Formulario di Fisica

Mattia Cozzi

Indice

1 Vettori

Scalari e vettori Una grandezza può:

- essere espressa completamente tramite un valore numerico, come la massa: è uno *scalare*;
- richiedere l'esplicitazione anche di una direzione e di un verso, come la velocità o la forza: è un *vettore*.

Gli scalari sono indicati con lettere, i vettori con lettere sormontate da una freccia, come $\vec{a}$.

Il modulo del vettore $\vec{a}$ viene indicato con $|a|$ o più semplicemente con a.

Versore Un versore è un vettore di modulo 1. Vengono indicati con i simboli $\hat{\imath}$, $\hat{\jmath}$, $\hat{k}$, $\hat{n}$, ecc.

I versori possono essere usati per rappresentare la direzione e il verso di un vettore, indicando poi con uno scalare il modulo.

Ad esempio, $\vec{a} = 5\hat{\imath}$ indica un vettore $\vec{a}$ con la stessa direzione e verso del versore $\hat{\imath}$ e di modulo 5.

Solitamente i versori $\hat{\imath}$, $\hat{\jmath}$ e $\hat{k}$ sono usati per indicare gli assi cartesiani, mentre con $\hat{n}$ si indica un versore normale (perpendicolare) ad un piano.

Funzioni goniometriche (seno, coseno, tangente) In un triangolo rettangolo, possiamo distinguere i due cateti in *cateto opposto all'angolo* θ e *cateto adiacente a* θ, in base alla posizione che occupano rispetto all'angolo θ.

Definiamo le seguenti funzioni goniometriche:

$$\cos\theta = \frac{c_{adj}}{i} \qquad \sin\theta = \frac{c_{opp}}{i} \qquad \tan\theta = \frac{c_{opp}}{c_{adj}}$$

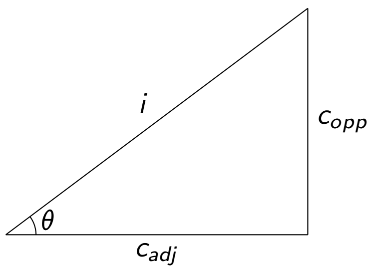


Figura 1: Notiamo che, essendo l'ipotenusa sempre maggiore di ognuno dei due cateti, seno e coseno di un angolo sono valori con modulo minore di 1.

Quando si eseguono calcoli con le funzioni goniometriche, assicurarsi che gli angoli siano espressi con l'unità di misura desiderata. La calcolatrice scientifica dovrà riportare esplicitamente D per i gradi (*degrees*) o R per i radianti (possiamo ignorare la dicitura G).

Scomposizione di un vettore e forma cartesiana Una volta stabilito un sistema di riferimento, possiamo determinare l'angolo che un vettore $\vec{a}$ forma con l'asse x (la cui direzione è data dal versore $\hat{\imath}$).

Chiamiamo tale angolo θ e calcoliamo le componenti cartesiane del vettore (ovvero le sue proiezioni sugli assi cartesiani) utilizzando le formule precedenti:

$$a_x = a\cos\theta \qquad\qquad a_y = a\sin\theta$$

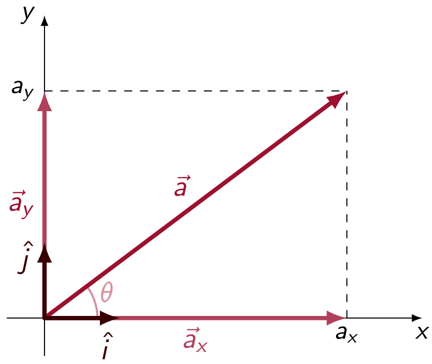


Figura 2: La scomposizione di un vettore nelle sue componenti lungo gli assi cartesiani (determinati dai versori $\hat{\imath}$ e $\hat{\jmath}$).

Possiamo ora esprimere il vettore $\vec{a}$ mediante le sue componenti sugli assi (forma cartesiana del vettore).

$$\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath}$$

Modulo e direzione di un vettore, note le componenti Dato un vettore $\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath}$ possiamo risalire al suo modulo con il teorema di Pitagora:

$$a = \sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2}$$

1.1 Operazioni coi vettori

Somma tra vettori, metodo grafico Regola del parallelogramma, mostrata in Figura 3.

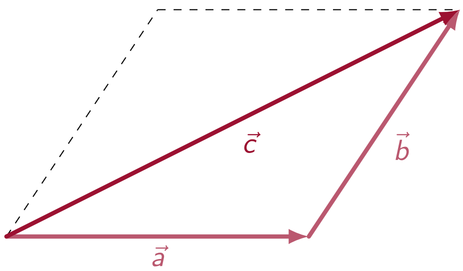


Figura 3: Regola del parallelogramma: $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$.

Somma tra vettori, metodo algebrico Dati due vettori in forma cartesiana $\vec{a} = a_x\hat{\imath} + a_y\hat{\jmath}$ e $\vec{b} = b_x\hat{\imath} + b_y\hat{\jmath}$ il vettore somma sarà:

$$\vec{a} + \vec{b} = (a_x + b_x)\hat{\imath} + (a_y + b_y)\hat{\jmath}$$

È sufficiente sommare le componenti sui rispettivi assi.

Differenza tra vettori Graficamente, basta invertire il verso del vettore da sottrarre e procedere come per la somma. Il metodo del parallelogramma viene applicato come in Figura 4.

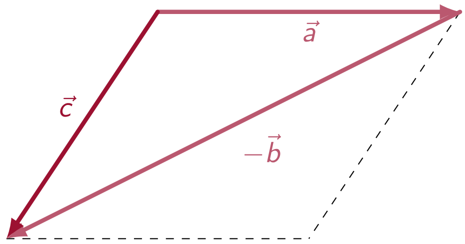


Figura 4: Regola del parallelogramma applicata alla sottrazione: $\vec{a}+(-\vec{b})=\vec{c}$.

Algebricamente:

$$\vec{a}-\vec{b}=(a_x-b_x)\hat{\imath}+(a_y-b_y)\hat{\jmath}$$

Attenzione! La moltiplicazione è un'operazione che ha senso solo su numeri (scalari). Quando abbiamo a che fare con dei vettori, parliamo di "prodotto tra vettori".

Esistono tre tipi di prodotto che utilizzano i vettori. In nessun caso dobbiamo leggere i simboli $\cdot$ e $\times$ come dei "per".

Prodotto di uno scalare per un vettore Il prodotto di uno scalare per un vettore è un vettore che ha:

- la stessa direzione del vettore;
- stesso verso del vettore se lo scalare è positivo, verso opposto se lo scalare è negativo;
- modulo uguale al prodotto dello scalare per il modulo del vettore.

Intuitivamente, se eseguo il prodotto tra lo scalare 3 e il vettore $\vec{a}$, otterrò un vettore orientato come $\vec{a}$ ma tre volte più lungo.

Figura 5: Prodotto del vettore $\vec{a}$ per lo scalare 3.

Algebricamente:

$$k\vec{a}=(ka_x)\hat{\imath}+(ka_y)\hat{\jmath}$$

Solitamente il prodotto di uno scalare per un vettore non viene indicato con alcun simbolo.

Prodotto scalare Il prodotto scalare (simbolo $\cdot$) si esegue tra due vettori e dà come risultato uno scalare.

Si moltiplica il modulo del primo vettore per la componente del secondo lungo il primo (o viceversa: il prodotto scalare è commutativo), come mostrato in Figura 6.

Se indichiamo con θ l'angolo tra i due vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$, allora:

$$\vec{a}\cdot\vec{b}=ab\cos\theta$$

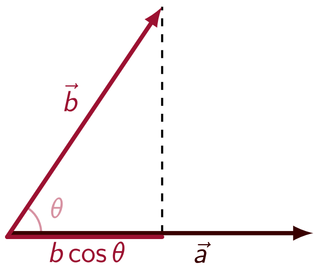


Figura 6: Rappresentazione della componente di $\vec{b}$ su $\vec{a}$.

Prodotto vettoriale Il prodotto vettoriale (simbolo $\times$) si esegue tra due vettori e dà come risultato un vettore.

Il modulo del vettore $\vec{a} \times \vec{b}$ è dato dall'area del parallelogramma costruito coi vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$.

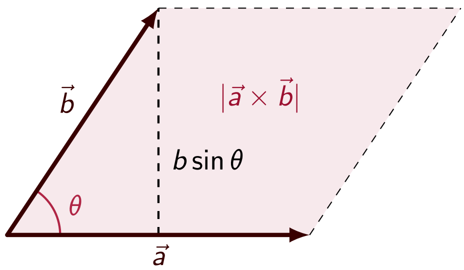


Figura 7: Il modulo del prodotto vettoriale come area del parallelogramma.

