Comprende
versione **Ebook**
e **Software di simulazione**

Principi di Fisica

basato su *Principi di Fisica*
di **Ezio Ragozzino**

R. **Velotta**

R. Arcidiacono
B. Della Ventura
M. Gagliardi
E. Geraci
G. Mettivier
M. Miceli
P.G. Prada Moroni
S. Tangaro

EdiSES
università

Accedi all'**ebook** e ai contenuti **digitali**

Espandi le tue risorse

un libro che **non pesa**
e si **adatta** alle dimensioni
del **tuo lettore**!

COLLEGATI AL SITO **EDISES.IT**

ACCEDI AL **MATERIALE DIDATTICO**

SEGUI LE **ISTRUZIONI**

Utilizza il codice personale contenuto nel riquadro per registrarti al sito **edises.it** e attiva la tua **area riservata**. Potrai accedere alla **versione digitale** del testo e a ulteriore **materiale didattico**.

Scopri il tuo **codice personale** grattando delicatamente la superficie

Il volume NON può essere venduto, né restituito, se il codice personale risulta visibile.
L'**accesso al materiale didattico** sarà consentito **per 18 mesi**.

Per attivare i **servizi riservati**, collegati al sito **edises.it** e segui queste semplici istruzioni

Se sei registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- inserisci email e password
- inserisci le ultime 4 cifre del codice ISBN, riportato in basso a destra sul retro di copertina
- inserisci il tuo **codice personale** per essere reindirizzato automaticamente all'area riservata

Se non sei già registrato al sito

- clicca su *Accedi al materiale didattico*
- registrati al sito **edises.it**
- attendi l'email di conferma per perfezionare la registrazione
- torna sul sito **edises.it** e segui la procedura già descritta per *utenti registrati*

EdiSES università

Ulteriori materiali e strumenti didattici sono accessibili dalla propria **area riservata** secondo la procedura indicata nel frontespizio.

Dalla sezione ***materiali e servizi*** della tua area riservata potrai accedere a:

- **Ebook**: versione digitale del testo in formato epub, standard dinamico che organizza il flusso di testo in base al dispositivo sul quale viene visualizzato. Fruibile mediante l'applicazione gratuita BookShelf, consente una visualizzazione ottimale su lettori e-reader, tablet, smartphone, iphone, desktop, Android, Apple e Kindle Fire. Sono qui forniti in lingua originale sotto forma di appendice gli svolgimenti dei problemi con numero pari e dei problemi impegnativi.

- **Software di simulazione**: un vastissimo database di quesiti a risposta multipla per effettuare esercitazioni sull'**intero programma** o su **argomenti specifici**.

- **Materiale didattico**: soluzioni esplicite ragionate degli esercizi di fine capitolo contrassegnati con un asterisco.

L'accesso ai contenuti digitali sarà consentito per **18 mesi**.

EdiSES
università

PRINCIPI DI FISICA

basato su *Principi di Fisica* di Ezio Ragozzino

Coordinamento a cura di
Raffaele Velotta

EdiSES università

Raffaele Velotta
PRINCIPI DI FISICA

9 8 7 6 5 4 3 2 1 0
2030 2029 2028 2027 2026 2025

Le cifre sulla destra indicano il numero e l'anno dell'ultima ristampa effettuata

Fotocomposizione:
ProMedia Studio di A. Leano – Napoli

Stampato presso:
PrintSprint S.r.l. – Napoli

per conto della
EdiSES s.r.l. – Piazza Dante, 89 – Napoli

www.edises.it
assistenza.edises.it

ISBN 978 88 3623 219 2

AUTORI

Roberta Arcidiacono (Capp. 8, 9, 10) — *Università degli Studi del Piemonte Orientale*

Bartolomeo Della Ventura (Capp. 2, 7) — *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

Martino Gagliardi (Capp. 15, 16) — *Università degli Studi di Torino*

Elena Geraci (Capp. 11, 22) — *Università degli Studi di Catania*

Giovanni Mettivier (Capp. 17, 18, 21) — *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

Marco Miceli (Capp. 19, 20) — *Università degli Studi di Palermo*

Pier Giorgio Prada Moroni (Capp. 4, 5, 6) — *Università degli Studi di Pisa*

Sabina Tangaro (Capp. 12, 13, 14) — *Università degli Studi di Bari*

Raffaele Velotta (Capp. 1, 3) — *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

