatore la somma delle masse:

$$T_f = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2 + \dots + m_n \cdot T_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

PER I PIÙ CURIOSI

Il principio zero della Termodinamica

La legge dell'equilibrio termico, che abbiamo appena enunciato, è collegata al primo dei quattro principi che stanno alla base della Termodinamica. Pensiamo alla serie di leggi che abbiamo incontrato fino ad ora come i principi della Dinamica o le leggi di Kepleroⁱⁱ: essi erano numerati in ordine 1-2-3-4.

Nella Termodinamica, invece, si inizia a contare dal principio zero. Il motivo per cui si comincia a contare da 0 e non da 1 è perché questo principio è basilare: tutta la Termodinamica si basa su tale principio (e anche perché fu introdotto dopo, ma non si volle rinumerare gli altri).

Principio zero della Termodinamica: se due corpi A e B sono in equilibrio termico con un corpo C, allora lo sono anche tra di loro.

i Si veda la rubrica "La matematica utile" alla fine di questa unità.

ii Per un ripasso veloce consultare il [paragrafo C3.3](#).

iii Ricordiamo quanto abbiamo spiegato nel sottoparagrafo "Valutare l'accordo tra misure diverse" ([par. A2.3](#)).

Ma che cosa significa? In pratica, se prendo un termometro (C) e lo metto a contatto prima con A e poi con B, anche se questi non si toccano e leggo la stessa temperatura, significa che A e B sono comunque in **equilibrio termico** e hanno raggiunto una temperatura, tra loro, di equilibrio.

È grazie a questo principio che si può definire il concetto di **temperatura**. È un po' come con le lunghezze: se due oggetti sono lunghi come un terzo oggetto, saranno anche lunghi uguali, considerazione che ci permise di definire il metro campione e il concetto stesso di misura delle lunghezze.



Acqua calda e acqua fredda: considerazioni

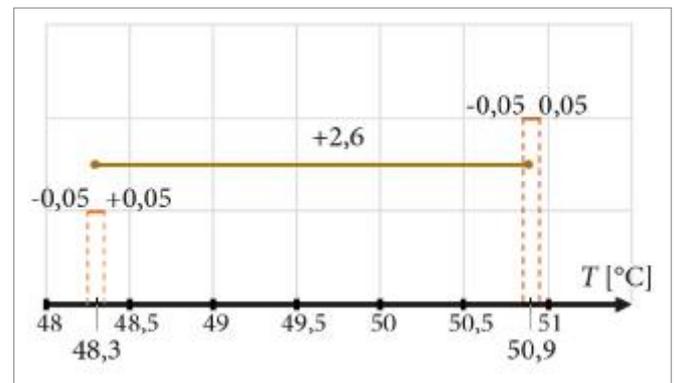
Torniamo un attimo all'esperienza precedente dell'acqua calda e dell'acqua fredda, e vediamo che temperatura finale ci aspetteremmo secondo le relazioni appena introdotte:

$$\begin{aligned} T_{f\text{-teorico}} &= \frac{T_{\text{fredda}} + T_{\text{calda}}}{2} = \\ &= \frac{23,9 \text{ °C} + 77,9 \text{ °C}}{2} = 50,9 \text{ °C} \end{aligned}$$

valutiamo la propagazione dell'errore nel calcolo della media:

$$\delta T_f = \frac{\delta T_{\text{fredda}} + \delta T_{\text{calda}}}{2} = \frac{0,05 + 0,05}{2} = 0,05 \text{ °C}$$

da cui $T_{f\text{-teorico}} = (50,9 \pm 0,05) \text{ °C}$; confrontiamolo con $T_{f\text{-misurato}} = (48,3 \pm 0,05) \text{ °C}$ e rappresentiamo graficamente le due misure come riportato nella [figura E1.4](#)ⁱⁱⁱ.



E1.4 Due misure in apparente disaccordo per la temperatura.

Le due misure non risulterebbero compatibili, la discrepanza tra esse è di 2,6 °C.

Cerchiamo di capire se possiamo trovare una giustificazione a tale discrepanza: quando abbiamo versato l'acqua calda nella pentola contenente l'acqua fredda, l'acqua ha scaldato l'acqua fredda ma ha anche scaldato la pentola; per questo la temperatura da noi trovata risulta più bassa del previsto.

In quest'ottica l'errore ottenuto è assolutamente accettabile.

E1.2 La misura della temperatura

La scala Celsius



I valori numerici comunemente utilizzati per le misure di temperatura sono espressi in *gradi centigradi* [$^{\circ}\text{C}$], detti anche **gradi Celsius**, in onore all'astronomo svedese Anders Celsius che per primo propose quest'unità di misura. La scala Celsius identifica con 0°C la temperatura di **fusione del ghiaccio** e con 100°C la temperatura di **ebollizione dell'acqua** in condizioni standard di pressione (1 atm).

La scala Kelvin



Nonostante la comodità e il vasto impiego dei gradi centigradi, il Sistema Internazionale (SI) prevede l'utilizzo di una differente unità di misura per la temperatura termodinamica: si tratta del **kelvin** [K]. Questa scala prende il nome dal suo inventore, lo scienziato irlandese William Thomson, nominato barone con il nome di Lord Kelvin.

Mentre la scala Celsius ammette dei valori negativi, la scala Kelvin definisce il proprio zero in corrispondenza dello **zero assoluto**, cioè la temperatura più bassa teoricamente raggiungibile, equivalente a $-273,15^{\circ}\text{C}$, al di sotto della quale è impossibile scendere.

Questo è infatti il limite inferiore delle temperature, ovvero è possibile raggiungere temperature vicino allo zero assoluto, ma non potranno mai essere esattamente pari a questo valore.

Per comodità di utilizzo è stata mantenuta *la stessa dimensione dell'unità* della scala Celsius: vale a dire che alla variazione di temperatura di 1 K corrisponde una variazione di 1°C . L'unica differenza pratica tra queste due scale, in sintesi, è l'identificazione dello zero. La formula di conversione è riportata di seguito:

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

Proviamoci insieme

Conversione da [$^{\circ}\text{C}$] a [K]

Oggi è una assoluta giornata estiva, il nostro vicino di ombrellone ci chiede quanto sia la

temperatura. Sul termometro leggiamo 30°C , ma abbiamo deciso di fargli uno scherzo e gli rispondiamo $303 \dots \text{K}$.

Eseguiamo il calcolo come segue:

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15 = 30 + 273,15 = 303,15 \text{ K}$$

Si osserva che alla temperatura di 30°C corrisponde una temperatura di circa 303 K .

Calcoliamo le differenze di temperatura

Ci chiediamo che differenza numerica si ottenga se eseguiamo il calcolo di una differenza di temperatura usando la scala Kelvin oppure la scala Celsius.

Abbiamo detto che abbiamo mantenuto in entrambe le scale *la stessa dimensione dell'unità* e che l'unica differenza è l'identificazione dello zero: non ne siamo convinti? Osserviamo il seguente esempio numerico.

Due corpi si trovano a differenti temperature: il corpo n. 1 alla temperatura $t_1 = 80^{\circ}\text{C}$ ed il corpo n. 2 alla temperatura $t_2 = 55^{\circ}\text{C}$. Quanto vale la differenza di temperatura fra i due corpi?

Risolvi l'esercizio usando prima la scala Celsius e poi la scala Kelvin, verificando che in entrambi i casi il risultato sia uguale.

Per trovare la differenza di temperatura si esegue una semplice sottrazione. Iniziamo con i gradi Celsius:

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 80 - 55 = 25^{\circ}\text{C}$$

Ora passiamo alla scala Kelvin:

$$\begin{aligned} \Delta T &= T_1 - T_2 = (80 + 273,15) - (55 + 273,15) = \\ &= 80 + 273,15 - 55 - 273,15 = 80 - 55 = 25 \text{ K} \end{aligned}$$

In entrambi i casi il risultato numerico è uguale. Come già accennato, questo è dovuto al fatto che entrambe le scale mantengono la stessa dimensione dell'unità. Vale a dire che la differenza di temperatura di 1°C corrisponde proprio alla differenza di temperatura di 1 K.



La scala Fahrenheit



Questa scala di misura, tuttora utilizzata negli Stati Uniti d'America, prende il nome dal suo inventore, il fisico tedesco Daniel Fahrenheit.

L'unità di misura è il **grado fahrenheit** [$^{\circ}\text{F}$]. Per definire questa scala, il suo ideatore partì stabilendo due punti cardine: 0°F e 96°F .

Lo **zero** della **scala Fahrenheit** è definito come la temperatura di fusione di una soluzione composta in parti uguali di **ghiaccio**, acqua e **sale**.

A 96 °F, invece, corrisponde la temperatura media del corpo umano. Per farsi un'idea del confronto tra la scala Fahrenheit e la scala Celsius, si consideri che alla temperatura di fusione del ghiaccio, 0 °C, corrispondono 32 °F. A 100 °C, ovvero alla temperatura di ebollizione dell'acqua in condizioni standard di pressione, corrisponde una misura di 212 °F.

Da questi valori è possibile ottenere la formula di conversione tra scala Celsius e scala Fahrenheit, che risulta essere:

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$$

Alla temperatura di $-273,15^{\circ}\text{C}$ corrispondono $-459,67^{\circ}\text{F}$.

La formula inversa, per convertire i gradi Fahrenheit in Celsius, risulta essere:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{1,8}$$

Considerando la definizione della scala Fahrenheit, la grandezza della sua unità è diversa dal grado Celsius o da un kelvin. Infatti, una differenza di temperatura di 1 °F è l'equivalente di una differenza di temperatura di 0,556 °C. Al contrario, la variazione di 1 K o 1 °C è equivalente alla variazione di 1,8 °F.

Nella **figura E1.5** è possibile vedere un termometro con le misure riportate sulle scale Celsius e Fahrenheit.



E1.5 Termometro a dilatazione con scale graduate sia in Celsius sia in Fahrenheit.

Proviamoci insieme

Conversione da [F] a [°C]

Luigi va in viaggio negli Stati Uniti d'America, ma purtroppo prende l'influenza e gli sale la

febbre. Misurando la temperatura corporea con un termometro americano, legge una temperatura $T_F = 101,3^{\circ}\text{F}$. Luigi ha la febbre? Quanto vale la misura equivalente in gradi Celsius, T_C ?

Applicando la formula di conversione da Fahrenheit a Celsius, otteniamo il seguente risultato:

$$T_C = \frac{(T_F - 32)}{1,8} = \frac{101,3 - 32}{1,8} = \frac{69,3}{1,8} = 38,5^{\circ}\text{C}$$

Luigi ha qualche linea di febbre, meglio si ri-guardi.