Se indichiamo con θ l'angolo tra i due vettori $\vec{a}$ e $\vec{b}$, allora:

$$|\vec{a} \times \vec{b}| = ab\sin\theta$$

Poiché il risultato dell'operazione è un vettore, dobbiamo ancora indicarne direzione e verso:

- la direzione del prodotto vettoriale di $\vec{a}$ e $\vec{b}$ è perpendicolare al piano da essi formato;
- il verso è dato dalla *regola della mano destra*, ovvero ponendo il pollice della mano destra nel verso del vettore $\vec{a}$ e le altre dita nel verso di $\vec{b}$, il vettore $\vec{a} \times \vec{b}$ sarà uscente dal palmo della mano, come indicato dalla Figura 8.

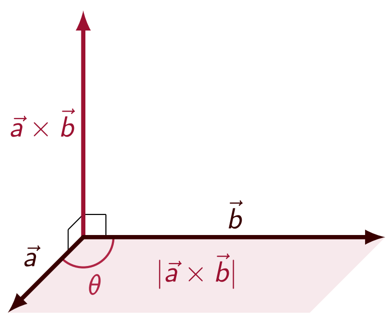


Figura 8: Rappresentazione tridimensionale del vettore ottenuto con il prodotto vettoriale.

2 Misura

2.1 Unità di misura e costanti

Unità di misura del Sistema Internazionale (SI) Tutto ciò che in Fisica viene misurato, viene misurato utilizzando le sette unità di misura riportate in Tabella 1 oppure unità di misura da esse derivate.

Quantità misurata	Nome	Simbolo
lunghezza	metro	m
massa	chilogrammo	kg
tempo, durata	secondo	s
corrente elettrica	ampere	A
temperatura assoluta	kelvin	K
quantità di sostanza	mole	mol
intensità luminosa	candela	cd

Tabella 1: Le sette unità di misura del SI.

Unità derivate È importante conoscere, oltre alle unità di misura derivate riportate in Tabella 2, anche la loro definizione in termini di grandezze del SI. Questo permette di eseguire correttamente i calcoli in Fisica.

Quantità misurata	Nome	Simbolo	Definizione
area		m^2	m^2
volume		m^3	m^3
velocità		m/s	m/s
accelerazione		m/s^2	m/s^2
frequenza	hertz	Hz	$1/s$, s^{-1}
angolo	radiante	rad	
forza	Newton	N	$kg \cdot m/s^2$
pressione	Pascal	Pa	N/m^2
energia, lavoro, calore	Joule	J	$N \cdot m$
potenza	Watt	W	J/s
carica elettrica	Coulomb	C	$A \cdot s$
potenziale elettrico	Volt	V	J/C, W/A
capacità	Farad	F	C/V
resistenza	Ohm	Ω	V/A
campo magnetico	Tesla	T	$N/A \cdot m$
flusso magnetico	Weber	Wb	$T \cdot m^2$

Tabella 2: Alcune tra le più importanti unità di misura derivate.

Multipli e sottomultipli della unità di misura Il SI prevede l'utilizzo di opportuni multipli e sottomultipli delle unità di misura (riportati in Tabella 3), poiché in molti casi le unità di misura si dimostrano troppo grandi o troppo piccole per una determinata misura.

Prefisso	Simbolo	Fattore di conversione
nano-	n-	$^1/_{1\,000\,000\,000} = 10^{-9}$
micro-	μ-	$^1/_{1\,000\,000} = 10^{-6}$
milli-	m-	$^1/_{1\,000} = 10^{-3}$
centi-	c-	$^1/_{100} = 10^{-2}$
deci-	d-	$^1/_{10} = 10^{-1}$
deca-	da-	10^1
etto-	h-	10^2
kilo-	k-	10^3

Tabella 3: Multipli e sottomultipli più usati.

Costanti fisiche fondamentali In Tabella 4 sono riportati nomi, simboli e valori di alcune costanti.

Nome	Simbolo e valore
velocità della luce nel vuoto	$c = 299\,792\,458\ ^m/_s \simeq 3,0 \times 10^8\ ^m/_s$
costante dielettrica del vuoto	$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}\ ^{C^2}/_{N \cdot m^2}$
costante di Coulomb	$k_0 = 8,99 \times 10^9\ ^{N \cdot m^2}/_{C^2}$
permeabilità magnetica del vuoto	$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ ^N/_{A^2}$
costante di gravitazione universale	$G = 6,672 \times 10^{-11}\ ^{N \cdot m^2}/_{kg^2}$
carica elementare	$e = 1,602 \times 10^{-19}\ C$
numero di Avogadro	$N_A = 6,022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$
costante di Boltzmann	$k_B = 1,38 \times 10^{-23}\ ^J/_K$
costante dei gas	$R = 8,314\ ^J/_{mol \cdot K}$

Tabella 4: Simboli e valori delle più importanti costanti fisiche.

Gradi e radianti Il procedimento generale per convertire tra gradi e radianti è la proporzione:

$$\frac{\theta_{rad}}{\theta_{gradi}} = \frac{2\pi}{360}$$

Riportiamo inoltre in Tabella 5 alcune conversioni veloci.

$\boldsymbol{\theta_{gradi}}$	0	30	45	60	90	180	270	360
$\boldsymbol{\theta_{rad}}$	0	$^\pi/_6$	$^\pi/_4$	$^\pi/_3$	$^\pi/_2$	π	$^{3\pi}/_2$	2π

Tabella 5: È possibile ottenere velocemente anche i multipli degli angoli indicati. Ad esempio: $120° = 2 \cdot 60° \to 2 \cdot \frac{\pi}{3} = \frac{2\pi}{3}$.

2.2 Cifre significative ed errori nella misura

Riconoscere le cifre significative (CS) Le CS di una misura sono tutti i numeri che vi compaiono *tranne gli zeri iniziali*. Gli zeri finali sono significativi.

- $12,00$ ha quattro CS;
- $12,0$ ha tre CS;
- $0,012$ ha due CS.

Cifre significative e cifre decimali Attenzione a non confondere le CS con le cifre decimali. Le CS comprendono anche la parte intera del numero (tranne gli zeri iniziali), le cifre decimali sono semplicemente quelle dopo la virgola.

Regole per i calcoli sulle CS A seconda che si stiano eseguendo somme/sottrazioni oppure prodotti/quozienti si stabilisce il numero di CS del risultato in base alle seguenti regole:

- prodotti di numeri interi o frazioni per una misura: il risultato ha tante CS quante la misura di partenza;
- somme e sottrazioni tra misure: nel risultato sono significative tutte le cifre ottenute sommando o sottraendo CS;
- prodotti tra misure: nel risultato si hanno tante CS quante se ne hanno nella misura che possiede meno CS.

  Regola da applicare *con giudizio*. Ad esempio:

  $$9,8 \cdot 1,03 = 10,1$$

  perché in questo caso $9,8$ ha sì due CS, ma è un numero molto prossimo ad averne tre, per cui il prodotto potrebbe essere anche efficacemente espresso con tre CS.

Arrotondamento Quando si esegue un calcolo con il corretto numero di CS, dobbiamo arrotondare il risultato. Se la cifra successiva all'ultima cifra che dobbiamo scrivere è:

- $0, 1, 2, 3, 4$ si arrotonda per *difetto*;
- $5, 6, 7, 8, 9$ si arrotonda per *eccesso*.

Ad esempio:

- $3,257$ con *una* CS diventa 3;
- $3,257$ con *due* CS diventa $3,3$;
- $3,257$ con *tre* CS diventa $3,26$.

3 Meccanica

3.1 Definizioni fondamentali

Densità di un corpo

$$d = \frac{m}{V} \qquad \left[\frac{kg}{m^3}\right]$$

m = massa del corpo $[kg]$ $\qquad$ V = volume del corpo $[m^3]$

Variazione Δ Data una grandezza g, il simbolo $\Delta g = g_1 - g_0$ indica la variazione di g quando essa varia da g_0 a g_1.

Velocità media

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \qquad \left[\frac{m}{s}\right]$$

Δs = spostamento $[m]$ $\qquad$ Δt = durata dello spostamento $[s]$

Conversione tra m/s e km/h Possiamo convertire tra le due unità di misura moltiplicando o dividendo per uno stesso valore.

$$\frac{km}{h} \xrightarrow{:3{,}6} \frac{m}{s} \qquad\qquad \frac{m}{s} \xrightarrow{\cdot 3{,}6} \frac{km}{h}$$

Accelerazione media

$$\overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad \left[\frac{m}{s^2}\right]$$

Δv = variazione di velocità $[m/s]$ $\qquad$ Δt = durata della variazione $[s]$

3.2 Cinematica

3.2.1 Moto rettilineo uniforme

Legge oraria

$$s(t) = vt + s_0$$

v = velocità del moto $[m/s]$ $\qquad$ s_0 = posizione iniziale nel SDR $[m]$

3.2.2 Moto uniformemente accelerato

Legge oraria

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + s_0$$

a = accelerazione del moto $[m/s^2]$ $\qquad$ s_0 = posizione iniziale nel SDR $[m]$

v_0 = velocità iniziale del moto $[m/s]$

3.3 Dinamica

Primo principio della dinamica (principio d'inerzia) Un punto materiale mantiene la propria velocità costante se e solo se è soggetto ad una forza totale nulla.

$$\sum \vec{F} = 0 \iff \vec{a} = 0$$

$\sum$ è il simbolo di *sommatoria* e che ci permette di esprimere la somma di un certo numero di addendi. Nella formula precedente, leggeremo: "somma (vettoriale) di tutte le forze".