Coordinatore

Raffaele Velotta — *Università degli Studi di Napoli "Federico II"*

PREFAZIONE

Quando Ezio Ragozzino pubblicò la prima edizione di *Principi di Fisica*, il suo obiettivo era fornire un testo chiaro, accessibile e rigoroso per studenti di Scienze Biologiche, Biotecnologie, Farmacia e discipline affini. La struttura del libro, la scelta del linguaggio e l'attenzione all'intuizione fisica hanno reso questo testo un riferimento per generazioni di studenti.

Negli anni, l'insegnamento della fisica nei corsi universitari ha subito cambiamenti, sia per l'evoluzione delle esigenze didattiche sia per le riforme accademiche. Con questa nuova edizione, abbiamo voluto preservare lo spirito originale dell'opera, aggiornandola per rispondere alle necessità di un pubblico sempre più variegato e alle nuove modalità di insegnamento. La revisione ha mantenuto inalterata l'impostazione metodologica che contraddistingueva il lavoro di Ragozzino: l'uso di un linguaggio semplice ma rigoroso, l'attenzione alla gradualità nell'introduzione del formalismo matematico e l'organizzazione chiara degli argomenti.

Al tempo stesso, abbiamo ritenuto opportuno rivedere la presentazione di alcuni concetti e arricchire il testo con esempi e applicazioni più aderenti alla realtà attuale. In particolare, la trattazione della *cinematica* è stata riorganizzata, distinguendo in due capitoli separati il moto in una dimensione e il moto in tre dimensioni, così da rendere più chiara la progressione degli argomenti. Inoltre, i capitoli sono stati *ridotti nella loro estensione*, mantenendo l'organizzazione originale, ma suddividendo i contenuti in sezioni più concise per agevolare la consultazione e gli approfondimenti.

Tra le principali novità di questa edizione vi è anche l'inserimento di *esempi svolti*, che guidano lo studente nella risoluzione dei problemi con un approccio graduale e strutturato. Inoltre, alla fine di ogni capitolo sono state aggiunte *domande di verifica*, pensate per stimolare la riflessione e consolidare la comprensione degli argomenti trattati.

Ci auguriamo che questa nuova edizione continui a essere un valido strumento di apprendimento per gli studenti e un supporto efficace per i docenti, così come lo è stata la versione originale.

Gli Autori

INDICE GENERALE

Appendici

Indice analitico

1 Grandezze fisiche

Le grandezze fisiche svolgono un ruolo fondamentale nel fornire una rappresentazione quantitativa del mondo che ci circonda. Questo primo capitolo introduce il concetto operativo di grandezza fisica, delineando la distinzione tra grandezze fondamentali e derivate. Illustreremo alcuni sistemi di unità di misura e la loro struttura gerarchica, che comprende multipli e sottomultipli essenziali per esprimere misure di varie grandezze con precisione e semplicità. Infine, richiameremo la misura degli angoli in radianti e la notazione scientifica (uso delle potenze di 10).

1.1 Concetto operativo di grandezza fisica. Grandezze fondamentali e derivate

La distinzione fra fenomeni fisici e fenomeni chimici viene tradizionalmente operata sulla base della considerazione che sono chimici quei fenomeni che alterano profondamente la natura dei corpi che vi sono coinvolti. Con tale criterio, la combustione di un foglio di carta è da ritenersi un fenomeno chimico, mentre la deformazione di un corpo per urto con un altro oggetto o il riscaldamento di una massa d'acqua vanno considerati fenomeni fisici. Infatti, il primo processo dà luogo alla produzione di sostanze (gas, fumi, ceneri, residui carboniosi) di natura profondamente diversa da quella della sostanza di partenza (la carta). Negli altri due processi si modificano, rispettivamente, la *forma* dei corpi coinvolti nella collisione e la *temperatura* della sostanza riscaldata, ma la natura dei corpi interessati dai processi rimane inalterata.