Quanto vale un grado Fahrenheit?

Ci chiediamo che differenza numerica si ottenga se eseguiamo il calcolo di una differenza di temperatura usando la scala Fahrenheit oppure la scala Celsius. Abbiamo detto che una differenza di temperatura di 1 °F è l'equivalente di una differenza di temperatura di 0,556 °C, ma come si ottiene questo numero? Proviamo a giocare un po' con le formule, consideriamo due temperature misurate in gradi Fahrenheit, F_1 e F_2 :

$$F_1 = C_1 \cdot 1,8 + 32$$

$$F_2 = C_2 \cdot 1,8 + 32$$

$$\Delta F = F_2 - F_1 = (C_2 \cdot 1,8 + 32) - (C_1 \cdot 1,8 + 32) =$$

$$C_2 \cdot 1,8 + 32 - C_1 \cdot 1,8 - 32 = C_2 \cdot 1,8 - C_1 \cdot 1,8 =$$

$$(C_2 - C_1) \cdot 1,8 = \Delta C \cdot 1,8$$

$$\Delta F = \Delta C \cdot 1,8$$

da cui si ottiene:

$$\Delta F = 1^{\circ}\text{F} \Rightarrow 1 = \Delta C \cdot 1,8 \Rightarrow \Delta C = \frac{1}{1,8} = 0,556^{\circ}\text{C}$$

Viceversa:

$$\Delta C = 1^{\circ}\text{C} \Rightarrow \Delta F = 1,8^{\circ}\text{F}$$

PER I PIÙ CURIOSI La scala Rankine

Dalla scala Fahrenheit deriva la **scala Rankine** [°R], avente funzione di *scala assoluta* per il sistema di misura anglosassone. Questa scala fu inventata dal fisico scozzese William Rankine. La scala Rankine assume valore zero in corrispondenza dello zero assoluto, pertanto i suoi valori sono sempre positivi. La relazione di conversione fra le due scale è la seguente:

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$$

E1.3 Il calore



RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Il riscaldamento dei corpi



Procuriamoci il materiale

- Un bollitore
- Dell'acqua fredda



All'opera!

Prendiamo un bollitore e riempiamolo d'acqua. A questo punto attacchiamo la spina del bollitore alla presa elettrica e accendiamolo. Lasciamo il bollitore a scaldare per qualche minuto, osservando che l'acqua inizierà a bollire e poi ad evaporare, come mostrato nella [figura E1.6](#).



E1.6 Bollitore elettrico con acqua in ebollizione.



Cosa abbiamo imparato?

Da questo semplice esperimento si possono dedurre le seguenti osservazioni:

- fornendo calore a un corpo (mettendo l'acqua nel bollitore e accendendolo), la sua temperatura sale (l'acqua si scalda);

- il calore si trasmette spontaneamente dal corpo caldo (la piastra del bollitore) al corpo freddo (l'acqua).



E adesso come procediamo?

Ma cosa rappresenta questo calore?



Il calore è un'energia

A inizio capitolo abbiamo detto che la temperatura è la misura dello stato di agitazione delle particelle di cui è composta la materia. Il calore è collegato alla temperatura.

Nell'[unità D1](#) abbiamo visto che per variare la velocità di un corpo dobbiamo compiere un lavoro e che questo implica fornire energia.

Ma cosa fornisce energia alle particelle per farle accelerare e aumentare la loro velocità? Proprio il calore.

Il **calore** è una delle tante forme in cui si presenta l'**energia** e ha come unità di misura il joule (J).

Per comprendere meglio il concetto, pensiamo a una pentola piena d'acqua messa sul gas, in attesa di far cuocere la pasta, come per l'acqua nel nostro bollitore; l'acqua sale di temperatura e dopo qualche minuto, raggiunti i 100 °C, inizia a bollire e ad evaporare. Il calore viene fornito all'acqua dalla fiamma e conferisce all'acqua l'energia che le serve per aumentare la propria temperatura (cioè la velocità delle molecole).

E1.4 Gli effetti della temperatura sulla materia

La materia può presentarsi sotto diverse forme, note come **stati fisici della materia**.

Pensiamo all'acqua, essa è presente in abbondanza sulla Terra, non solo allo **stato liquido** (copre il 70% della superficie terrestre), ma anche allo **stato solido**, sotto forma di ghiaccio e, infine, allo **stato gassoso**, sotto forma di vapore acqueo nell'atmosfera.

Ma come fa un elemento a trasformarsi? Cosa avviene tra uno stato e l'altro?

Gli stati fisici della materia

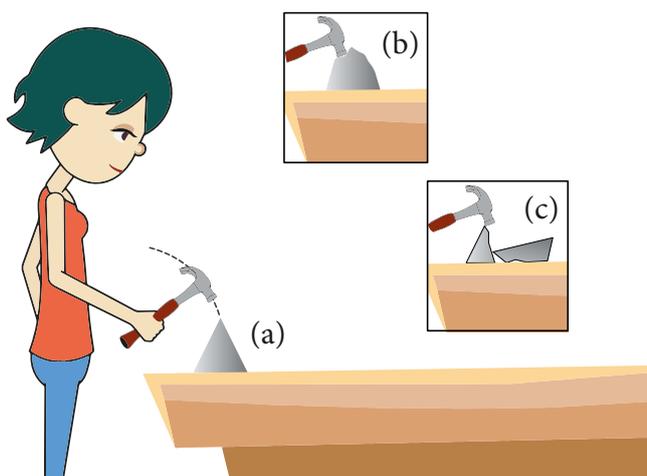
Qualsiasi materiale è costituito da particelle microscopiche, gli atomi e le molecole, che sono legate tra loro. A seconda della forza che tiene unite le particelle, la materia assume forme diverse, detti **stati fisici della materia** o **stati di aggregazione**.

La **materia** si presenta in natura sotto quattro differenti stati di aggregazione: **solido**, **liquido**, **aeriforme** e **plasma**.

Lo stato solido

Si definisce **solido** una sostanza che ha volume e forma propria.

Se applichiamo una forza ad un solido, ad esempio cerchiamo di schiacciarlo (fig. E1.7a), otterremo al più di **deformarlo** (fig. E1.7b) oppure di **spezzarlo** (fig. E1.7c). Per deformare o spezzare un solido occorre applicare forze esterne, spesso molto intense.



E1.7 Un corpo solido (a) sottoposto a una sollecitazione si può deformare (b) o frantumare (c).

Da queste semplici considerazioni deduciamo che le forze interne che tengono unite le molecole, dette **forze di coesione**, nei solidi risultano elevate e conferiscono stabilità all'insieme.

Lo stato liquido

Abbiamo già avuto a che fare con i fluidi e quindi con lo stato liquido e gassoso della materia nel **paragrafo B3.2**. Ricordiamo tuttavia le definizioni:

si definisce **liquido** una sostanza che ha un volume proprio, ma non ha forma propria.

I liquidi assumono la forma del recipiente che li contiene (fig. E1.8). Non occorrono grandi sforzi per suddividere un corpo liquido in parti, poiché le *forze interne di coesione* sono molto più deboli di quelle dei solidi. Se applichiamo una forza ad un liquido, ad esempio se cerchiamo di schiacciarlo con una mano, noteremo che la mano entrerà nel liquido, il quale semplicemente si sposterà tutt'intorno.



E1.8 Liquidi nei loro contenitori.

Lo stato aeriforme

Si definisce **aeriforme** una sostanza che non possiede né forma né volume propri.

Le *forze di coesione* degli aeriformi sono nulle, perciò le molecole si diffondono spontaneamente nell'ambiente circostante, distribuendosi in tutto lo spazio a loro disposizione.

Per trattenere gli aeriformi occorre racchiuderli ermeticamente in appositi contenitori quali, per esempio, le **bombole** (fig. E1.9), in caso contrario il gas sfuggirebbe. Pensiamo alle automobili alimentate a gas metano o a GPL (Gas di Petrolio Liquefatti): per contenere questi particolari combustibili si usano appositi serbatoi pressurizzati.



E1.9 Bombole contenenti diversi gas.

PER I PIÙ CURIOSI Vapore o gas?



La fase aeriforme comprende tutti i **vapori** e i **gas**. I gas si presentano in natura esclusivamente come aeriformi: il loro stato liquido è ottenibile solo in laboratorio o mediante processi industriali. Un esempio di gas è il metano, comunemente utilizzato nei fornelli domestici (fig. E1.10).

I vapori, a differenza dei gas, sono comunemente reperibili in natura insieme al loro stato liquido: un esempio è il classico vapore acqueo, il liquido e il suo vapore coesistono a **condizioni ambientali non estreme**.



E1.10 Un fornello alimentato a gas metano.

L'aria

Un componente aeriforme di primaria importanza per la vita sul nostro pianeta è l'**aria**. Essa è un gas a tutti gli effetti, in quanto la sua condensazione a pressione atmosferica avviene a temperature decisamente basse, inferiori ai $-194\text{ }^{\circ}\text{C}$, ben lontane da quelle a cui si sviluppa la vita in natura. L'aria è composta per il 78% da azoto, per il 21% da ossigeno e per il restante 1% da altri gas in minime dosi.



A COSA CI SERVE

La locomotiva a vapore



Il vapore più tipico e importante è quello acqueo, ampiamente sfruttato per la sua capacità di accumulare e restituire energia. Il vapore acqueo fu utilizzato fin dai tempi più antichi come fonte di energia, infatti già nel I secolo a.C. l'inventore greco Erone di Alessandria costruì l'eolipila, una girandola metallica alimentata dal vapore. Si tratta di un vero e proprio precursore dei motori a vapore, utilizzati fino al secolo scorso.

Tra le più grandi e famose applicazioni dell'energia del vapore ci sono le locomotive a vapore, utilizzate per trainare i treni. Nella **figura E1.11** possiamo osservare una locomotiva a vapore tedesca, modello DRG 01, in grado di raggiungere una velocità di 130 km/h. Anche se da molti anni le macchine a vapore in Europa sono state soppiantate dai nuovi locomotori elettrici o a Diesel, in alcune parti del mondo sono ancora in servizio, come in Eritrea, Cina e Sud America.



E1.11 Una locomotiva a vapore tedesca del gruppo DRG 01.