Sistema di riferimento inerziale Sistema di riferimento (SDR) in cui vale il primo principio della dinamica.

Principio di relatività galileiana Le leggi della meccanica sono le stesse in tutti i SDR inerziali.

Secondo principio della dinamica (legge fondamentale della dinamica) Un corpo subisce un'accelerazione direttamente proporzionale alla forza che viene esercitata su di esso.

$$\vec{F} = m\vec{a} \qquad [N] = [kg \cdot {}^{m}/{}_{s^2}]$$

$\vec{F}$ = forza sul corpo $[N]$

$\vec{a}$ = accelerazione $[{}^{m}/{}_{s^2}]$

m = massa inerziale del corpo $[kg]$

Terzo principio della dinamica (principio di azione e reazione) Se un corpo A agisce con una forza su un corpo B, anche il corpo B esercita una forza sul corpo A: le due forze hanno lo stesso modulo, la stessa direzione e versi opposti.

$$\vec{F}_{A \to B} = -\vec{F}_{B \to A}$$

Condizione di equilibrio per corpi puntiformi

$$\sum \vec{F} = 0$$

Forza peso Forza di attrazione che un corpo di massa m subisce per effetto del pianeta su cui si trova, sempre rivolta verso il centro del pianeta.

$$\vec{P} = m\vec{g}$$

$\vec{g}$ = intensità del campo gravitazionale o accelerazione di gravità (sulla Terra, $g = 9,81\ {}^{m}/{}_{s^2}$)

Attrito statico La forza di attrito ha sempre verso tale da opporsi al moto che il corpo avrebbe se non ci fosse attrito.

La sua intensità massima vale:

$$F_{A\,max} = \mu_s F_{\perp}$$

μ_s = coefficiente di attrito statico (numero puro) $F_\perp$ = forza premente sulla superficie $[N]$

Forza di richiamo di una molla (legge di Hooke) Il segno negativo indica che la forza elastica è una forza di richiamo, sempre opposta allo spostamento della molla rispetto alla posizione di equilibrio.

$$\vec{F} = -k\Delta\vec{x}$$

k = costante elastica della molla $[N/m]$ $\Delta\vec{x}$ = spostamento da posizione di equilibrio $[m]$

3.4 Lavoro ed energia meccanica

Lavoro Variazione di energia di un corpo, ottenuta esercitando su di esso una forza.

È il prodotto scalare tra la forza esercitata e lo spostamento del corpo.

$$L = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs\cos\theta \qquad [J] = [N \cdot m]$$

θ = angolo tra i vettori $\vec{F}$ e $\vec{s}$ $[rad]$

In particolare:

- se $0 \leq \theta < \pi/2$ il lavoro è positivo e viene detto *lavoro motore*;
- se $\pi/2 < \theta \leq \pi$ il lavoro è negativo e viene detto *lavoro resistente*;
- se $\theta = \pi/2$ il lavoro è nullo.

Potenza media Indica quanto lavoro viene fatto nell'unità di tempo.

$$\overline{P} = \frac{L}{\Delta t} \qquad [W] = [J/s]$$

Energia cinetica di traslazione È quella forma di energia che un corpo possiede in virtù della sua velocità.

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \qquad [J]$$

m = massa del corpo $[kg]$ v = velocità del corpo $[m/s]$

Energia potenziale gravitazionale È l'energia che un corpo possiede in virtù della sua posizione in un campo gravitazionale.

Ricordando che il punto ad energia potenziale nulla (cioè rispetto al quale calcolare h) può essere scelto in modo arbitrario:

$$U_g = mgh \qquad [J]$$

Conservazione dell'energia meccanica totale In un sistema isolato si conserva l'energia meccanica.

$$U_0 + K_0 = U_1 + K_1$$

3.5 Quantità di moto e momento angolare

Quantità di moto

$$\vec{p} = m\vec{v} \qquad [kg \cdot {}^{m}/_{s}]$$

Urti su una retta La quantità di moto totale iniziale è uguale alla quantità di moto totale finale.

$$m_1 v_0 + m_2 w_0 = m_1 v_1 + m_2 w_1$$

m_1, m_2 = masse dei due corpi v, w = velocità dei due corpi

Urti elastici Urti in cui si conservano sia la quantità di moto totale sia l'energia cinetica.

Urti anelastici Urti in cui si conserva solo la quantità di moto totale, ma non l'energia cinetica (che viene dissipata).

Urti completamente anelastici Urti in cui i due corpi rimangono uniti l'uno all'altro e si muovono dopo l'urto alla stessa velocità.

$$v_{finale} = \frac{m_1 v_0 + m_2 w_0}{m_1 + m_2}$$

Momento di una forza (momento torcente)

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F} \qquad [N \cdot m]$$

$\vec{r}$ = vettore da un punto al punto di applicazione della forza

Condizioni di equilibrio per corpi rigidi

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \text{e} \quad \sum \vec{M} = 0$$

3.6 Gravitazione

Prima legge di Keplero I pianeti descrivono orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei due fuochi.

Seconda legge di Keplero Il raggio vettore che va dal Sole ad un pianeta spazza aree uguali in tempi uguali.

Terza legge di Keplero Il rapporto tra il cubo del semiasse maggiore dell'orbita e il quadrato del periodo di rivoluzione è lo stesso per tutti i pianeti del Sistema Solare.

Legge di gravitazione universale La forza è sempre attrattiva e agisce lungo la congiungente tra i due centri di massa.

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

G = costante di gravitazione universale = $6,672 \times 10^{-11}\ {}^{Nm^2}/_{kg^2}$

Energia potenziale gravitazionale di un sistema di due masse

$$U(r) = -G\frac{m_1 m_2}{r} \qquad [J]$$

3.7 Meccanica dei fluidi

Pressione Se una forza $\vec{F}$ agisce su una superficie S, essa esercita una pressione:

$$p = \frac{F}{S} \qquad [Pa] = [{}^{N}/_{m^2}]$$

Pressione atmosferica

$$1\,atm = 1,01 \times 10^5\ Pa$$

Principio di Pascal Una variazione di pressione applicata ad un liquido chiuso in un contenitore viene trasmessa integralmente in ogni punto del liquido e alle pareti del contenitore.

Legge di Stevino

$$p = dgh + p_{atm}$$

d = densità del liquido $\qquad$ h = profondità

Principio di Archimede Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del volume di fluido spostato dal corpo. Tale spinta vale:

$$S = g \cdot d_{fluido} \cdot V_{corpo} \qquad [N]$$

Se la spinta è maggiore del peso del corpo, il corpo galleggia nel fluido. Se la spinta è minore del peso del corpo, il corpo affonda.

4 Termologia e termodinamica

4.1 Temperatura e dilazione termica

Celsius e kelvin Detta T_K la temperatura assoluta (in kelvin) e $T_{^\circ C}$ la temperatura in gradi centigradi:

$$T_K = T_{^\circ C} + 273,15$$

$$T_{^\circ C} = T_K - 273,15$$

$$\Delta T_K = \Delta T_{^\circ C}$$

Dilatazione lineare dei solidi

$$\Delta \ell = \ell_0 \lambda \Delta T$$

λ = coefficiente di dilatazione lineare [$^\circ C^{-1}$ o K^{-1}]

Dilatazione volumica dei solidi e dei liquidi

$$\Delta V = V_0 \alpha \Delta T$$

α = coefficiente di dilatazione volumica (per i solidi, $\alpha = 3\lambda$) [$^\circ C^{-1}$ o K^{-1}]

4.2 Gas perfetti

Massa e moli Detti M la massa molare di una sostanza, n il numero di moli di quella sostanza e $m_{[g]}$ la massa della sostanza espressa in grammi, vale:

$$m_{[g]} = nM$$

Detto altrimenti, una mole di sostanza ha una massa numericamente uguale alla massa molare di quella sostanza, ma espressa in grammi.