Pensiamo ora a un pezzo di cornicione che si distacchi dall'alto di un edificio. Il moto di caduta di questo corpo è, alla luce di quanto è stato or ora detto, un fenomeno fisico ed è descrivibile, con buona approssimazione, mediante la relazione matematica

$$s = \frac{1}{2} g t^2$$

Poiché, in tale relazione, alle lettere s, g e t si attribuiscono valori numerici, possiamo anche dire che il fenomeno di cui ci stiamo occupando è descrivibile mediante una relazione matematica fra numeri.

Molti altri fenomeni fisici possono essere descritti mediante relazioni in cui figurano lettere alle quali si attribuiscono valori numerici: queste lettere rappresentano altrettante "grandezze fisiche". In generale, possiamo parlare di grandezza fisica se riusciamo a tradurre in forma quantitativa un concetto fisico, cioè a stabilire un insieme di *operazioni* che consentano di associare al concetto un valore numerico. Facciamo un esempio, riferendoci al concetto fisico più semplice, quello di "lunghezza". Questo concetto è in noi ben presente; tuttavia, se vogliamo parlare di lunghezza di un'asta, di un meridiano terrestre o di un batterio, abbiamo bisogno di eseguire, mediante *strumentazione* e procedimenti opportuni, delle operazioni, ossia delle *misurazioni*, che permettano di associare un numero a ciascuna delle tre lunghezze; in questo modo, sarà anche possibile operare un "confronto" fra esse.

Anche se non esiste un procedimento unico che vada bene in tutti i casi, per definire una grandezza fisica, è in generale sufficiente (1) introdurre e definire un *campione di riferimento* da assumere come *unità di misura* e (2) realizzare una strumentazione e delle metodologie, più o meno complesse, che consentano di *misurare* la grandezza, cioè di determinare il valore del rapporto esistente fra essa e l'unità di misura prescelta: tale valore dà la *misura* della grandezza in esame. Il fatto che la definizione di una grandezza fisica è strettamente connessa con la possibilità di associare valori numerici al concetto cui la grandezza è legata, grazie a un insieme di operazioni opportune, si esprime sinteticamente dicendo che una grandezza fisica è definibile solo *operativamente*. Soltanto dopo che a un concetto fisico è stato associato un valore numerico, con la definizione operativa della corrispondente grandezza fisica, un fenomeno in cui quel concetto sia coinvolto potrà essere descritto mediante una relazione matematica.

Un certo numero di grandezze fisiche opportunamente scelte, indicate come *fondamentali*, viene usato per la definizione operativa di tutte le altre grandezze, dette *derivate*. Le grandezze fondamentali sono fra loro indipendenti, nel senso che, per ciascuna di esse, l'introduzione della corrispondente unità di misura non implica alcuna relazione con le unità di misura delle altre; di conseguenza, *le unità di misura delle grandezze fondamentali, dette «unità fondamentali», vengono fissate in modo del tutto arbitrario*. La scelta delle grandezze fondamentali va effettuata con opportuni criteri; conviene, in particolare, che la scelta cada su grandezze delle quali sia agevole la misurazione e delle quali sia possibile realizzare campioni ben riproducibili e di valore pressoché invariabile nel tempo. Grandezze come la *lunghezza*, la *massa* ed il *tempo* posseggono questi requisiti.

Le grandezze derivate sono quelle la cui definizione operativa è fondata sull'uso delle grandezze fondamentali; pertanto, *le unità di misura delle grandezze derivate, cioè le «unità derivate», non possono essere definite in maniera arbitraria, ma vanno introdotte sulla base delle relazioni che legano ciascuna grandezza derivata ad una o più grandezze fondamentali*. Facciamo un esempio. Il concetto fisico di velocità è legato a due grandezze fondamentali, la lunghezza ed il tempo; infatti, la velocità, che indicheremo con la lettera v, è definita come rapporto fra la lunghezza l del percorso compiuto da un oggetto in movimento e l'intervallo di tempo t impiegato a compiere il percorso stesso:

$$v = \frac{l}{t}$$

Di conseguenza, l'unità di misura della velocità va fissata sulla base delle unità scelte per la lunghezza ed il tempo. Se queste sono, rispettivamente, il metro (m) ed il secondo (s), la velocità andrà espressa in metri/secondo (m/s). Con lo stesso criterio si fisseranno le unità di misura di grandezze derivate come la superficie, il volume, l'accelerazione, la forza, il lavoro, l'energia.