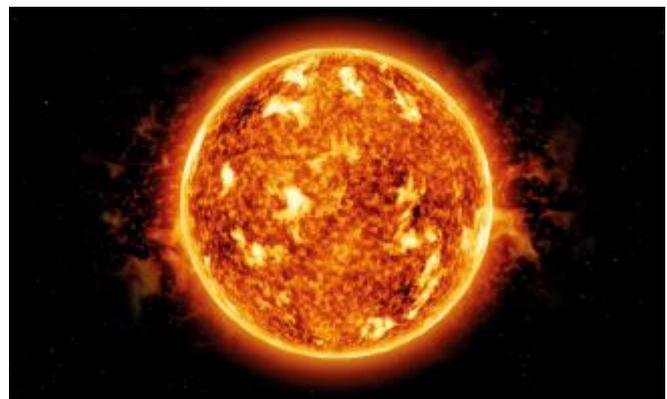
Lo stato di plasma

Un quarto stato della materia, che non approfondiremo, è il *plasma*.

Il **plasma** è costituito da particelle cariche positivamente e negativamente, dotate di elevatissima mobilità, ed è dovuto alla ionizzazione della materia.

In altre parole, è formato da elettroni liberi e dagli atomi che li hanno perduti (concetti che chiariremo meglio nell'**unità G1**). Il plasma si forma a temperature e a energie elevate perché serve energia per strappare gli elettroni agli atomi ed evitare che si ricombinino con gli ioni così ottenuti.

Sulla Terra troviamo comunemente materia solida, liquida o gassosa ma non il plasma. Tuttavia, il quarto stato della materia rappresenta la componente più abbondante dell'Universo: si noti che il 99% della materia dell'Universo, il **materiale stellare**, è presente sotto forma di plasma; pertanto il nostro Sole, rappresentato nella **figura E1.12**, è formato da plasma.



E1.12 Un'immagine del Sole.

Altri esempi di plasma sono i lampi, la materia che genera la luminescenza delle lampade al neon e l'aurora boreale (fig. E1.13). Nello specifico, quest'ultimo fenomeno è generato da ioni di plasma provenienti dal vento solare che interagiscono con il campo magnetico terrestre e alcuni strati dell'atmosfera.



E1.13 Il fenomeno dell'aurora boreale.

Cambiamento di stato

Abbiamo visto che la materia può esistere sotto forma di diversi stati, che alcuni possono coesistere e altri no. Ma come si passa da uno stato all'altro?

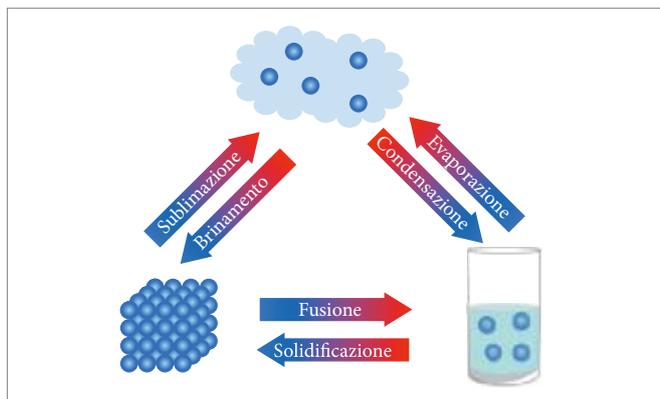
È possibile, come ci insegna l'esperienza dell'acqua in ebollizione, ottenere il passaggio da uno stato all'altro intervenendo sulla **temperatura**.

Per capire meglio, basiamoci quindi sull'acqua e sull'esperienza di tutti i giorni.

Se mettiamo l'acqua in freezer, essa si raffredda e congela: questo ci dimostra che quando si abbassa la temperatura, un oggetto passa dallo stato liquido a quello solido.

Sappiamo anche che per far tornare il ghiaccio allo stato liquido basta alzare la temperatura e che se la alziamo ulteriormente l'acqua si trasforma in vapore.

L'esperienza mostra quindi che variando la temperatura si può passare da uno stato di aggregazione all'altro (fig E1.14).



E1.14 Nomenclatura dei passaggi di stato.

I passaggi di stato e i calori latenti

La **fusione** è il passaggio di una sostanza dallo stato solido a quello liquido, il passaggio inverso è la **solidificazione**.

Le sostanze fondono (e solidificano) a una precisa temperatura; per fondere un materiale dobbiamo scaldarlo finché non raggiunge la sua **temperatura di fusione**, a questo punto, continuando a somministrare calore la temperatura non sale e la sostanza fonde. Ma quanto calore dobbiamo somministrare?

La quantità di calore che deve essere fornita, alla temperatura di fusione, per provocare la fusione completa del corpo di massa m è data dalla seguente formula:

$$Q = q_f \cdot m$$

in cui $q_f = Q/m$, detto **calore latente di fusione**, è la quantità di calore necessaria per fondere 1 kg di materiale.

Il **calore latente di fusione** è la quantità di calore necessaria per fondere completamente l'unità di massa di una sostanza che si trovi alla temperatura di fusione. Quando tutta la massa m si sarà fusa, la temperatura ricomincerà a salire.

La **vaporizzazione** è il passaggio di una sostanza dallo stato liquido a quello aeriforme, il passaggio inverso è la **condensazione**.

L'**ebollizione** è il passaggio di un liquido allo stato di vapore, che avviene in modo tumultuoso e che interessa tutta la massa di liquido.

Tutte le sostanze liquide bollono a una precisa temperatura e, durante l'ebollizione, un liquido non varia la sua temperatura, detta **temperatura di ebollizione**. Continuando a somministrare calore a un liquido in ebollizione, esso non aumenta la sua temperatura, ma evapora. Ma quanto calore dobbiamo somministrare?

La quantità è data dalla seguente formula:

$$Q = q_v \cdot m$$

in cui $q_v = Q/m$, detto **calore latente di vaporizzazione**, è la quantità di calore necessaria per far evaporare 1 kg di liquido.

Il **calore latente di vaporizzazione** è la quantità di calore necessaria per vaporizzare completamente l'unità di massa di una sostanza che si trovi alla temperatura di ebollizione.

Quando tutta la massa m sarà evaporata la temperatura ricomincerà a salire.

Quanto detto, in entrambi i casi, vale anche nei passaggi inversi. La temperatura smette di scendere fino a che il materiale non ha completato il passaggio di fase da gas a liquido o da liquido a solido.

Nel Sistema Internazionale i calori latenti si esprimono in J/kg.

PER I PIÙ CURIOSI

La sublimazione della naftalina



Il naftalene, noto anche come **naftalina**, è un idrocarburo aromatico. È comunemente usato in ambiente domestico sotto forma delle tipiche palline antitarma che usiamo per proteggere coperte e vestiti di lana (fig. E1.15). A temperatura ambiente si presenta come un solido cristallino bianco, caratterizzato da un tipico odore pungente. La diffusione nell'ambiente circostante di questo insetticida si basa sul fenomeno della *sublimazione*.

La **sublimazione** di un elemento, o composto chimico, è la sua transizione di fase dallo stato solido allo stato gassoso, senza passare attraverso lo stato liquido.

A poco a poco, la pallina di naftalina si rimpicciolisce, consumandosi, liberando particelle e diffondendole nell'aria.



E1.15 Alcune palline di sostanza antitarma a base di naftalina.

L'aria liquida

È possibile, anche se più complicato, ottenere il passaggio da uno stato all'altro intervenendo sulla **pressione**. Un esempio è la produzione industriale dell'aria liquida; l'aria viene portata per passaggi successivi alla pressione di 200 bar, pari a circa 200 atm, quindi raffreddata e fatta espandere in un'apposita camera nella quale condensa e si raccoglie sul fondo allo stato liquido.



La combustione

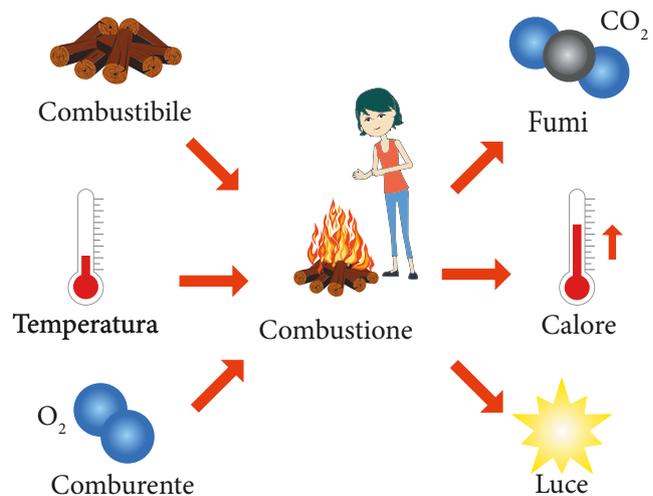
Uno dei modi principali per ottenere il *calore* è attraverso la **combustione**, un tipo di *reazione chimica* che abbiamo osservato più volte, basti pensare alla fiamma di una candela o ai fornelli a gas di casa. E i motori delle automobili? Oggigiorno la maggior parte dei veicoli è ancora dotata di motori a combustione. La benzina che mettiamo nel serbatoio è il combustibile che alimenta il motore. Ma che cos'è la combustione?

La **combustione** è una reazione chimica il cui scopo è la liberazione dell'energia contenuta nel combustibile sotto forma di energia termica (**reazione esotermica**).

Il **calore** ottenuto dalla combustione viene sfruttato e trasformato in lavoro meccanico, come nel caso dei motori termici, e può anche essere usato per generare luce o per ottenere violenti impulsi, come nel caso degli esplosivi.

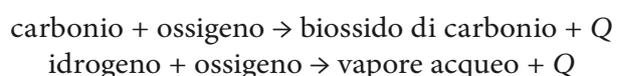
La **combustione** è una **reazione**, detta di **ossidazione**, che avviene fra una sostanza **combustibile**, fondamentale formata da carbonio e idrogeno, e l'ossigeno contenuto nell'aria, avente funzione di **comburente** (fig. E1.16).

La reazione ha luogo ad una temperatura minima, detta **temperatura di innesco**.



E1.16 La combustione rappresentata in forma di schema a blocchi.

Durante la combustione il **carbonio** e l'**idrogeno** reagiscono con l'**ossigeno**, generando fumi, ovvero i prodotti della combustione, fra cui principalmente **biossido di carbonio** e vapore acqueo, più una quantità di calore Q che viene liberata nell'ambiente:



Si definiscono **esplosioni** le combustioni che avvengono con propagazione assai veloce e con grande aumento di volume.

PER I PIÙ CURIOSI Combustioni senza ossigeno



In Chimica il termine combustione raggruppa una vasta tipologia di reazioni, non necessariamente comprendenti l'ossigeno fra i suoi componenti; una miscela di *idrogeno* e *cloro* brucia con fiamma, così come numerosi metalli bruciano in ambiente di solo cloro.