Moli e numero di particelle Detto n il numero di moli, N il numero di particelle e N_A il numero di Avogadro, vale:

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N_A = numero di Avogadro = $6,022 \times 10^{23}\ mol^{-1}$

Trasformazioni dei gas Distinguiamo le trasformazioni che un gas può subire in base alla variabile di stato (pressione, volume, temperatura) che rimane costante, come riportato in Tabella 6.

Formula dei gas perfetti Ricordando che è possibile utilizzare una qualunque unità di misura adatta per pressione e volume, mentre la temperatura *deve* essere espressa in kelvin, vale:

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p_1 V_1}{T_1}$$

Nome	Quantità costante	Legge sperimentale	Formula	Legge
isoterma	temperatura	legge di Boyle	$pV =$ costante	$p_0V_0 = p_1V_1$
isòbara	pressione	I legge di Gay-Lussac	$V/T =$ costante	$V_0/T_0 = V_1/T_1$
isocòra	volume	II legge di Gay-Lussac	$p/T =$ costante	$p_0/T_0 = p_1/T_1$

Tabella 6: Tre trasformazioni dei gas.

Equazione di stato dei gas perfetti

$$pV = nRT$$

p = pressione $[Pa]$

V = volume $[m^3]$

n = numero di moli $[mol]$

T = temperatura assoluta $[K]$

R = costante dei gas = $8,314\ J/mol \cdot K$

4.3 Calore

Joule e calorie

$$1\,cal = 4,186\,J$$

$$1\,Cal = 1\,kcal = 4186\,J$$

Legge fondamentale della calorimetria

$$Q = cm\Delta T$$

Q = calore scambiato $[J]$

c = calore specifico $[J/kg \cdot K]$

m = massa del corpo $[kg]$

ΔT = variazione di temperatura $[K]$

Calore specifico dell'acqua

$$c_{H_2O} = 4,186 \times 10^3\,\frac{J}{kg \cdot K}$$

Calore specifico Indica quanti *joule* di calore è necessario fornire (o sottrarre) per cambiare di $1\,K$ la temperatura di $1\,kg$ di sostanza. Un valore elevato indica un buon isolante termico (cioè un cattivo conduttore), un valore basso indica invece un buon conduttore di calore (cioè un cattivo isolante). I valori per alcuni materiali sono riportati in Tabella 7.

Materiale	Calore specifico $[J/kg \cdot K]$	Materiale	Calore specifico $[J/kg \cdot K]$
acqua	$4,186 \times 10^3$	olio minerale	$1,884 \times 10^3$
ghiaccio	$2,090 \times 10^3$	alluminio	$8,79 \times 10^2$
vapore acqueo	$1,940 \times 10^3$	vetro	$7,95 \times 10^2$
legno	$2,512 \times 10^3$	piombo	$1,29 \times 10^2$

Tabella 7: Il valore del calore specifico per alcuni materiali.

Propagazione del calore Il calore può propagarsi per *conduzione*, *convezione* o *irraggiamento*, a seconda del mezzo e dello spostamento o meno di materia. La Tabella 8 riporta le caratteristiche di ciascun meccanismo.

Meccanismo	Mezzi	Trasferimento
conduzione	solidi	solo energia
convezione	fluidi	energia e materia
irraggiamento	vuoto e corpi trasparenti	solo energia

Tabella 8: I meccanismi di propagazione del calore.

Passaggi di stato Nelle formule seguenti usiamo il segno $+$ se viene fornito calore (fusione e vaporizzazione) e il segno $-$ se viene sottratto calore (solidificazione e condensazione).

Per la fusione e la solidificazione vale:

$$Q = \pm L_f m$$

L_f = calore latente di fusione [J/kg]

Per la vaporizzazione e la condensazione:

$$Q = \pm L_v m$$

L_v = calore latente di vaporizzazione [J/kg]

I valori del calore latente di alcune sostanze sono riportati in Tabella 9.

Sostanza	Punto di fusione [K]	Calore di fusione [J/kg]	Punto di ebollizione [K]	Calore di vaporizz. [J/kg]
idrogeno	$14,0$	$5,86 \times 10^4$	$20,3$	$4,52 \times 10^5$
ossigeno	$54,8$	$1,38 \times 10^4$	$90,2$	$2,13 \times 10^5$
acqua	273	$3,335 \times 10^5$	373	$2,256 \times 10^6$
argento	1235	$1,05 \times 10^5$	2845	$2,336 \times 10^6$
rame	1356	$2,05 \times 10^5$	2840	$4,730 \times 10^6$

Tabella 9: Il valore del calore latente di fusione e vaporizzazione per alcune sostanze.

4.4 Modello microscopico della materia

Energia cinetica media di un gas L'energia cinetica di una particella di gas dipende dalla sua struttura molecolare. Vale:

$$\overline{K} = \frac{\ell}{2} k_B T$$

k_B = costante di Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}\ J/K$

La variabile ℓ indica i gradi di libertà delle particelle del gas e vale:

- $\ell = 3$ per gas con tre gradi di libertà (monoatomici);
- $\ell = 5$ per gas con cinque gradi di libertà (biatomici);
- $\ell = 12$ per strutture molecolari non lineari.

Energia interna di un gas perfetto Indicando con ℓ il numero dei gradi di libertà del gas, vale:

$$U = \frac{\ell}{2} N k_B T = \frac{\ell}{2} nRT$$

4.5 Primo principio della termodinamica

Principio zero della termodinamica Se un corpo A è in equilibrio termico con un corpo B e il corpo B è in equilibrio termico con un corpo C, allora A e C sono in equilibrio termico tra loro.

Primo principio della termodinamica (PPT) La variazione di energia interna è uguale alla differenza tra il calore scambiato e il lavoro.

$$\Delta U = Q - L$$

Se il sistema riceve calore, Q è positivo; se il sistema cede calore Q è negativo.

Se il sistema compie lavoro (sull'ambiente, cioè aumenta il suo volume), L è positivo; se il sistema subisce lavoro (cioè diminuisce il suo volume), L è negativo.

Trasformazioni cicliche e adiabatiche Oltre alle trasformazioni già riportate in Tabella 6 a pagina 16, aggiungiamo le trasformazioni *adiabatiche* (senza scambi di calore con l'ambiente) e quelle *cicliche* (che iniziano e si concludono con gli stessi valori delle variabili di stato).

Piano di Clapeyron È un piano volume/pressione su vengono rappresentate le trasformazioni termodinamiche.

Lavoro termodinamico Il lavoro compiuto durante una trasformazione termodinamica è il risultato di una variazione di volume del gas. Graficamente, è uguale all'area sottesa dalla curva nel piano di Clapeyron.

Particolarmente facile nel caso delle trasformazioni isobare, poiché risulta essere l'area di un rettangolo.

Trasformazione isobara Il lavoro vale $L = p\Delta V$. Il PPT assume pertanto la forma $\Delta U = Q - p\Delta V$. Grafico in Figura 9.

Trasformazione isocora Non essendoci variazione di volume, $L = 0$. Il PPT assume pertanto la forma $\Delta U = Q$. Grafico in Figura 10.

Trasformazione isoterma Non variando la temperatura, non varia l'energia interna, $\Delta U = 0$. Il PPT assume la forma $Q = L$. Grafico in Figura 11.

Trasformazione adiabatica Il PPT assume la forma $\Delta U = -L$. Grafico in Figura 12.

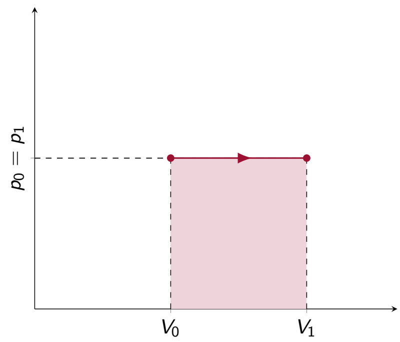


Figura 9: Una trasformazione isobara è rappresentata da un segmento orizzontale, pertanto il lavoro termodinamico è uguale all'area del rettangolo sotteso alla curva.

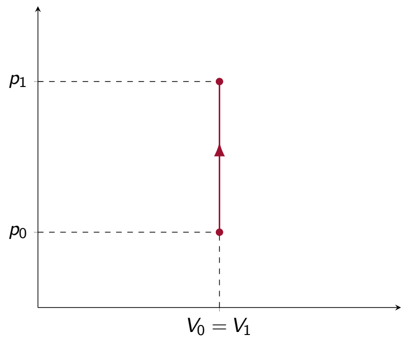


Figura 10: Una trasformazione isocora è rappresentata da un segmento verticale, e pertanto il lavoro termodinamico è nullo.

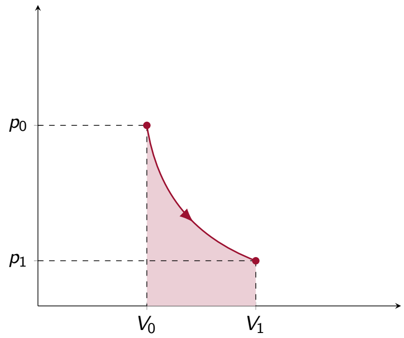


Figura 11: Una trasformazione isoterma è rappresentata da un ramo di iperbole.