1.2 Sistemi di unità di misura. Multipli e sottomultipli di unità di misura

L'insieme delle unità fondamentali e di tutte le unità da esse derivate costituisce un *sistema di unità di misura*. Il sistema di unità di misura più diffuso a livello internazionale è il cosiddetto *sistema internazionale di unità di misura* e si indica con la sigla SI. Le grandezze fondamentali del SI sono riportate nella **tab. 1.1** insieme alle rispettive unità di misura e ai simboli corrispondenti.

Dal 20 maggio 2019, alcune unità del SI sono state ridefinite in modo da legare il loro valore a costanti fondamentali, così come era già successo per altre unità. Attualmente, quindi, le grandezze fondamentali del SI sono fissate nel loro valore a partire dal valore assunto da alcune costanti fondamentali. Pertanto, nella **tab. 1.1** sono riportate le definizioni *attuali* delle unità di misura del SI insieme a quelle precedenti, le quali, sebbene approssimate, sono in molti casi di più facile comprensione e sono sicuramente valide in tutte le applicazioni che tratteremo in questo libro. Teniamo presente che l'aspetto fondamentale del concetto di *misura* in fisica è quello del confronto tra la grandezza da misurare e l'unità di riferimento. In questo senso, eventuali cambiamenti dell'unità di misura portano semplicemente ad una variazione numerica del valore assunto da una grandezza, che non ha nessuna influenza sulle leggi che intendiamo descrivere in questo libro. Le unità di misura del SI riguardanti le grandezze meccaniche (lunghezza, massa, intervallo di tempo, velocità, forza, energia, ecc.) sono frequentemente designate come *unità MKS*. Questa sigla è formata dalle iniziali delle unità fondamentali meccaniche, cioè metro, chilogrammo (in inglese kilogram) e secondo.

Fra i sistemi di unità di misura, è degno di particolare menzione il *sistema CGS*, in cui si assumono tre sole grandezze fondamentali, che coincidono con le grandezze fondamentali meccaniche del SI. Le unità di misura corrispondenti sono il *centimetro* (cm), il *grammo* (g) ed il *secondo* (s), rispettivamente. La sigla CGS è formata appunto dalle iniziali delle unità fondamentali adottate. Il centimetro è la lunghezza 100 volte più piccola del metro e il grammo è la massa 1000 volte più piccola del chilogrammo.

Le unità dei sistemi SI e CGS vengono sovente usate sotto forma di multipli e sottomultipli. Nella **tab. 1.2** vengono elencati i prefissi che, posti dinanzi al simbolo di una unità di misura, la convertono in un multiplo o un sottomultiplo.

Facciamo alcuni esempi. Il prefisso c, che si legge "centi" e vale un centesimo (10^{-2}), posto dinanzi al simbolo P, che indica l'unità di misura "poise", dà luogo all'unità cP; questa unità è il "centipoise" ed ha un valore cento volte più piccolo del poise. Il prefisso μ, che si legge "micro" e vale un milionesimo (10^{-6}), posto davanti al simbolo m, che indica l'unità di misura "metro", dà luogo all'unità μm ("micromètro") ed ha un valore un milione di volte più piccolo del metro. Il prefisso M, che si legge "mega" e vale un milione (10^{6}), posto dinanzi al simbolo W, che indica l'unità di misura "watt", costituisce l'unità MW ("megawatt"), che ha un valore un milione di volte più grande del watt.

TABELLA 1.1 Grandezze e unità fondamentali del sistema internazionale (SI)