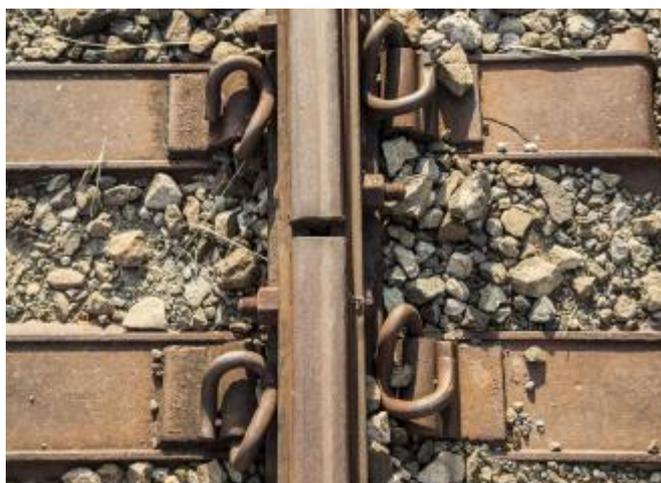


E1.5 La dilatazione termica

Se osserviamo i binari della ferrovia (fig. E1.17), possiamo notare che all'atto della giunzione tra due tratti successivi di un binario, non si posizionano le rotaie a stretto contatto, ma viene lasciato un piccolo spazio tra loro. Come mai?

Questo spazio è voluto in fase di costruzione, perché la lunghezza del binario non è sempre la stessa nell'arco dell'anno: se osserviamo i binari d'estate, la loro giunzione avrà uno spazio molto più ridotto rispetto al periodo invernale.

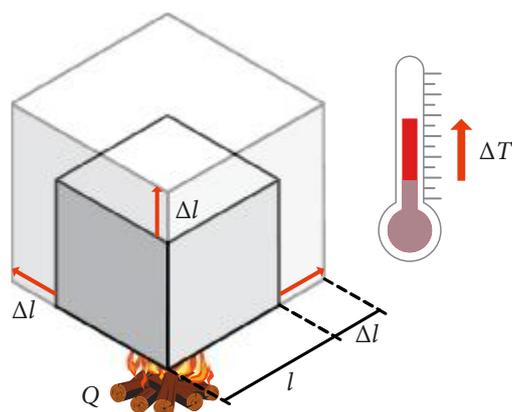
Cosa causa questa variazione?



E1.17 Giunzione di un binario ferroviario.

Dilatazione di un corpo

Prendiamo come riferimento un corpo solido di forma cubica, costituito da un materiale omogeneo, come mostrato nella figura E1.18.



E1.18 Il cubo sottoposto a calore si dilata uniformemente in tutte le direzioni.

Se tale corpo viene scaldato uniformemente, aumenta l'energia di agitazione delle particelle, detta **energia cinetica molecolare**; di conseguenza, aumenta lo spazio occupato da ogni molecola; pertanto ogni lato di lunghezza l subisce una dilatazione Δl , direttamente proporzionale all'incremento di temperatura ΔT subito dal corpo.

Torniamo all'esempio della rotaia, sotto il Sole d'estate i binari si scaldano e si dilatano, avvicinandosi tra loro e riducendo lo spazio che li separa. Al contrario, durante la stagione invernale, con il freddo le rotaie si ritraggono, aumentando lo spazio che li divide. Lo scopo dello spazio residuo è proprio di permettere la dilatazione senza arrivare a far comprimere i binari tra loro, deformandoli pericolosamente.

Osserviamo che la rotaia ha una dimensione, la lunghezza, rispetto alla quale le altre sono trascurabili, in tal caso infatti si parla di **dilatazione lineare**, poiché la dilatazione nelle altre direzioni è trascurabile rispetto a quello che avviene lungo quella principale.

Ma cosa si intende per "trascurabile" in Fisica?^{iv} Un fenomeno è trascurabile rispetto ad un altro se il suo effetto è di qualche ordine di grandezza minore rispetto all'altro. Tornando all'esempio della rotaia, la dilatazione che si può misurare in lunghezza è circa cento volte maggiore rispetto alla dilatazione che si misura in altezza e larghezza della stessa, che quindi vengono trascurate.

Concentriamoci pertanto sulla dilatazione lineare: la formula che esprime il legame di proporzionalità fra dilatazione e variazione di temperatura è la seguente:

$$\Delta l = \lambda \cdot l_i \cdot \Delta T$$

dove con Δl si intende la differenza tra la lunghezza finale l_f e quella iniziale l_i ; con ΔT si indica la variazione di temperatura $T_f - T_i$, e la lettera greca λ (lambda)

iv Per un ripasso veloce si veda il [paragrafo A1.5](#).

rappresenta il **coefficiente di dilatazione termica lineare**, il cui valore cambia al variare della sostanza di cui è costituita la sbarra.

Che dimensioni ha λ ?

Come abbiamo visto^v, in Fisica è molto importante prestare attenzioni alle *dimensioni* delle grandezze. Svolgiamo quindi una **equazione dimensionale**: primo e secondo membro devono avere le stesse dimensioni, sfruttiamo questa regola per calcolare le unità di misura di λ .

Noi sappiamo che Δl e l sono **lunghezze** quindi si misureranno in metri, ΔT è una **temperatura**, quindi si misurerà in °C:

$$[\lambda] = \left[\frac{\Delta l}{l \cdot \Delta T} \right] = \frac{\text{m}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{1}{^\circ\text{C}} = ^\circ\text{C}^{-1}$$

L'ordine di grandezza di λ è pari a $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, nella **tabella E1.1** sono riportati i valori del coefficiente λ per alcuni materiali.

Tabella E1.1 Tabella dei coefficienti di dilatazione termica lineare [$^\circ\text{C}^{-1}$] per diversi materiali

Materiale	Coefficiente λ [$1/^\circ\text{C}$]	Materiale	Coefficiente λ [$1/^\circ\text{C}$]
Acciaio	$11,5 \cdot 10^{-6}$	Nichel	$13 \cdot 10^{-6}$
Alluminio	$24 \cdot 10^{-6}$	Oro	$14,2 \cdot 10^{-6}$
Bronzo, ottone	$18 \cdot 10^{-6}$	Paraffina a 20 °C	$200 \cdot 10^{-6}$
Cemento in opera	$14 \div 77 \cdot 10^{-6}$	Polietilene	$200 \cdot 10^{-6}$
Ghiaccio a -100 °C	$34 \cdot 10^{-6}$	Porcellana a 20 °C	$4 \cdot 10^{-6}$
Ghiaccio a 0 °C	$53 \cdot 10^{-6}$	Rame	$17 \cdot 10^{-6}$
Ghisa	$10,5 \cdot 10^{-6}$	Resine amminoplastiche	$50 \cdot 10^{-6}$
Gomme dure	$50 \div 90 \cdot 10^{-6}$	Piombo	$29 \cdot 10^{-6}$
Legno di abete	$4 \div 58 \cdot 10^{-6}$	Stagno	$23 \cdot 10^{-6}$
Magnesio	$26 \cdot 10^{-6}$	Vetro industriale	$8 \cdot 10^{-6}$
Mattoni	$6 \cdot 10^{-6}$	Zinco	$29 \cdot 10^{-6}$

Proviamoci insieme

Di quanto si allunga un binario ferroviario?

Un tratto di binario ferroviario di acciaio ($\lambda = 11,5 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) ha una lunghezza $l = 36 \text{ m}$. Ipotizziamo che tra l'inverno e l'estate la variazione termica sia $\Delta T = 48,5 \text{ } ^\circ\text{C}$, quanto vale l'aumento della lunghezza del binario Δl al culmine della stagione estiva?

Per trovare il risultato, applichiamo la formula della dilatazione termica lineare:

$$\Delta l = \lambda \cdot l \cdot \Delta T = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 36 \cdot 48,5 = 0,02 \text{ m}$$

Il binario, dilatandosi linearmente, si espanderà di 10 mm per parte. Quindi lo spazio che separa due binari successivi deve poter accogliere 10 mm di dilatazione da entrambi, senza farli arrivare a contatto. Comprendiamo che in fase di montaggio lo spazio teorico che separa due binari successivi sarà di almeno 20 mm.

E1.6 Il calore specifico

Finora abbiamo parlato di temperatura, calore e materia. Ma come si relazionano tra loro? Fornendo calore a una determinata massa, di quanto aumenta la sua temperatura? E diversi materiali si comportano allo stesso modo, oppure no? Per poter rispondere a queste domande è necessario partire con un piccolo esperimento casalingo.

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Cucchiaino di legno o di metallo?



Procuriamoci il materiale

- Un termos con dell'acqua calda
- Un cucchiaino di legno e uno di metallo



All'opera!

Prendiamo un termos con dell'acqua riscaldata precedentemente. Immergiamo contemporaneamente due cucchiaini nell'acqua: uno di legno e uno metallico. Dopo un paio di minuti tiriamoli fuori, asciugiamoli velocemente con un panno e tocchiamoli. Quello di metallo sembrerà decisamente più caldo di quello di legno. Inoltre, il manico del cucchiaino di legno sarà freddo, mentre quello di metallo caldo.



Ragioniamoci su...

C'è qualcosa che non quadra: da quanto abbiamo visto sull'equilibrio termico, se mettiamo due corpi a contatto con l'acqua calda, dopo un po' di tempo

^v Il **paragrafo A1.7** racchiude i concetti chiave legati al calcolo dimensionale.

dovrebbero aver raggiunto una temperatura di equilibrio con il liquido. Possibile che due minuti non siano sufficienti? Beh, aspettiamo anche di più: la sensazione non cambia. A un certo punto dobbiamo concludere che i due cucchiaini hanno la stessa temperatura, ma la sensazione di temperatura che ci comunicano è diversa. Il fatto che il manico del cucchiaino di legno si scaldi in ritardo rispetto a quello di metallo poi ci dice che il calore deve viaggiare più velocemente nel metallo che nel legno.



Cosa abbiamo imparato?

I due cucchiaini, pur essendo in equilibrio termico tra loro e con l'acqua, incamerano e cedono calore in modo diverso.



E adesso come procediamo?

Sarà bene capire in cosa consiste questa diversità, che vedremo ha a che fare con due proprietà dei materiali: il **calore specifico** e la **conducibilità termica**.