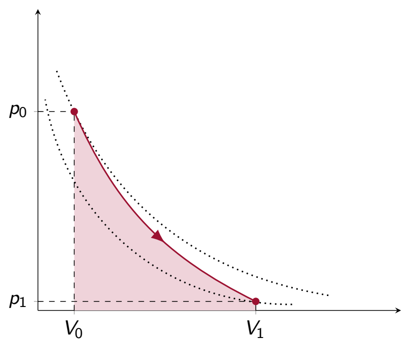


Figura 12: Una trasformazione adiabatica è rappresentata da una curva che unisce due punti delle isoterme corrispondenti all'inizio e alla fine della trasformazione.

Trasformazione ciclica Il PPT assume la forma $Q = L$. Grafico in Figura 13. Le trasformazioni cicliche sono quelle utilizzate dalle macchine termiche.

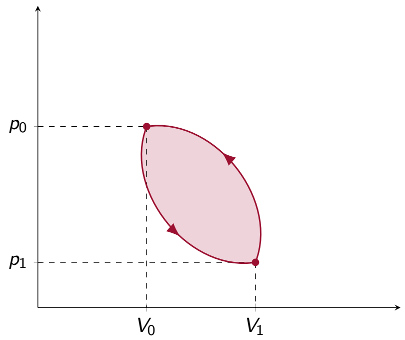


Figura 13: Una trasformazione ciclica è rappresentata da una linea chiusa.

4.6 Secondo principio della termodinamica

Enunciato di Lord Kelvin È impossibile realizzare una trasformazione termodinamica il cui *unico* risultato sia quello di assorbire una certa quantità di calore da un'*unica* sorgente e trasformarla *integralmente* in lavoro.

Una macchina termica reale assorbe calore Q_2 dalla sorgente calda, compie un lavoro $L < Q_2$ e cede l'energia rimanente alla sorgente fredda.

Enunciato di Clausius È impossibile realizzare una trasformazione termodinamica il cui *unico* risultato sia quello di trasferire calore da un corpo più freddo a uno più caldo.

Soltanto un lavoro esterno provoca il passaggio di calore da un corpo a temperatura minore ad un corpo a temperatura maggiore.

Rendimento di una macchina termica

$$\eta = \frac{L}{Q_2} = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2}$$

L = lavoro in un ciclo

Q_2 = calore assorbito in un ciclo

Q_1 = calore ceduto in un ciclo

Enunciato del rendimento È impossibile realizzare una macchina termica che abbia rendimento uguale a 1.

$$0 \leq \eta < 1$$

5 Onde

5.1 Onde elastiche

Onda trasversale Si ha quando gli elementi del mezzo materiale si spostano *perpendicolarmente* al moto dell'onda.

Onda longitudinale Si ha quando gli elementi del mezzo materiale si spostano *parallelamente* al moto dell'onda.

Onda elastica È un'onda che si propaga grazie alle proprietà elastiche del mezzo materiale che le fa da supporto.

Fronte d'onda Insieme di tutti i punti in cui l'onda vibra allo stesso modo, cioè in cui la grandezza che oscilla ha lo stesso valore.

Raggi dell'onda Sono le rette perpendicolari ai fronti d'onda.

Onda periodica È un'onda che si ripete identica dopo un intervallo di tempo costante.

Periodo Tempo che un punto del mezzo materiale impiega per compiere un'oscillazione completa.

$$T \qquad [s]$$

Frequenza Numero di oscillazioni al secondo.

$$f = \frac{1}{T} \qquad [s^{-1}] = [Hz]$$

Lunghezza d'onda Distanza tra due creste di un'onda periodica.

$$\lambda \qquad [m]$$

Velocità di propagazione dell'onda

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\lambda}{T} = \lambda f \qquad \left[\frac{m}{s}\right]$$

λ = lunghezza d'onda $[m]$

Principio di sovrapposizione Due o più onde che si propagano nello stesso mezzo generano una perturbazione che è la somma delle perturbazioni che ciascuna onda produrrebbe da sola.

Interferenza costruttiva Gli effetti di due o più onde si rafforzano a vicenda.

Interferenza distruttiva Gli effetti di due o più onde si annullano a vicenda.

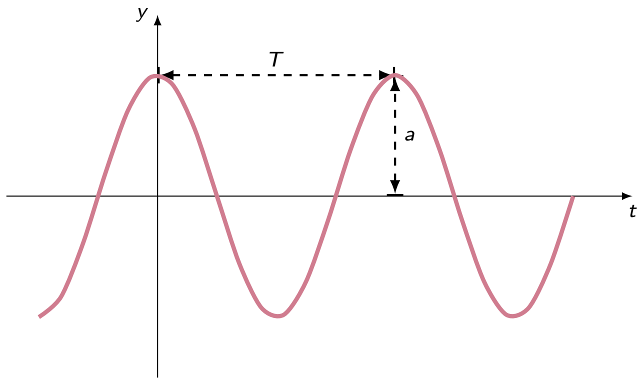


Figura 14: Grafico della legge oraria delle onde armoniche in un punto fissato.

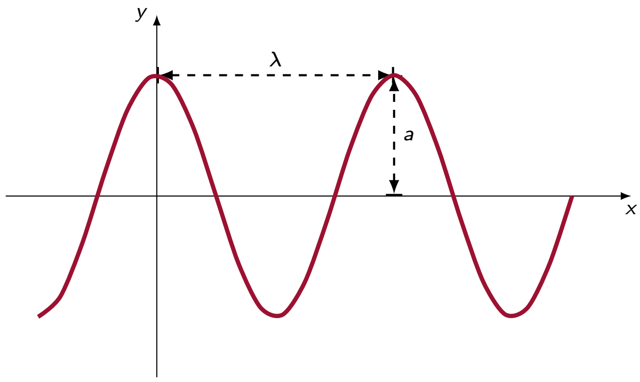


Figura 15: Grafico della legge delle onde armoniche in un istante fissato.

5.2 Suono

Definizione Il suono è un'onda longitudinale generata da successive rarefazioni e compressioni del mezzo in cui si propaga. La sorgente del suono è un corpo che vibra.

Velocità del suono nell'aria Alla pressione atmosferica e a $293\ K$ vale circa $340\ {}^{m}/_{s}$.

Altezza Distingue un suono più acuto da uno più grave e cresce all'aumentare della frequenza dell'onda sonora.

Intensità Distingue un suono ad un volume basso da un suono a volume alto e cresce all'aumentare dell'ampiezza dell'onda sonora.

Timbro Distingue il suono prodotto da strumenti diversi e dipende dalla particolare legge periodica con cui oscilla l'onda sonora.

Limiti di udibilità L'orecchio umano può percepire suoni con frequenza compresa tra 20 e $20\,000\ Hz$. A frequenze inferiori si trovano gli infrasuoni, a frequenze superiori si trovano gli ultrasuoni.

Effetto Doppler La frequenza di un'onda periodica, rilevata da un ricevitore in moto rispetto alla sorgente dell'onda, è diversa da quella rilevata da un ricevitore in quiete rispetto alla sorgente.

5.3 Onde luminose e ottica geometrica

Natura della luce A seconda delle situazioni, la luce può essere descritta come un'onda elettromagnetica (modello ondulatorio) costituita da campi elettrici e magnetici oscillanti che si propagano anche nel vuoto, o come un insieme di corpuscoli chiamati *fotoni* (modello corpuscolare).

Legge della riflessione Il raggio incidente, il raggio riflesso e la perpendicolare alla superficie riflettente nel punto di incidenza appartengono allo stesso piano.

L'angolo di incidenza è uguale all'angolo di riflessione.

Spettro visibile Insieme delle lunghezze d'onda tra i 380 nm (violetto) e i 750 nm (rosso) circa, mostrato in Figura 16.

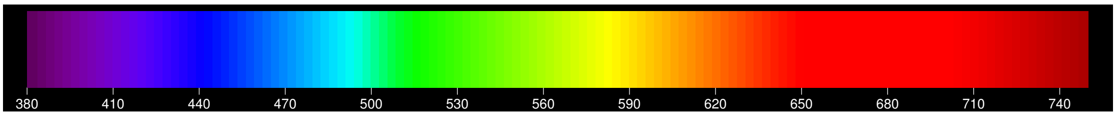


Figura 16: Corrispondenza tra colori della luce visibile e lunghezze d'onda.

6 Fenomeni elettrici e magnetici

6.1 Elettrostatica

Elettrizzazione di un corpo In Tabella 10 sono riassunti i tre modi di elettrizzare un corpo, ovvero portare ad uno squilibrio tra cariche positive e negative.