Grandezza	Simbolo della grandezza	Unità di misura corrispondente	Simbolo dell'unità di misura	Definizione attuale	Definizione passata (approssimata)
Intervallo di tempo	t	secondo	s	Valore numerico prefissato della frequenza $\Delta\nu_{Cs}$ di una transizione dell'atomo di cesio 133, pari a 9.192.631.770 quando espresso in Hz (s^{-1}).	Intervallo di tempo 86.400 volte più piccolo del giorno solare medio.
Lunghezza	l	metro	m	Valore numerico della velocità della luce nel vuoto c, fissato a 299.792.458 quando espresso nell'unità di misura m/s, dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{Cs}$.	Lunghezza a 0°C di un regolo di platino-iridio custodito a Sèvres, presso Parigi.
Massa	m	chilogrammo-massa	kg	Valore numerico prefissato della costante di Planck h, pari a $6{,}62607015 \cdot 10^{-34}$ quando espressa in $J \cdot s$ (che equivale a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}$), dove il metro e il secondo sono definiti a partire da c e $\Delta\nu_{Cs}$.	Massa di un campione di platino-iridio custodito a Sèvres, presso Parigi. Il valore di 1 kg è anche quello pari alla massa di 1 dm^3 (1 L) di acqua distillata a 4°C.
Temperatura assoluta	T	kelvin	K	Valore numerico prefissato della costante di Boltzmann k_B, pari a $1{,}380649 \cdot 10^{-23}\ J \cdot K^{-1}$ (che equivale a $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$), dove il chilogrammo, il metro e il secondo sono definiti in termini di h, c e $\Delta\nu_{Cs}$.	1/273,16 della temperatura assoluta del punto triplo dell'acqua (0,01°C, quando è possibile avere in equilibrio le tre fasi: solida, liquida e gassosa).
Intensità di corrente elettrica	I	ampère	A	Valore numerico prefissato della carica elementare e, pari a $1{,}602176634 \cdot 10^{-19}$ quando espresso in Coulomb (che equivale ad $A \cdot s$), dove il secondo è definito in termini di $\Delta\nu_{Cs}$.	Valore dell'intensità della corrente costante che, percorrendo due conduttori ideali paralleli posti a 1 m di distanza, produce fra essi una forza di $2 \cdot 10^{-7}$ newton per ogni metro.
Quantità di sostanza	n	mole	mol	Una mole contiene esattamente $6{,}02214076 \cdot 10^{23}$ entità elementari. Questo numero corrisponde al valore numerico prefissato della costante di Avogadro N_A, espresso in mol^{-1}, ed è chiamato numero di Avogadro.	Quantità di sostanza di un sistema che contiene un numero di unità elementari pari al numero di atomi presenti in 0,012 kg di carbonio 12.
Intensità luminosa	I	candela	cd	Valore numerico prefissato dell'efficienza luminosa (K_{cd}) della radiazione monocromatica con frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz, pari a 683, espresso in lm W^{-1} o in cd sr W^{-1} (che equivale a cd sr kg^{-1} m^{-2} s^3).	Intensità luminosa in una data direzione di una sorgente monocromatica alla frequenza di $540 \cdot 10^{12}$ Hz, la quale ha un'intensità radiante (in quella direzione) di 1/683 watt per steradiante.

TABELLA 1.2 **Prefissi usati per ottenere i sottomultipli e i multipli di una unità di misura**

Prefisso	Valore	Simbolo	Esempi
deci	10^{-1}	d	dm (decimetro); dg (decigrammo)
centi	10^{-2}	c	cm (centimetro); cP (centipoise)
milli	10^{-3}	m	mm (millimetro); mA (milliampère)
micro	10^{-6}	μ	μm (micrometro); μV (microvolt)
nano	10^{-9}	n	nm (nanometro); ns (nanosecondo)
pico	10^{-12}	p	pH (picohenry)
deca	10	D	Dm (decametro)
etto	10^{2}	h	hg (ettogrammo)
chilo	10^{3}	k	kg (chilogrammo); kW (chilowatt)
mega	10^{6}	M	MW (megawatt); MHz (megahertz)
giga	10^{9}	G	GW (gigawatt); GHz (gigahertz)
tera	10^{12}	T	THz (terahertz)

1.3 Analisi dimensionale

Per stabilire il legame esistente fra le grandezze derivate e quelle fondamentali, si usano delle relazioni cui si dà il nome di *equazioni dimensionali*. Esse non sono delle pure relazioni simboliche, ma hanno, al contrario, una notevole importanza pratica, dal momento che consentono sia di definire le unità di misura delle grandezze derivate sia di verificare la correttezza dimensionale di una relazione fra grandezze fisiche.