Il calore specifico e la capacità termica

Dopo ciò che abbiamo visto nell'esempio di cui sopra, possiamo porci la seguente domanda: se somministriamo una stessa quantità di calore Q a un certo numero di corpi di ugual massa m , ma di diversi materiali, subiranno tutti lo stesso aumento di temperatura? La risposta è negativa: gli aumenti di temperatura variano da corpo a corpo, producendo riscaldamenti disuguali. Ciò è dovuto alla differente variazione dello stato di agitazione dei vari tipi di molecole di cui sono composti i materiali quando sono influenzate dal calore. Per valutare la tendenza dei materiali a scaldarsi quando viene loro somministrato del calore, si ricorre al concetto di *capacità termica*.

La **capacità termica C** di un materiale è il rapporto fra il calore fornito o sottratto e la variazione di temperatura avvenuta:

$$C = \frac{\text{calore fornito}}{\text{variazione di temperatura}} = \frac{Q}{\Delta T}$$

di conseguenza, l'unità di misura della capacità termica si ottiene facendo il rapporto fra energia e temperatura:

$$[C] = \frac{J}{^{\circ}C}, \text{ o anche: } [C] = \frac{J}{K}$$

a seconda che ci si riferisca alla scala delle temperature in gradi centigradi o kelvin.

Questa grandezza prende in considerazione tutta la massa del corpo a cui viene fornito (o sottratto) calore.

Un'utile grandezza la si ottiene, infine, dividendo la capacità termica di un corpo per la sua massa, ottenendo il *calore specifico*, comunemente indicato con la lettera c minuscola:

$$c = \frac{C}{m}$$

Il **calore specifico c** di un materiale è il rapporto fra il calore fornito (o sottratto) all'unità di massa della sostanza in esame e la variazione di temperatura avvenuta per riscaldamento (o raffreddamento):

$$c = \frac{\text{calore fornito}}{\text{massa} \cdot \text{variazione di temperatura}} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

La sua unità di misura è:

$$[c] = \frac{J}{\text{kg} \cdot ^{\circ}C}$$

o anche:

$$[c] = \frac{J}{\text{kg} \cdot K}$$

In altre parole, il calore specifico indica quanta energia termica, espressa in joule, deve essere trasmessa ad un chilogrammo di materiale per ottenere l'innalzamento di un grado di temperatura.

Il calore specifico è una grandezza di vasto impiego in quanto, essendo riferita all'unità di massa, è un parametro intrinseco tipico del materiale, adatta per eseguire confronti fra le sostanze: per esempio, raffreddando o riscaldando sostanze con elevato calore specifico, come il legno o l'acqua, si denotano variazioni più modeste di temperatura rispetto a quelle aventi basso calore specifico, come i metalli in generale.

Proviamoci insieme

Riscaldamento del vetro

Una massa di vetro $m = 120 \text{ g}$ ($c_{\text{vetro}} = 837,2 \text{ J}/(\text{kg} \cdot K)$), posta a una temperatura iniziale $T_i = 290 \text{ K}$, viene scaldata fino a raggiungere la temperatura finale $T_f = 310 \text{ K}$. Si chiede di determinare la quantità di calore Q assorbita dal vetro.

Ricaviamo l'inversa della formula del calore specifico ed eseguiamo i conti:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta T = 837,2 \cdot 0,12 \cdot 20 = 2009,3 \text{ J}$$

E1.7 La propagazione del calore



RIMBOCCHIAMOCI LE MANICHE

Il metallo conduce il calore



Procuriamoci il materiale

- Una candela o un accendino
- Un cucchiaino metallico



All'opera!

Come illustrato nella **figura E1.19** prendiamo un accendino e utilizziamolo per scaldare un cucchiaino. Teniamo il cucchiaino metallico da una estremità in modo che la fiamma scaldi il capo opposto. Dopo poco tempo sentiremo che anche l'estremità che teniamo in mano si scalderà sempre di più.



Attenzione, non toccare l'altra estremità, perché sarà rovente. Per stemperare il cucchiaino, conviene immergerlo in acqua fredda.



E1.19 Un cucchiaino di metallo riscaldato dalla fiamma di una candela.



Cosa abbiamo imparato?

Questo piccolo esperimento dimostra che il calore si trasmette attraverso la materia: il calore della fiamma scalda la punta del cucchiaino e si propaga al suo interno, espandendosi per tutto il corpo, atomo per atomo, fino a raggiungere l'estremità opposta, che teniamo in mano.



E adesso come procediamo?

Dopo questo esperimento sorge spontanea una domanda. Quali e quanti sono i metodi di propagazione del calore?



Conduzione

La propagazione del calore che avviene per contatto tra corpi a temperatura diversa è detta **conduzione**.

Nella zona di contatto, le particelle del corpo a più alta temperatura, quindi dotate di un'energia cinetica maggiore, urtano con quelle dell'altro corpo, con minore temperatura, passando nell'urto una parte della loro energia. Urto dopo urto, il calore si propagherà fino all'estremo del corpo a temperatura minore, facendo sì che i corpi raggiungano la medesima temperatura e, quindi, un equilibrio termico.

L'esperimento proposto in precedenza è proprio un esempio di **propagazione per conduzione**.

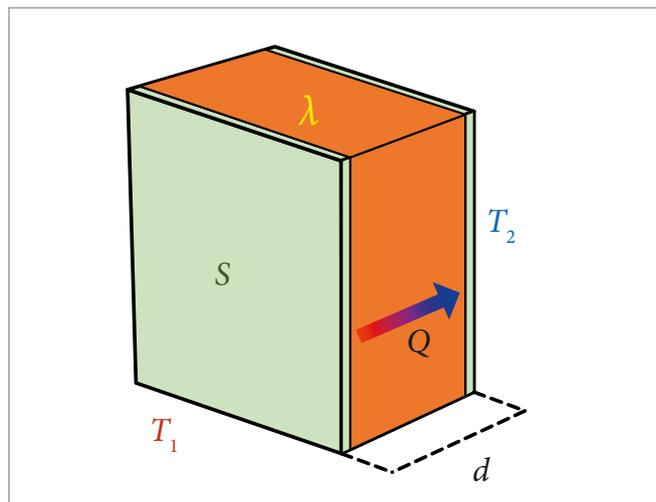
La conducibilità termica e la legge di Fourier



In un corpo solido, la quantità di calore trasmesso e la velocità della sua propagazione dipendono da una grandezza detta **conducibilità termica** (simbolo λ oppure k), un valore soggetto al materiale di cui è composto un corpo. La definizione di questa grandezza è di tipo empirico e fu formulata dal matematico francese Jean Fourier, dal quale prende il nome di **legge di Fourier**.

Consideriamo un corpo solido di spessore d , delimitato da due pareti di superficie S , ognuna delle quali è mantenuta a temperatura costante, rispettivamente T_1 e T_2 (**fig. E1.20**). Se all'interno delle pareti la temperatura varia in maniera costante tra T_1 e T_2 (in linguaggio tecnico si chiama **gradiente di temperatura**), la quantità di calore che passa attraverso il corpo nell'intervallo di tempo Δt è così espressa:

$$Q = \lambda \cdot S \frac{T_1 - T_2}{d} \Delta t$$



E1.20 Schema della trasmissione di calore per conduzione.

Da questa formula possiamo notare come l'unità di misura della conducibilità termica λ (detta anche **conduttività termica**) è $W/(m \cdot K)$. Nella **tabella E1.2** sono riportati alcuni valori di conducibilità termica per alcuni materiali.

Tabella E1.2

Conducibilità termica di alcuni materiali

Materiale	λ [W/(m·K)]	
Argento	420	
Rame	8900 kg/m ³	395
	8300 kg/m ³	302
Oro	299	
Alluminio	210	
Acciaio con 30% Ni	105	
Stagno	64	
Grafite	4,9	
Vetro	0,5 ÷ 1	
Asfalto	0,64	
Acqua (in stato di quiete)	0,63	
Polistirene espanso in lastre	0,032 ÷ 0,037	
Aria (in stato di quiete)	0,026	

In funzione del valore di conducibilità termica possiamo definire due tipi di materiali:

- i **buoni conduttori di calore** (per esempio i metalli) caratterizzati da un'alta conducibilità termica;
- gli **isolanti termici** (ad esempio legno e materie plastiche), caratterizzati da una bassa conducibilità termica.

La conducibilità termica e la percezione della temperatura

Nell'esperimento con i due cucchiai, quello di metallo sembrava più caldo rispetto a quello di legno, perché avendo una conducibilità termica maggiore rilasciava calore più velocemente alla nostra pelle, rischiando di scottarci. Per lo stesso motivo il manico di metallo si è scaldato più velocemente di quello di legno.

Toccando due oggetti a parità di temperatura, percepiremo come più caldo l'oggetto avente conducibilità termica più alta.

Proviamoci insieme

Il condizionamento di una stanza

Una stanza ha una parete fatta di mattoni ($\lambda_{\text{mattoni}} = 0,81 W/(m \cdot K)$) con una base lunga 5 m, l'altezza di 3 m e spessa $d = 30$ cm. Se la

superficie esterna della parete è esposta al Sole e ha una temperatura $T_e = 42^\circ C$, quanto vale la potenza di un condizionatore che deve mantenere la stanza a una temperatura interna costante $T_i = 22^\circ C$?

Ricordiamo che la potenza è il rapporto tra il lavoro e il tempo (**par. D1.4**):

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

Sappiamo che il lavoro è energia e , scopriremo nella prossima unità, che il calore non è altro che una forma di energia. Possiamo quindi scrivere:

$$P = \frac{Q}{\Delta t} = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_i - T_e}{d}$$

in cui Q è estratto dalla legge di Fourier.

La superficie della parete vale $S = 5 \cdot 3 = 15 m^2$. Inoltre, dato che la formula appena trovata utilizza la differenza delle temperature, possiamo sostituire l'unità di misura da gradi Celsius a kelvin. Come abbiamo visto in precedenza, la differenza di temperatura assume lo stesso valore numerico per entrambe le scale.

Applichiamo i dati numerici forniti per trovare la soluzione del problema:

$$P = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_i - T_e}{d} = 0,81 \frac{W}{mK} \cdot 15 m^2 \cdot \frac{-20 K}{0,3 m} = -810 W$$

Notiamo che la potenza richiesta risulta negativa perché al condizionatore è richiesto di sottrarre energia (sotto forma di calore) dall'ambiente interno alla stanza: dunque, se osserviamo il problema ponendoci all'interno della stanza, possiamo vedere che si tratta di una perdita di calore.