Metodo	Descrizione	Meccanismo	Materiali
Strofinìo	Si ottiene strofinando tra loro due corpi.	Elettroni passano da un oggetto (che si carica positivamente) ad un altro (che si carica negativamente).	Isolanti o conduttori impugnati con un manico isolante.
Contatto	Si ottiene mettendo a contatto un corpo elettricamente neutro con uno caricato in precedenza.	Una parte delle cariche che si trovano sul corpo elettrizzato si sposta su quello che era neutro.	Avviene in maniera molto efficace tra corpi conduttori. Un corpo isolante può cedere solo le cariche che si trovano su quella parte che è in diretto contatto con il corpo neutro.
Induzione	Si pone un corpo carico (induttore) in prossimità di un conduttore scarico (indotto) costruito in modo da poterlo suddividere in due parti. Senza allontanare il corpo induttore, si separano le due parti del conduttore indotto.	A causa dell'induzione elettrostatica le cariche del corpo neutro si separano: quelle dello stesso segno della carica inducente si allontanano da essa, quelle di segno opposto le si avvicinano.	Due conduttori posti dapprima vicini e poi allontanati.

Tabella 10: I metodi di elettrizzazione.

Legge di Coulomb Fornisce il modulo della forza, attrattiva o repulsiva, tra due cariche elettriche. Tale forza ha come direzione la congiungente tra le due cariche e ha intensità data da:

$$F = k_0 \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

k_0 = costante elettrica del vuoto

r = distanza tra le cariche $[m]$

q_1, q_2 = moduli delle due cariche $[C]$

Costante elettrica del vuoto (costante di Coulomb)

$$k_0 = 8,99 \times 10^9 \, \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

Costante dielettrica del vuoto (permettività elettrica del vuoto)

$$\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \, \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

Tra k_0 e ε_0 vale la seguente relazione:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

Campo elettrico Il campo elettrico è una funzione che ad ogni punto dello spazio circostante una carica (identificato con la sua distanza r da essa) associa una forza elettrica. È definito da:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_P} \qquad \left[\frac{N}{C}\right]$$

q_P = carica di prova, positiva

$\vec{F}$ = forza subita dalla carica di prova

L'intensità del campo elettrico può essere espressa in funzione della carica sorgente (Q_S) e della distanza da essa (r):

$$E = k_0 \frac{Q_S}{r^2}$$

Flusso del campo elettrico È il prodotto scalare del vettore campo elettrico $\vec{E}$ e del vettore superficie $\vec{S}$.

$$\Phi_S(E) = \vec{E} \cdot \vec{S} = ES\cos\theta \qquad \left[\frac{N \cdot m^2}{C}\right]$$

θ = angolo tra i vettori $\vec{E}$ e $\vec{S}$

Intuitivamente, indica quanto e come le linee di campo attraversano una superficie.

Teorema di Gauss per il campo elettrico Il flusso del campo elettrico attraverso la superficie chiusa/gaussiana S è direttamente proporzionale alla quantità di carica racchiusa all'interno della superficie.

$$\Phi_S(E) = \frac{Q_{tot}}{\varepsilon_0}$$

Potenziale elettrico in un punto *A*

$$V_A = \frac{U_A}{q_P} \qquad [V] = [{}^{J}/_{C}]$$

U_A = energia potenziale della carica di prova q_P nel punto A

Differenza di potenziale (tensione) tra i punti *A* e *B*

$$\Delta V_{AB} = \frac{\Delta U_{AB}}{q_P}$$

Capacità di un condensatore

$$C = \frac{Q}{\Delta V} \qquad [F] = [{}^{C}/_{V}]$$

Q = carica sulle armature ($+Q$ su quella positiva, $-Q$ su quella negativa)

ΔV = differenza di potenziale tra le armature

Capacità di un condensatore piano

$$C = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

S = superficie dell'armatura $\qquad$ d = distanza tra le armature

Capacità totale per condensatori in parallelo I condensatori sono collegati in modo da essere sottoposti alla stessa tensione. Schema in Figura 17.

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + \ldots + C_n$$

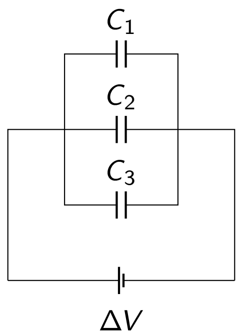


Figura 17: Schema di collegamento per condensatori in parallelo.

Capacità totale per condensatori in serie I condensatori sono collegati in modo che su ogni armatura si trovi la medesima carica: $+Q$ per l'armatura positiva, $-Q$ per quella negativa. Schema in Figura 18.

$$\frac{1}{C_{tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

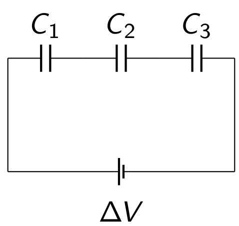


Figura 18: Schema di collegamento per condensatori in serie.

6.2 Corrente elettrica

Circuito elettrico È un insieme di conduttori collegati tra loro in modo continuo collegati ad un generatore di tensione. Può essere costituito da diversi elementi, i più importanti dei quali sono riportati in Tabella 11

Intensità di corrente elettrica

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} \qquad [A] = [{}^{C}/_{s}]$$

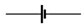
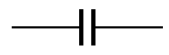
Elemento	Simbolo
filo	
interruttore	
generatore	
lampadina	
resistore	
LED	
condensatore	
induttore	
alternatore	

Tabella 11: Elementi circuitali fondamentali e rispettivo simbolo.

Prima legge di Ohm La corrente che circola nel circuito è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale applicata (ΔV) e inversamente proporzionale alla resistenza (R) del circuito.

$$i = \frac{\Delta V}{R}$$

R = resistenza elettrica [Ω] = [$^V/_A$]

Resistenza totale per resistori in parallelo I resistori sono collegati in modo da essere sottoposti alla stessa tensione. Schema in Figura 19.

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$$

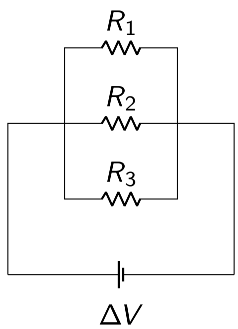


Figura 19: Schema di collegamento per resistori in parallelo.

Resistenza totale per resistori in serie I resistori sono collegati in modo da essere attraversati dalla stessa corrente. Schema in Figura 20.

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$$

Princìpi di Kirchhoff Due leggi utilizzate nella risoluzione dei circuiti:

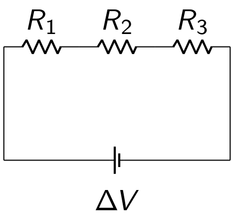


Figura 20: Schema di collegamento per resistori in serie.

- *legge dei nodi*: la somma delle correnti entranti in un nodo è uguale alla somma delle correnti uscenti (conseguenza del principio di conservazione della carica);

$$\sum i_{in} = \sum i_{out}$$

- *legge delle maglie*: la somma algebrica delle differenze di potenziale lungo una maglia è uguale a zero (conseguenza del principio di conservazione dell'energia).

$$\sum \Delta V = 0$$

Effetto Joule È la trasformazione di energia potenziale elettrica in energia termica (calore).

Seconda legge di Ohm

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

ρ = resistività, dipende dal materiale $[\Omega \cdot m]$
S = sezione del conduttore $[m^2]$
L = lunghezza del resistore $[m]$

6.3 Elettromagnetismo

Legge di Ampère

$$F = k \cdot \frac{i_1 i_2}{d} \cdot L = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{i_1 i_2}{d} \cdot L$$

F = forza subita dai due fili
d = distanza tra i fili
i_1, i_2 = correnti nei due fili
L = lunghezza dei fili

Permeabilità magnetica del vuoto

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

Forza subita da un filo in un campo magnetico Se il campo B e la corrente i che scorre in un filo lungo ℓ sono perpendicolari, vale:

$$F = Bi\ell$$

Isolando B in questa relazione otteniamo la definizione dell'intensità del campo magnetico:

$$B = \frac{F}{i\ell}$$

Legge di Biot-Savart Una corrente genera intorno a sé un campo magnetico la cui intensità è data da:

$$B = \mu_0 \frac{i}{2\pi r} \qquad [T] = [N/A \cdot m]$$

B = intensità del campo magnetico

r = distanza dal filo

i = corrente nel filo

Forza di Lorentz È la forza subita da una carica in moto in un campo magnetico.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Se la carica è positiva si usa la regola della mano destra, da invertire nel caso di una carica negativa.