Cominciamo con l'analisi dimensionale delle due più semplici grandezze derivate: la "superficie" e il "volume". Per indicare che l'area di una superficie S è sempre esprimibile mediante il prodotto di due lunghezze, cioè di due numeri associati alla stessa grandezza fondamentale (l), si usa scrivere

$$[S] = [l^2]$$

In virtù della proprietà per cui un qualsiasi numero reale a diverso da zero, elevato a esponente nullo, dà per risultato 1 ($a^0 = 1$), le due relazioni ora descritte sono del tutto equivalenti. Analogamente, per indicare che un volume V è sempre esprimibile mediante il prodotto di tre lunghezze, scriveremo

$$[V] = [l^3]$$

Le relazioni scritte, in cui i simboli delle grandezze in gioco figurano convenzionamente fra parentesi quadre, ciascuno con un esponente, sono le equazioni dimensionali per la superficie e il volume. Sulla loro base vengono definite le unità di misura delle due grandezze, che nel SI verranno espresse, rispettivamente, in m^2 (metri quadrati) e in m^3 (metri cubi o metri al cubo) e nel sistema CGS in cm^2 (centimetri quadrati) e in cm^3 (centimetri cubi o centimetri al cubo).

Veniamo ora a una grandezza derivata un po' più complessa, la "velocità". Per indicare che una velocità v è esprimibile mediante il rapporto fra una lunghezza (corrispondente al percorso compiuto) ed un intervallo di tempo (quello impiegato a compiere il percorso stesso), si scrive

$$[v] = [l]/[t]$$

ovvero

$$[v] = [l\, t^{-1}]$$

in virtù della proprietà algebrica per cui il reciproco di una potenza $\left(\frac{1}{a^n}\right)$ è pari alla base a elevata all'esponente $-n$. In maniera più articolata, potremo scrivere

$$[v] = [m^0\, l\, t^{-1}]$$

Sulla base dell'equazione dimensionale della velocità vengono definite le unità di misura della grandezza, che nel SI verrà espressa in m/s (metri al secondo), ovvero m s^{-1}, e nel sistema CGS in cm/s (centimetri al secondo), ovvero cm s^{-1}.

Come ultimo esempio, prendiamo in esame la grandezza "densità assoluta". Poiché la densità assoluta ρ di una sostanza definisce il rapporto fra una massa della sostanza ed il volume da essa occupato, è dimensionalmente

$$[\rho] = [m]/[V] = [m]/[l^3] = [m\, l^{-3}]$$

o, equivalentemente,

$$[\rho] = [m\, l^{-3}\, t^0]$$

Di conseguenza, la grandezza considerata verrà espressa nel SI in kg/m^3 (chilogrammi su metro cubo), ovvero kg m^{-3}, e nel sistema CGS in g/cm^3 (grammi su centimetro cubo), ovvero g cm^{-3}.

Quale che sia la grandezza derivata, le dimensioni possono sempre essere scritte come combinazioni semplici di grandezze fondamentali. In particolare, per una grandezza meccanica G, l'equazione dimensionale assume la forma generale

$$[G] = [m^\alpha\, l^\beta\, t^\gamma]$$

ove ciascuno degli esponenti può avere un valore positivo, nullo o negativo. Il fatto che uno o più esponenti risultino nulli significa che *le unità di misura delle corrispondenti grandezze fondamentali non intervengono nella definizione dell'unità di misura della grandezza derivata.*

Può, in particolare, accadere che tutti e tre gli esponenti risultino nulli; si dice allora che la grandezza in esame è *adimensionale*. Questa situazione si verifica quando la grandezza considerata è definita come rapporto fra *grandezze tra loro omogenee*, cioè dello stesso tipo (per esempio, come rapporto fra due lunghezze o fra due masse). In tal caso, evidentemente, *non ha senso parlare di unità di misura della grandezza in questione*, la quale sarà espressa semplicemente da un numero non seguito da indicazione di unità di misura di sorta. La densità relativa, definita come rapporto fra masse occupanti il medesimo volume, è un esempio di grandezza adimensionale.