RIMBOCCIAMOCI LE MANICHE

Convezione e irraggiamento



Procuriamoci il materiale

- Una candela o un accendino

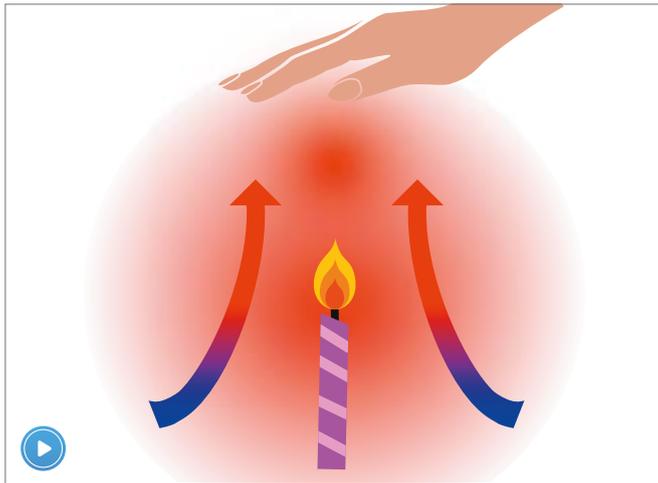


All'opera!

Prendiamo una candela, accendiamola e posizionala verticalmente (lo stesso esperimento si può

fare con un accendino). La fiamma, come sappiamo, emana luce e calore.

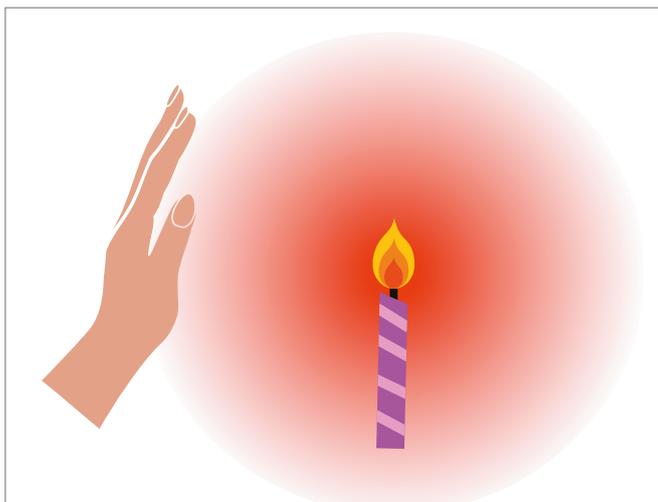
Per sentire questo calore basta mettere la mano a una certa altezza sopra la fiamma (fig. E1.21): abbassando lentamente la mano verso la fiamma, sentiremo più caldo. Al contrario, se alziamo la mano, allontanandola dalla fiamma, sentiremo meno caldo.



E1.21 Una mano posta sopra una candela riceve calore dai moti convettivi.

A questo punto, proviamo ad avvicinare la mano di lato (fig. E1.22).

Noteremo che la percezione del calore è minore e riusciremo ad avvicinare la mano alla fiamma molto di più che dall'alto. Perché?



E1.22 Una mano posta accanto alla fiamma di una candela.



Cosa abbiamo imparato?

L'esperienza ci fa comprendere che c'è una sensibile differenza tra il porre la mano di fianco o sopra una fiamma. A parità di distanza, la mano posta sopra la fiamma percepisce un calore maggiore.



E adesso come procediamo?

Andiamo alla ricerca dei diversi fattori in gioco che modificano la percezione del calore in questo caso.



Convezione

Nei fluidi il calore si propaga per spostamento di materia dalle zone a temperatura maggiore a quelle a temperatura minore, e viceversa: questa propagazione di calore è detta per **convezione**.

È esperienza comune che l'aria calda vada verso l'alto, mentre quella fredda si riversi verso il basso, questo perché hanno densità diverse, come abbiamo visto nel [paragrafo B3.4](#) (principio di Archimede).

Questi movimenti, detti **moti convettivi**, portano al raggiungimento dell'equilibrio termico, mettendo in contatto tra loro zone di materia a diversa temperatura, mescolando le particelle più calde con quelle più fredde.

Questo è ciò che accade nel primo caso del nostro esperimento (fig. E1.21): abbiamo notato che in base alla distanza tra la nostra mano e la fiamma, la percezione della temperatura cambia, poiché il calore si propaga dalla fiamma all'aria circostante.

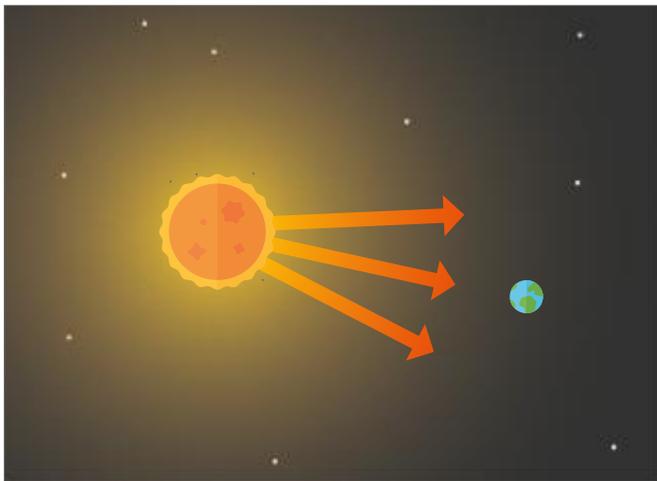
Quest'ultima, salendo, scalda la mano che stiamo tenendo sopra: trattandosi di un movimento di materia (aria calda), diciamo che si tratta di un fenomeno di **trasmissione del calore per convezione**.

Irraggiamento

Come abbiamo visto nell'[unità C3](#), il Sole è la stella attorno a cui la Terra orbita, a una distanza di circa 150 milioni di chilometri. Dato che lo spazio interplanetario è vuoto, il calore e la luce solare attraversano la distanza che separa il Sole dalla Terra senza propagarsi attraverso la materia, ma mediante onde elettromagnetiche (fig. E1.23). Questa particolare trasmissione del calore è detta **irraggiamento**.

Riprendiamo il nostro esperimento, nel caso in cui ponevamo la mano a lato della fonte di calore: dato che l'aria calda sale, noi avviciniamo la mano di lato, riuscendo ad avvicinarci di più alla fiamma e percependo sempre calore, anche se meno che nel caso precedente.

La fiamma, infatti, emana delle onde elettromagnetiche che si propagano nello spazio, trasmettendo energia sotto forma di calore per **irraggiamento**.



E1.23 Propagazione del calore per irraggiamento dal Sole alla Terra.

Il termine **irraggiamento** definisce la trasmissione di calore tramite onde elettromagnetiche.

Affinché avvenga lo scambio termico per irraggiamento, non è necessario un contatto diretto (come nella conduzione) o una trasmissione di materia (come nella convezione), per cui può avvenire anche nel vuoto.

Possiamo dire in generale che ogni corpo emana una radiazione, cioè un'onda elettromagnetica, la cui intensità è funzione della sua temperatura. Allo stesso modo un corpo può assorbire queste onde per aumentare la sua temperatura. Ritornando all'esempio del sistema solare, il Sole emette radiazioni che sono assorbite dalla Terra.

A COSA CI SERVE La vista termica



La **vista** è il senso che ci permette di percepire gli stimoli luminosi. L'occhio umano può vedere quella parte della radiazione elettromagnetica comunemente nota come **luce visibile**, cioè le onde comprese tra il rosso e il violetto^{vi}.

Alcuni animali, invece, possiedono un sistema di visione che permette loro di rilevare le onde appartenenti ad altre bande della radiazione. I serpenti, ad esempio, vedono la **radiazione infrarossa** (onde emesse dai corpi caldi). Questo stesso principio sta alla base di alcuni visori notturni, utilizzati nel campo della videosorveglianza o nel settore militare. Le immagini così ottenute mostrano i corpi più caldi con colori chiari e luminosi, tendenti al rosso, al giallo e al bianco, mentre i corpi più freddi con colori scuri, come il verde o il blu.

vi Maggiori dettagli sull'ottica saranno riportati nell'unità F2.

Un altro utilizzo dei visori termici è l'analisi degli edifici, alla ricerca di dispersioni di calore; le zone dove maggiore è la dispersione di calore vengono evidenziate a video con i colori rosso e giallo (fig. E1.24).



E1.24 Un visore termico inquadra un'abitazione alla ricerca delle dispersioni di calore.



PER I PIÙ CURIOSI il risparmio energetico nelle case



L'energia consumata nell'edilizia residenziale per riscaldare gli ambienti e per l'acqua calda sanitaria rappresenta circa il 30% dei consumi energetici nazionali italiani e circa il 25% delle emissioni totali nazionali di anidride carbonica; come avremo già sentito, le **emissioni di CO₂** costituiscono una delle cause principali dell'**effetto serra** e del conseguente innalzamento della temperatura del globo terrestre.

In questi ultimi anni, infatti, siamo di fronte a un'estremizzazione delle temperature climatiche, che spesso risultano, rispetto alla media, più calde d'estate e più fredde d'inverno.

Una soluzione che possiamo adottare è intraprendere interventi di risparmio energetico nelle nostre case. Sappiamo cosa vuol dire? Risparmiare energia nelle nostre case significa:

- consumare meno energia e ridurre le spese di riscaldamento e condizionamento;
- migliorare le condizioni di vita all'interno dell'appartamento, aumentando il suo livello di comfort e il benessere di chi soggiorna e vi abita;
- partecipare allo sforzo nazionale ed europeo per ridurre sensibilmente i consumi di combustibile da fonti fossili;

- proteggere l'ambiente in cui viviamo e contribuire alla riduzione dell'inquinamento del nostro paese e dell'intero pianeta;
- investire in modo intelligente e produttivo i nostri risparmi.

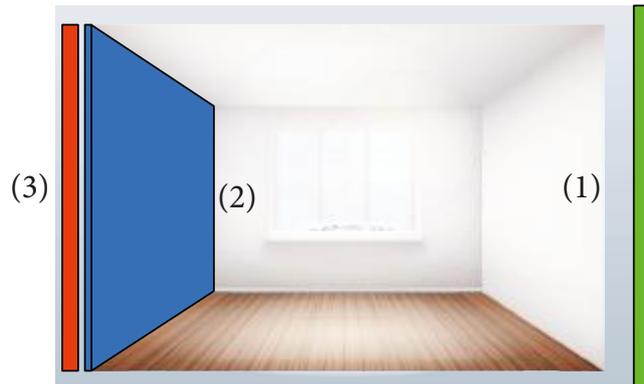
Ricordiamoci quanto visto nell'esercizio svolto nelle pagine precedenti, sul condizionamento di una stanza^{vii}. Anche se si trattava di condizionamento, quindi di raffreddamento, l'idea è la stessa: una parte dell'energia che utilizziamo per scaldare o raffreddare la stanza viene dissipata nell'ambiente, trasmessa all'atmosfera sotto forma di calore.