Flusso del campo magnetico Analogamente al flusso del campo elettrico.

$$\Phi_S(B) = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS\cos\theta \qquad [Wb] = \left[T \cdot m^2\right]$$

Teorema di Gauss per il campo magnetico Il flusso del campo magnetico attraverso la superficie chiusa/gaussiana S è sempre nullo, poiché non esistono monopoli magnetici.

$$\Phi_S(B) = 0$$

Circuitazione del campo magnetico lungo la linea chiusa $\mathscr{L}$ Analogamente alla circuitazione del campo elettrico.

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(B) = \sum_i \vec{B}_i \cdot \Delta\vec{\ell}_i = \sum_i B_i \Delta\ell_i \cos\theta_i$$

Teorema di Ampère Afferma che il campo magnetico non è conservativo, poiché la sua circuitazione può essere diversa da zero.

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(B) = \mu_0 \sum_k i_k$$

i_k = correnti concatenate a $\mathscr{L}$

6.4 Induzione elettromagnetica

Legge di Faraday-Neumann Permette di calcolare la forza elettromotrice (f_{em}) indotta da una variazione del flusso del campo magnetico.

$$f_{em\,ind} = -\frac{\Delta\Phi(B)}{\Delta t}$$

Legge di Lenz Il verso della corrente indotta è tale da opporsi alla variazione di flusso che la genera. Tale legge è indicata dal segno meno delle formule precedenti.

6.5 Equazioni di Maxwell e onde elettromagnetiche

Equazioni nel caso statico Se non si hanno variazioni di flusso del campo elettrico e magnetico, valgono le seguenti equazioni:

Teorema di Gauss per il campo elettrico:

$$\Phi_S(E) = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Legge di FNL (legge delle maglie):

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(E) = 0$$

Teorema di Gauss per il campo magnetico:

$$\Phi_S(B) = 0$$

Teorema di Ampère:

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(B) = \mu_0 i$$

Equazioni nel caso generale Se si hanno variazioni di flusso del campo elettrico e magnetico nel tempo, valgono le seguenti equazioni:

Teorema di Gauss per il campo elettrico:

$$\Phi_S(E) = \frac{Q}{\varepsilon_0}$$

Legge di FNL:

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(E) = -\frac{\Delta\Phi_S(B)}{\Delta t}$$

Teorema di Gauss per il campo magnetico:

$$\Phi_S(B) = 0$$

Teorema di Ampère-Maxwell:

$$\Gamma_{\mathscr{L}}(B) = \mu_0\,(i + i_s) = \mu_0\left(i + \varepsilon_0\frac{\Delta\Phi_S(E)}{\Delta t}\right)$$

Onde elettromagnetiche Dalle equazioni di Maxwell si deduce l'esistenza di onde elettromagnetiche: variazioni sinusoidali del campo elettrico e del campo magnetico su piani perpendicolari, mostrate in Figura 21.

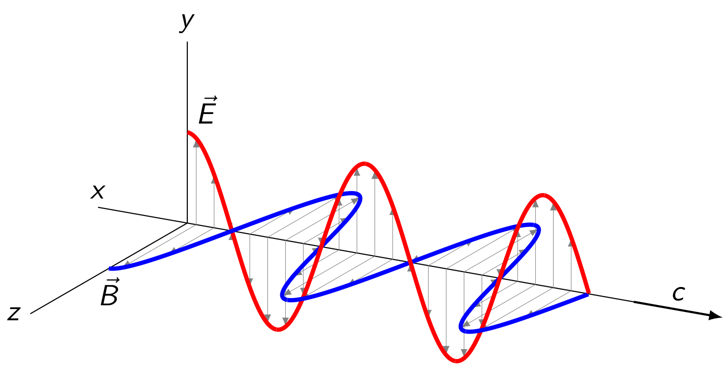


Figura 21: Rappresentazione di un'onda elettromagnetica.

Velocità di un'onda elettromagnetica nel vuoto È la velocità della luce nel vuoto (la luce è infatti un'onda elettromagnetica).

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \cdot \mu_0}} = 299\,792\,458\ {}^{m}/_{s} \simeq 3,0 \times 10^8\ {}^{m}/_{s}$$

Spettro elettromagnetico Le onde elettromagnetiche si distinguono per la lunghezza d'onda λ e per la frequenza f, legate dalla relazione:

$$\lambda = cf$$

I diversi tipi di onde con le relative lunghezze d'onda sono mostrati in Figura 22.

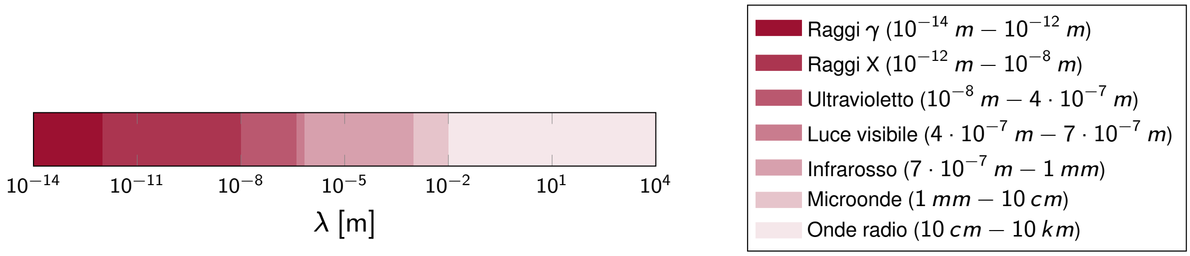


Figura 22: Lo spettro elettromagnetico, rappresentato in scala logaritmica. La porzione del visibile (compresa tra 380 e 750 nm circa) è mostrata a pagina 23 in Figura 16.

7 Fisica moderna

7.1 Relatività di spazio e tempo

Principio di relatività ristretta Le leggi e i principi della Fisica hanno la stessa forma in tutti i sistemi di riferimento (SDR) inerziali.

Principio di invarianza di *c* La velocità della luce è la stessa in tutti i SDR inerziali, indipendentemente dal moto del sistema stesso o della sorgente da cui la luce è emessa.

Velocità della luce La velocità della luce è una costante universale (identica in ogni SDR) e vale:

$$c = 299\,792\,458\,\frac{m}{s} \simeq 3,00 \times 10^8\,\frac{m}{s}$$

Coefficiente di dilatazione (fattore di Lorentz)

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \qquad \text{con} \quad \beta = \frac{v}{c}$$

v = velocità del corpo nel SDR S

Poiché v è sempre minore di c, il coefficiente di dilatazione è sempre maggiore di 1.

Notiamo inoltre che:

$$\lim_{v \to c^-} \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} = +\infty$$

e che se $v \ll c$ (come nei casi del mondo medio) il valore di γ tende a 1.

Dilatazione dei tempi

$$\Delta t' = \gamma \Delta t$$

Δt = durata del fenomeno in S

$\Delta t'$ = durata del fenomeno in S'

Intervallo di tempo proprio Intervallo di tempo misurato in un SDR solidale con il fenomeno.

Contrazione delle lunghezze parallele al moto

$$\Delta x' = v\Delta t' = \frac{\Delta x}{\gamma}$$

Δx = lunghezza del segmento in S

$\Delta x'$ = lunghezza del segmento in S'

Lunghezza propria Lunghezza di un segmento misurata in un SDR solidale con il segmento.

Equivalenza massa-energia Se un corpo assorbe energia la sua massa aumenta, se la perde la massa diminuisce.

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

Energia di quiete Un corpo fermo non soggetto a forze possiede energia per il solo fatto di avere massa.

$$E = m_0 c^2$$

m_0 = massa a riposto del corpo (cioè misurata in un SDR in cui esso è in quiete)

Massa relativistica

$$m = \gamma m_0$$

Se $v = 0$ (cioè se il corpo è fermo nel SDR), allora $\gamma = 1$ e $m = m_0$.