Abbiamo detto che il ricorso alle equazioni dimensionali si rivela utile anche quando si voglia controllare se una relazione fra grandezze fisiche è formalmente corretta. Infatti, *i due membri di un'equazione corretta devono* *avere la medesima consistenza dimensionale e, se ciò non accade, la relazione è sicuramente sbagliata.* Si può, per esempio, facilmente verificare che è dimensionalmente errata, e quindi non ha alcun senso, l'equazione

$$m = \frac{\rho S l v}{t}$$

che presenta al primo membro una massa ed al secondo membro una densità assoluta, una superficie, una lunghezza, una velocità ed un intervallo di tempo. Infatti, mentre il primo membro ha dimensioni $[m\, l^0\, t^0]$, il secondo membro ha dimensioni

$$\left[\frac{\rho S l v}{t}\right] = \left[m\, l^{-3}\right]\left[l^2\right]\left[l\right]\left[l\, t^{-1}\right]\left[t^{-1}\right] = \left[m\, l\, t^{-2}\right]$$

Per giungere alle dimensioni $[m\, l\, t^{-2}]$ della quantità che figura al secondo membro della relazione ora considerata, ci siamo serviti della proprietà algebrica per cui *il prodotto di due o più potenze aventi la stessa base ed esponenti che siano numeri interi positivi o negativi è eguale ad una potenza che ha la stessa base e per esponente la somma algebrica degli esponenti.* Ad esempio,

$$a^n\, a^{-m}\, a^{-p}\, a^q = a^{(n+q-m-p)}$$

1.4 Misurazione degli angoli. Il radiante

Per poter definire correttamente un angolo, dobbiamo tener conto del fatto che, essendo già state scelte le grandezze fondamentali, l'angolo non può che essere una grandezza derivata; come tale, esso va definito in funzione di qualcuna delle grandezze fondamentali. Vedremo subito che un angolo piano può essere espresso come rapporto fra due lunghezze.

Consideriamo due semirette a e b uscenti da uno stesso punto O e, nel piano che le contiene, tracciamo una serie di circonferenze aventi il centro in O (**fig. 1.1**). Misuriamo le lunghezze s', s'', s''', ... degli archi individuati dalle semirette sulle circonferenze concentriche e le lunghezze R', R'', R''', ... dei raggi delle circonferenze corrispondenti, quindi calcoliamo i rapporti s'/R', s''/R'', s'''/R''', ...; constateremo che tali rapporti sono fra loro eguali, cioè che il rapporto s/R dipende solo dalla «spaziatura» fra le semirette considerate. *Definiremo allora «angolo compreso fra due semirette» il rapporto fra la lunghezza s dell'arco intercettato dalle semirette su di una qualsiasi circonferenza avente il centro nel loro punto d'incontro ed il raggio R della circonferenza stessa*:

$$\alpha = \frac{s}{R} \tag{1.1}$$

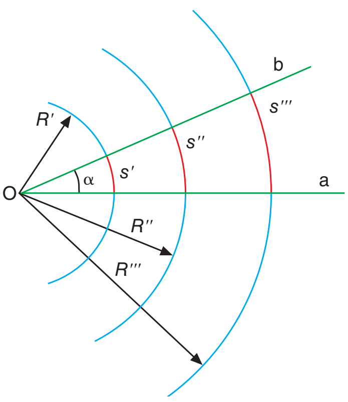

Figura 1.1 L'arco di circonferenza sotteso da un angolo è proporzionale al raggio. Ciò comporta che il rapporto s/R dipende solo da tale angolo.

La grandezza così definita è *adimensionale*, in quanto rapporto fra due lunghezze. Pertanto, conformemente a quanto è stato detto nel paragrafo 1.3, il valore di un angolo dovrebbe essere espresso solo da un numero non seguito dall'indicazione di unità di misura. In pratica, tuttavia, si preferisce dire che, quando un angolo è definito dalla (1.1), esso è misurato in *radianti*. È facile verificare, sulla base della definizione data, che il valore in radianti dell'angolo retto è $\pi/2$, essendo π il numero 3,1415... Consideriamo, infatti, due semirette a e b uscenti dal punto O e perpendicolari fra loro: l'angolo α fra le due semirette è un angolo retto

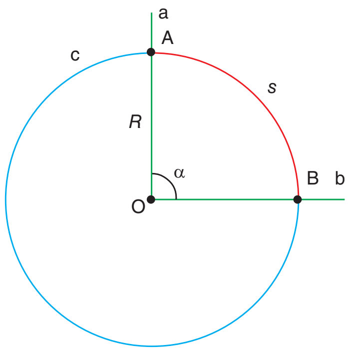

Figura 1.2 L'arco di circonferenza sotteso da un angolo retto è pari ad un quarto della circonferenza. In base alla definizione (1.1), il valore dell'angolo è $\pi/2$.