Infatti, la dispersione del calore dagli edifici è dovuta alla perdita di energia termica dalle pareti, in particolare, dal tetto e dai serramenti; questa energia viene dispersa nell'ambiente esterno. Si tratta pertanto di un esempio di trasmissione di calore:

- per *conduzione*, cioè per contatto diretto tra le due superfici della parete e tra la parete esterna e le molecole d'aria a contatto diretto;
- per *convezione* nella colonna d'aria atmosferica calda ascendente;
- per *irraggiamento*, soprattutto di notte quando la temperatura interna supera quella esterna e il calore viene irraggiato dalle finestre trasparenti.

La soluzione da adottare, almeno per i primi due casi, è l'**isolamento termico**, cioè il rivestimento dei muri con uno strato di materiale isolante, dotato di bassa conducibilità termica λ . È come se mettessimo un cappotto all'edificio, in modo da ridurre la dispersione di calore. La **figura E1.25** mostra che l'isolamento dei muri può essere realizzato all'esterno (1), nell'intercapedine (2) o all'interno (3).

Per il terzo caso ricordiamoci di usare gli scuri dei vetri di notte, se vogliamo tenere calda la casa.



E1.25 Schema di un intervento di coibentazione delle pareti per risparmio energetico.

LA STRUMENTAZIONE UTILE

Il termometro



E1.26 Un termometro a dilatazione.

Il **termometro** è uno strumento in grado di misurare la temperatura.

Possiamo definire i diversi tipi di termometro in funzione del **principio di funzionamento**.

- **Termometro a dilatazione:** questo strumento sfrutta la dilatazione termica di un liquido, storicamente mercurio o alcool, ma oggi giorno anche il gallio. Il materiale è rinchiuso in una colonnina di vetro sotto vuoto; si dilata all'aumentare della temperatura, salendo lungo la colonnina e fungendo da indice su una scala graduata disegnata sul corpo del termometro (**fig. E1.26**).
- **Termometro a resistenza o a termocoppia:** misurano la temperatura sfruttando le proprietà elettriche dei materiali (affronteremo l'argomento in dettaglio nel **modulo G**).
- **Termometro a radiazione:** questo dispositivo rileva la radiazione elettromagnetica proveniente per *irraggiamento* dal corpo di cui si vuol conoscere la temperatura. Confrontando questa radiazione con quella emessa da un corpo a temperatura controllata, è possibile conoscere la temperatura dell'oggetto in esame.

Oggi giorno esistono sia termometri analogici che digitali. I dispositivi analogici sono dotati di una scala graduata disegnata sul fianco di una colonnina di

vii A tal proposito si veda il **paragrafo E1.7**.

vetro in cui è contenuto un liquido. Per leggere la misura di temperatura, dobbiamo confrontare il livello della colonnina di liquido con la scala graduata. Per esempio, nella **figura E1.26** possiamo leggere una misura di $38\text{ }^\circ\text{C} \pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$, oppure $100\text{ }^\circ\text{F} \pm 0,5\text{ }^\circ\text{F}$.

I termometri digitali, invece, forniscono direttamente la misura di temperatura in formato numerico su uno schermo.

Sensibilità

Solitamente la sensibilità di un termometro è di un grado o mezzo grado (Celsius o Fahrenheit).

Per i termometri analogici è il valore della tacca più piccola sulla scala graduata, per quelli digitali è riportato nelle specifiche dello strumento.

Portata

Esistono termometri dotati di diverse scale, dipendenti anche dal loro impiego. Un termometro ambientale, ad esempio, può avere una portata di $60\text{ }^\circ\text{C}$.

Utilizzo

Di solito, per utilizzare un termometro dobbiamo fare in modo che l'elemento sensibile (ad esempio il bulbo) raggiunga la stessa temperatura del corpo da misurare. In questo modo la colonnina liquida potrà dilatarsi e raggiungere la corretta altezza nella colonnina di vetro. Per farlo basta toccare il corpo con la punta del termometro e attendere alcuni minuti, affinché si raggiunga l'equilibrio termico. L'unica eccezione è il termometro a radiazione, che va soltanto puntato sull'oggetto da misurare. Trattandosi di una lettura a distanza, il contatto fisico non è richiesto.

Avvertenze

Se disponiamo di un termometro a dilatazione, potremmo avere tra le mani un vecchio strumento a mercurio. Ricordiamoci che il mercurio è tossico, per cui non bisogna mai provare ad aprire lo strumento e occorre stare molto attenti a non romperlo, in quanto la colonnina di vetro è delicatissima.

LA MATEMATICA UTILE



La media pesata

Ripartiamo dalla formula per il calcolo della temperatura finale nel caso di diverse masse dello stesso materiale:

$$T_f = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2 + \dots + m_n \cdot T_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Dalla lettura della formula, notiamo che, pur eseguendo una specie di media delle temperature, vi compaiono anche le masse; in particolare, a numeratore ogni temperatura è moltiplicata per la relativa massa. A denominatore, invece, compare la massa totale della miscela, pari alla somma di tutte le n masse. Questa tipologia di calcolo della media è nota come **media ponderale o pesata**.

Proviamoci insieme

Quanto vale la temperatura finale?

Antonio, Barbara e Carlo hanno una bottiglia d'acqua da 1,5 kg ciascuno. Antonio beve dalla sua bottiglia fino a lasciarla con la massa $m_a = 1,1\text{ kg}$, mantenendo una temperatura pari a quella ambientale, $T_a = 20\text{ }^\circ\text{C}$. Barbara preferisce l'acqua fresca, quindi mette la sua bottiglia in frigo, portando il liquido al suo interno alla temperatura $T_b = 9,5\text{ }^\circ\text{C}$, per poi berne 500 g. Infine Carlo dimentica al sole la sua bottiglia, che si scalda fino a raggiungere la temperatura $T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ed evapora una quantità

pari a 100 g di acqua. Se i tre ragazzi mescolano insieme ciò che resta delle loro acque, quale sarà la temperatura T_f della massa m_f , ottenuta dal totale di m_a , m_b ed m_c ?

Cominciamo valutando le masse d'acqua rimaste a disposizione di ciascuno dei tre ragazzi. Si ricorda che il chilogrammo è l'unità fondamentale della massa.

- Antonio: $m_a = 1,1\text{ kg}$
- Barbara (la bottiglia di Barbara conteneva inizialmente 1,5 kg, ne beve 500 g = 0,5 kg): $m_b = 1,5 - 0,5 = 1\text{ kg}$
- Carlo (la bottiglia di Carlo conteneva inizialmente 1,5 kg, ma per evaporazione perde 100 g = 0,1 kg): $m_c = 1,5 - 0,1 = 1,4\text{ kg}$

Visto che sia le masse sia le temperature sono diverse tra loro, è necessario eseguire la media ponderale per il calcolo della temperatura finale T_f , come espresso dalla formula per il calcolo della temperatura finale nel caso di diverse masse dello stesso materiale. Così facendo otteniamo la seguente soluzione:

$$\begin{aligned} T_f &= \frac{m_a \cdot T_a + m_b \cdot T_b + m_c \cdot T_c}{m_a + m_b + m_c} \\ &= \frac{22 + 9,5 + 35}{3,5} = 19\text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Riassumendo...

Temperatura

È la misura dello stato di agitazione delle particelle (atomi e molecole) di cui è composta la materia.

Legge dell'equilibrio termico

Un sistema si definisce in **equilibrio termico** quando la temperatura è costante nel tempo ed è la stessa in ogni punto del sistema.

Una serie di corpi di massa diversa raggiunge la temperatura di equilibrio:

$$T_f = \frac{m_1 \cdot T_1 + m_2 \cdot T_2 + \dots + m_n \cdot T_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

Principio zero della Termodinamica

Se due corpi A e B sono in equilibrio termico con un corpo C, allora lo sono anche tra di loro.

Scale di misura della temperatura

- **Scala Celsius:** 0 °C temperatura di fusione del ghiaccio; 100 °C temperatura di ebollizione dell'acqua.
- **Scala Kelvin:** 0 K = -273,15 °C (zero assoluto). La dimensione dell'unità è la stessa della scala Celsius:

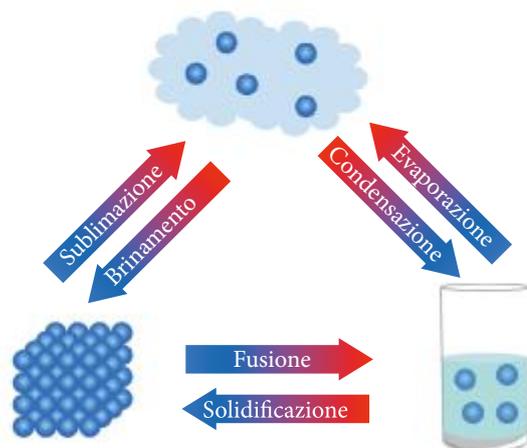
$$K = ^\circ C + 273,15$$

- **Scala Fahrenheit:** 0 °F temperatura di fusione di una soluzione composta in egual misura di acqua, ghiaccio e sale:

$$^\circ F = ^\circ C \cdot 1,8 + 32$$

Stati della materia

- **Solido:** sostanza che ha volume e forma propria.
- **Liquido:** sostanza che ha un volume proprio, ma non ha forma propria.
- **Aeriforme:** sostanza che non possiede né forma né volume proprio.
- **Plasma:** gas nel quale la maggior parte degli atomi o delle molecole è decomposta in ioni carichi positivamente ed elettroni liberi.



Calore

È una delle tante forme in cui si presenta l'*energia* ed ha come unità di misura il joule (J).

Combustione

È un insieme di reazioni chimiche di ossidazione fra una sostanza **combustibile** e l'ossigeno contenuto nell'aria, avente funzione di **comburente**.

Dilatazione termica lineare

Se un corpo viene scaldato, ogni lato di lunghezza l subisce una dilatazione Δl , direttamente proporzionale all'incremento di temperatura ΔT subito dal corpo;

$$\Delta l = \lambda \cdot l \cdot \Delta T$$

λ [$^{\circ}\text{C}^{-1}$] è il **coefficiente di dilatazione termica lineare**.