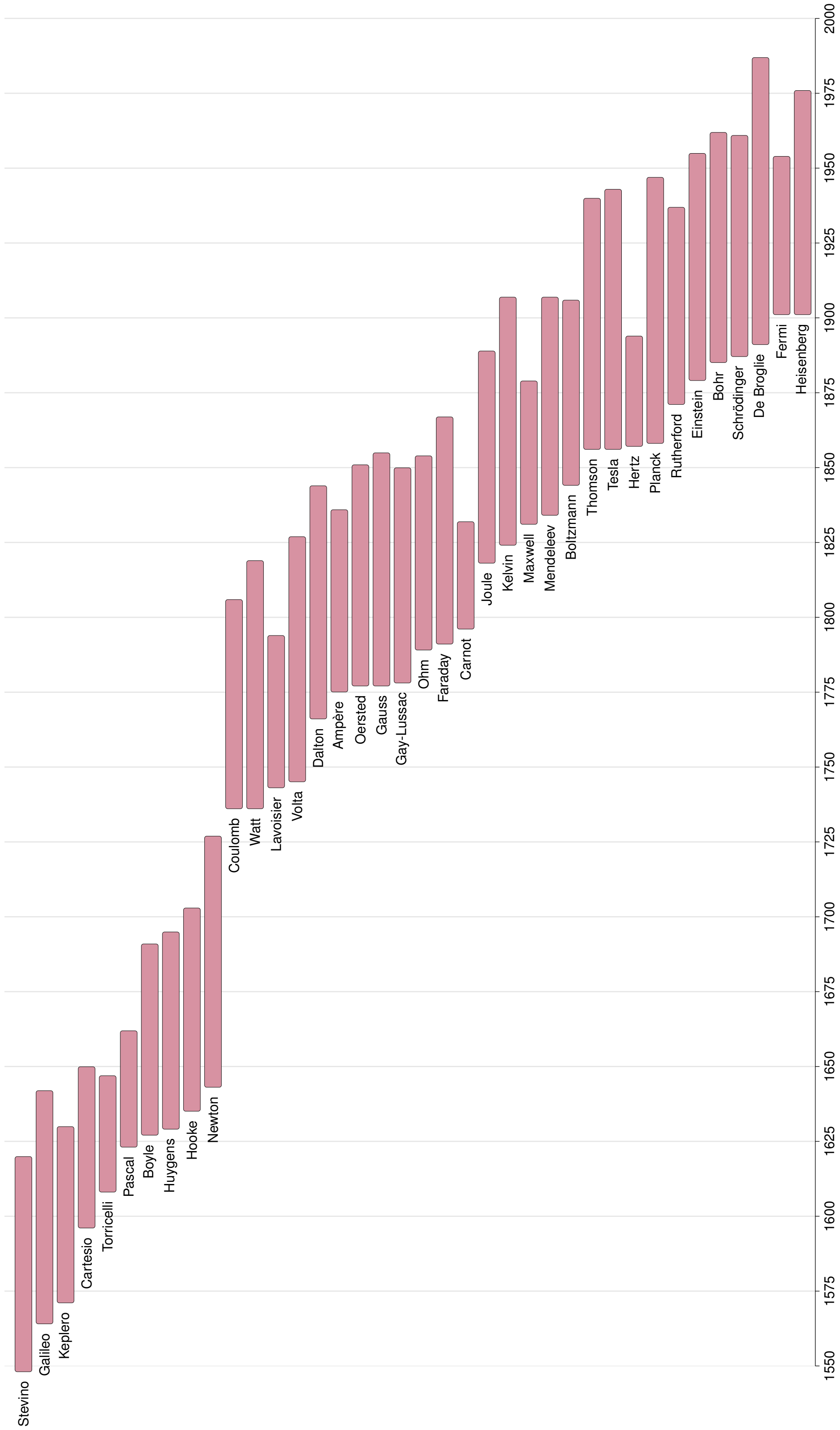
Energia totale di una particella relativistica (relazione di Einstein)

$$E = \gamma m_0 c^2 = mc^2$$

Quando la velocità di un corpo si avvicina indefinitamente a quella della luce, la sua energia totale tende a diventare infinitamente grande.

Per accelerare un corpo alla velocità della luce bisogna fornire ad esso una quantità di energia infinita: nessun corpo massivo può quindi raggiungere o superare c.

8 Timeline



Stevino
Galileo
Keplero
Cartesio
Torricelli
Pascal
Boyle
Huygens
Hooke
Newton
Coulomb
Watt
Lavoisier
Volta
Dalton
Ampère
Oersted
Gauss
Gay-Lussac
Ohm
Faraday
Carnot
Joule
Kelvin
Maxwell
Mendeleev
Boltzmann
Thomson
Tesla
Hertz
Planck
Rutherford
Einstein
Bohr
Schrödinger
De Broglie
Fermi
Heisenberg
1550
1575
1600
1625
1650
1675
1700
1725
1750
1775
1800
1825
1850
1875
1900
1925
1950
1975
2000

9 Tavola periodica degli elementi

Z **Sim** Nome mass

Z = numero atomico
Sim = simbolo
Nome = nome dell'elemento
mass = massa atomica standard in *unità di massa atomica*

1 **H** Idrogeno 1.00784																	2 **He** Elio 4.002602
3 **Li** Litio 6.938	4 **Be** Berillio 9.0121831											5 **B** Boro 10.806	6 **C** Carbonio 12.0096	7 **N** Azoto 14.00643	8 **O** Ossigeno 15.99903	9 **F** Fluoro 18.998403163	10 **Ne** Neon 20.1797
11 **Na** Sodio 22.98976928	12 **Mg** Magnesio 24.304											13 **Al** Alluminio 26.9815385	14 **Si** Silicio 28.084	15 **P** Fosforo 30.973761998	16 **S** Zolfo 32.059	17 **Cl** Cloro 35.446	18 **Ar** Argon 39.948
19 **K** Potassio 39.0983	20 **Ca** Calcio 40.078	21 **Sc** Scandio 44.955908	22 **Ti** Titanio 47.867	23 **V** Vanadio 50.9415	24 **Cr** Cromo 51.9961	25 **Mn** Manganese 54.938044	26 **Fe** Ferro 55.845	27 **Co** Cobalto 58.933194	28 **Ni** Nichel 58.6934	29 **Cu** Rame 63.546(3)	30 **Zn** Zinco 65.38	31 **Ga** Gallio 69.723	32 **Ge** Germanio 72.630	33 **As** Arsenico 74.921595	34 **Se** Selenio 78.971	35 **Br** Bromo 79.901	36 **Kr** Krypton 83.798
37 **Rb** Rubidio 85.4678	38 **Sr** Stronzio 87.62	39 **Y** Ittrio 88.90584	40 **Zr** Zirconio 91.224	41 **Nb** Niobio 92.90637	42 **Mo** Molibdeno 95.95	43 **Tc** Tecnezio (98)	44 **Ru** Rutenio 101.07	45 **Rh** Rodio 102.90550	46 **Pd** Palladio 106.42	47 **Ag** Argento 107.8682(2)	48 **Cd** Cadmio 112.414	49 **In** Indio 114.818	50 **Sn** Stagno 118.710	51 **Sb** Antimonio 121.760	52 **Te** Tellurio 127.60	53 **I** Iodio 126.90447	54 **Xe** Xenon 131.293
55 **Cs** Cesio 132.90545196	56 **Ba** Bario 137.327	57-71 * Lantanidi	72 **Hf** Afnio 178.49	73 **Ta** Tantalio 180.94788	74 **W** Tungsteno 183.84	75 **Re** Renio 186.207	76 **Os** Osmio 190.23	77 **Ir** Iridio 192.217	78 **Pt** Platino 195.084	79 **Au** Oro 196.966569(5)	80 **Hg** Mercurio 200.592	81 **Tl** Tallio 204.382	82 **Pb** Piombo 207.2	83 **Bi** Bismuto 208.98040	84 **Po** Polonio (209)	85 **At** Astato (210)	86 **Rn** Radon (222)
87 **Fr** Francio (223)	88 **Ra** Radio (226)	89-103 ** Attinidi	104 **Rf** Rutherfordio (261)	105 **Db** Dubnio (268)	106 **Sg** Seaborgio (269)	107 **Bh** Bohrio (270)	108 **Hs** Hassio (269)	109 **Mt** Meitnerio (278)	110 **Ds** Darmstadio (281)	111 **Rg** Roentgenio (282)	112 **Cn** Copernicio (285)	113 **Uut** Ununtrio (286)	114 **Fl** Flerovio (289)	115 **Uup** Ununpentio (289)	116 **Lv** Livermorio (293)	117 **Uus** Ununseptio (294)	118 **Uuo** Ununoctio (294)
	*	57 **La** Lantanio 138.90547(7)	58 **Ce** Cerio 140.116	59 **Pr** Praseodimio 140.90766	60 **Nd** Neodimio 144.242	61 **Pm** Promezio (145)	62 **Sm** Samario 150.36	63 **Eu** Europio 151.964	64 **Gd** Gadolinio 157.25	65 **Tb** Terbio 158.92535	66 **Dy** Disprosio 162.500	67 **Ho** Olmio 164.93033	68 **Er** Erbio 167.259	69 **Tm** Tulio 168.93422	70 **Yb** Itterbio 173.045	71 **Lu** Lutezio 174.9668	
	**	89 **Ac** Attinio (227)	90 **Th** Torio 232.0377	91 **Pa** Protoattinio 231.03588	92 **U** Uranio 238.02891	93 **Np** Nettunio (237)	94 **Pu** Plutonio (244)	95 **Am** Americio (243)	96 **Cm** Curio (247)	97 **Bk** Berkelio (247)	98 **Cf** Californio (251)	99 **Es** Einsteinio (252)	100 **Fm** Fermio (257)	101 **Md** Mendelevio (258)	102 **No** Nobelio (259)	103 **Lr** Laurenzio (266)	