Legge di Fourier

Esprime la quantità Q di calore trasmessa da una parete di superficie S , spessore d e conducibilità termica λ nell'intervallo Δt , avente un gradiente uniforme di temperatura tra T_1 e T_2 :

$$Q = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \Delta t$$

Capacità termica C di un materiale

Rapporto fra il calore fornito o sottratto e la variazione di temperatura avvenuta:

$$C = \frac{\text{calore fornito}}{\text{variazione di temperatura}} = \frac{Q}{\Delta T}$$

Calore specifico c di un materiale

Rapporto fra il calore fornito (o sottratto) all'unità di massa della sostanza in esame e la variazione di temperatura avvenuta per riscaldamento (o raffreddamento):

$$c = \frac{\text{calore fornito}}{\text{massa} \cdot \text{variazione di temperatura}} = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Metodi di trasmissione del calore

- **Conduzione:** il calore si propaga per contatto tra corpi a temperatura diversa.
- **Convezione:** il calore si propaga per spostamento di materia dalle zone a temperatura maggiore a quelle a temperatura minore, e viceversa (tipica dei fluidi).
- **Irraggiamento:** il calore si propaga tramite onde elettromagnetiche, senza contatto diretto o spostamenti di materia.

Provaci tu...

1. Converti la temperatura $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ in gradi Fahrenheit, Rankine e in kelvin.
2. Un serbatoio di benzina contiene al suo interno 15 kg di combustibile alla temperatura ambiente di $22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ad essi vengono aggiunti altri 5 kg di benzina alla temperatura di $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calcola la temperatura della miscela totale.
3. Un blocchetto di rame di massa $m = 7\text{ g}$ ha una temperatura iniziale $T_i = 295\text{ K}$. Dopo aver fornito al blocchetto una quantità di calore $Q = 170\text{ J}$, si misura una temperatura finale $T_f = 358\text{ K}$. Valuta il calore specifico e la capacità termica del rame.
4. Le pareti di una stanza hanno una superficie $S = 45\text{ m}^2$ a contatto con l'ambiente esterno. Sapendo che i muri sono fatti di mattoni ($\lambda_{\text{mattoni}} = 0,81\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) e che il loro spessore vale $d = 25\text{ cm}$, calcola la potenza di un impianto di riscaldamento che mantenga una differenza di temperatura $\Delta T = 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ tra la stanza e l'esterno.
5. Una cisterna a uso alimentare è inizialmente vuota. Alla sera vengono versati nella cisterna 100 kg di latte appena munto, alla temperatura di $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ e 40 kg di latte rimasto invenduto durante il giorno, alla temperatura di $17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Calcola la temperatura del latte totale all'interno della cisterna in gradi Celsius e Fahrenheit.
6. Un fabbro vuole temprare l'acciaio di una spada che sta forgiando. Per farlo, la immerge in un barile contenente 50 kg di acqua alla temperatura iniziale $T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sapendo che la spada incandescente rilascia in acqua una quantità di calore pari a $Q = 106\text{ J}$ e che il calore specifico dell'acqua vale $c = 4186\text{ J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$, calcola la temperatura finale T_f raggiunta dall'acqua nel barile, quando il sistema ha raggiunto l'equilibrio termico.
7. Il mattino, a colazione, il ragionier Fantozzi beve di corsa il caffè preparato da sua moglie, la signora Pina. Il caffè è bollente e Fantozzi si ustiona la lingua; scappando urla: "3000 gradi Fahrenheit!". Converti questa temperatura nelle scale Kelvin e Celsius.
8. Un filo di rame ($\lambda = 17 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$) lungo 35 m è attraversato da una corrente elettrica che ne aumenta la temperatura di $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Quanto vale l'aumento della sua lunghezza dovuto alla dilatazione termica?
9. Un telescopio astronomico ha uno specchio di diametro $d = 4\text{ m}$. Per massimizzare la visibilità del cielo, il telescopio è posizionato in cima a un colle, dove la forte escursione termica porta la temperatura dello specchio da $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ di notte a $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ di giorno. Considerando che il coefficiente di dilatazione termica dello specchio vale $\lambda_{\text{specchio}} = 3,5 \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, valuta la dilatazione termica subita dal suo diametro esterno.
10. All'interno di un contenitore di polistirene ($\lambda = 0,035\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) sono depositati alcuni cubetti di ghiaccio alla temperatura $T_1 = -1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Le pareti del contenitore sono spesse $d = 2\text{ cm}$, mentre la sua superficie totale è $S = 1,5\text{ m}^2$. Per fondere tutto il ghiaccio è necessario un apporto energetico sotto forma di calore, pari a $Q = 60\text{ kJ}$. Calcola il tempo necessario affinché tutto il ghiaccio si sciolga, considerando che la temperatura esterna è pari a $T_2 = 26\text{ }^{\circ}\text{C}$.
11. L'amianto (noto anche come asbesto) è un materiale che possiede una bassissima conducibilità termica ($\lambda = 0,116\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$), ma a causa della sua tossicità, non è più impiegato come isolante termico. Si consideri, tuttavia, un boiler rivestito da uno strato di amianto con una superficie $S = 0,5\text{ m}^2$ e con uno spessore $d = 10\text{ mm}$. Considerando una temperatura interna al boiler $T_i = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ed esterna $T_e = 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, calcola il calore disperso nell'arco di una giornata (24 h).
12. Una finestra in vetro spessa $d = 5\text{ mm}$ ha un valore di conducibilità termica $\lambda = 0,85\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$. L'area del vetro è $A = 0,5\text{ m}^2$, la temperatura della superficie interna è $T_i = 293\text{ K}$, mentre quella esterna è $T_e = 275\text{ K}$. Calcola il calore in kJ che fuoriesce dalla finestra in un'ora.

Verifica di Unità

Gli esercizi sono disponibili anche nella versione digitale come test interattivi e autocorrettivi

SCelta Multipla



- Individuare quale unità di misura non è un'unità della temperatura termodinamica.
 - °C
 - K
 - °R
 - J
- Nella formula $\Delta l = \lambda \cdot l \cdot \Delta T$, la grandezza indicata con la lettera dell'alfabeto greco lambda è definita come:
 - coefficiente di dilatazione termica
 - coefficiente di conducibilità termica
 - fattore di conducibilità termica
 - fattore di dilatazione termica
- Individuare il valore che esprime correttamente la conversione di 100 °F in gradi Celsius.
 - 373,15 °C
 - 37,77 °C
 - 212 °C
 - 132 °C
 - 37,77 K
- Indicare la formula che esprime correttamente il calore specifico.
 - $c = C/m$
 - $c = C \cdot m$
 - $c = C/\Delta t$
 - $c = C \cdot \Delta T$
- La capacità termica C di un materiale è definita come il rapporto fra il calore fornito e la variazione di:
 - massa
 - tempo
 - temperatura
 - lunghezza del corpo
- Indicare la formula corretta per esprimere la dilatazione termica.
 - $\Delta l = \lambda \cdot \frac{d}{S} \cdot Q$
 - $\Delta Q = \Delta U + \Delta L$
 - $\Delta l = \lambda \cdot l \cdot \Delta T$
 - $Q = \lambda \cdot S \cdot \frac{T_1 - T_2}{d} \cdot \Delta t$
- Si consideri il caso in cui più corpi a diversa temperatura sono posti a contatto tra loro. Secondo la definizione di equilibrio termico, essi iniziano a scambiarsi calore, così da raggiungere tutti quanti, dopo un certo periodo di tempo:
 - la medesima temperatura finale
 - la stessa massa
 - la stessa pressione
 - la stessa temperatura di fusione
- Indicare quale, fra le seguenti temperature nella scala Kelvin, esprime la temperatura di fusione dell'alluminio, sapendo che essa vale $T = 660$ °C.
 - 386,85 K
 - 1220 K
 - 348,89 K
 - 933,15 K
- La propagazione del calore tramite spostamento di materia dalle zone a temperatura maggiore a quelle a temperatura minore, e viceversa, è detta:
 - conduzione
 - convezione
 - irraggiamento
- Indicare l'unità di misura che esprime la conducibilità termica.
 - 1/°F
 - W/(m · K)
 - °C⁻¹
 - J/K

VERO O FALSO



11. Il calore è una forma di energia.
 Vero Falso
12. La variazione di temperatura può determinare cambi di stato fisico e/o innescare una combustione.
 Vero Falso
13. Il cambiamento di stato della pallina di naftalina che disperde antitarne nell'ambiente è un tipico fenomeno di fusione.
 Vero Falso
14. Il coefficiente di dilatazione termica lineare λ si misura in $^{\circ}\text{C}^{-1}$.
 Vero Falso
15. Lo zero assoluto è definito come 0 K ed è equivalente alla temperatura di $-273,15^{\circ}\text{C}$.
 Vero Falso
16. La temperatura termodinamica si può misurare in joule [J].
 Vero Falso
17. Alla temperatura di 140°F corrispondono 600°R .
 Vero Falso
18. Il calore specifico, indicato con la lettera c , si misura in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.
 Vero Falso
19. La temperatura termodinamica è una forma di energia.
 Vero Falso
20. Il cambiamento di stato del ghiaccio che diventa acqua è detto "brinamento".
 Vero Falso
21. La legge di Fourier calcola il calore passante attraverso un corpo per il fenomeno di conduzione termica.
 Vero Falso

COMPLETAMENTO



22. La scala Kelvin definisce il proprio zero in corrispondenza dello zero _____, cioè il limite inferiore delle temperature raggiungibili, equivalente a _____ $^{\circ}\text{C}$. Per comodità di utilizzo è stata mantenuta la stessa dimensione dell'unità della scala Celsius.
23. La combustione è un insieme di reazioni chimiche di ossidazione fra una sostanza _____; fondamentalmente formata da _____ e idrogeno, e _____ contenuto nell'aria, avente funzione di comburente.
24. I metodi di trasmissione del _____ sono tre: conduzione, _____ e irraggiamento.
25. Nella conduzione termica, le particelle a più alta _____ urtano con quelle con minore _____, passando nell'urto una parte della loro _____. Urto dopo urto, il _____ si propaga in tutto il corpo.
26. La temperatura è la misura dello stato di _____ delle particelle (atomi e _____) di cui è composta la materia. Considerando la dipendenza dal moto delle particelle di cui è composta la _____, si parla di temperatura _____.
27. La capacità termica C [J/K] di un materiale è il rapporto fra il _____ fornito e la _____ di temperatura avvenuta per il riscaldamento.
28. Se si rapporta la capacità termica di un corpo alla sua _____, si ottiene il calore _____ indicato con c [J/(kg · K)].
29. Nella scala Fahrenheit lo zero è definito come la temperatura di fusione di una soluzione composta per metà di _____, e per l'altra metà di sale. A 96°F , invece, corrisponde la temperatura media del _____. Questa scala viene impiegata negli USA.
30. L'irraggiamento è un modo di _____ del calore in cui la trasmissione avviene tramite onde _____, senza contatto diretto e senza _____ di materia.