(fig. 1.2). Sia c una circonferenza con il centro in O; sulla base della definizione (1.1), l'angolo α è pari al rapporto fra la lunghezza s dell'arco $\overline{AB}$ della circonferenza c intercettato dalle semirette e la lunghezza $R = \overline{OA}$ del raggio della circonferenza stessa. D'altra parte, la lunghezza s dell'arco AB, come è ben evidente dalla figura, è la quarta parte della lunghezza $2\pi R$ dell'intera circonferenza, dunque è $s = 2\pi R/4 = \pi R/2$. In conformità con la (1.1), è allora

$$\alpha = \frac{s}{R} = \frac{\frac{\pi R}{2}}{R} = \frac{\pi}{2}$$

Con analogo criterio, si può verificare che i valori in radianti dell'angolo piatto e dell'angolo giro sono, rispettivamente, π e 2π.

È ben nota un'altra unità di misura per gli angoli, il *grado sessagesimale* (simbolo: °), definito come la novantesima parte dell'angolo retto. Nelle relazioni fra grandezze fisiche, però, gli angoli non possono essere espressi in gradi o in altre unità, come il primo e il secondo, definite con criteri di assoluta arbitrarietà e di indipendenza da ogni altra grandezza, perché, se così si facesse, si attribuirebbe implicitamente all'angolo il significato di grandezza fondamentale. *Nelle relazioni fra grandezze fisiche, gli angoli vanno dunque espressi in radianti.*

Il rapporto fra il valore $\alpha°$ di un angolo in gradi sessagesimali e il valore α dello stesso angolo in radianti è eguale al rapporto fra i valori in gradi e in radianti di un angolo tipico (angolo giro, angolo piatto, angolo retto). In particolare, un angolo piatto è uguale a 180° e a π radianti, quindi

$$\frac{180}{\pi} = \frac{\alpha°}{\alpha}$$

da cui

$$\alpha = \frac{\pi}{180}\alpha° \tag{1.2}$$

$$\alpha° = \frac{180}{\pi}\alpha \tag{1.3}$$

Se si sostituisce a $\alpha°$ il valore di un angolo in gradi sessagesimali, la (1.2) consente di calcolare il corrispondente valore dell'angolo in radianti, cioè di effettuare *la conversione dai gradi sessagesimali ai radianti.*

ESEMPIO 1.1 Calcolare il valore dell'angolo di 45° in radianti.

$$\alpha = \frac{3{,}141 \cdot 45}{180} \text{ rad} = 0{,}7853 \text{ rad}$$

ESEMPIO 1.2 Convertire 1,047 rad in gradi sessagesimali.

Usando la (1.3), per $\alpha = 1{,}047$ rad, abbiamo

$$\alpha° = \frac{1{,}047 \cdot 180°}{3{,}141} = 60°$$

da cui ricaviamo che 1 rad corrisponde a circa 60°.

1.5 Uso delle potenze positive e negative di 10. Notazione scientifica

Ricordiamo che, per la definizione di potenza, si ha

$$100 = 10 \cdot 10 = 10^2; \quad 1000 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3;$$
$$10.000 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^4\,; \ldots$$

Pertanto, *un numero costituito dall'unità seguita da n zeri è uguale ad una potenza avente per base 10 e per esponente n.*

Si ha, analogamente,

$$\frac{1}{100} = \frac{1}{10^2} = 10^{-2}; \qquad \frac{1}{1000} = \frac{1}{10^3} = 10^{-3}; \ldots$$

cioè *il reciproco di un numero costituito dall'unità seguita da n zeri è eguale a una potenza avente per base 10 e per esponente −n.*

Dalle proprietà ora richiamate consegue che *qualsiasi numero, intero o decimale, può essere espresso mediante una potenza positiva o negativa di 10.* Per esempio, poiché il numero 7562 è uguale a 7,562 moltiplicato per 1000, cioè per 10^3, potremo scrivere

$$7562 = 7{,}562 \cdot 10^3$$

Analogamente,

$$863.500 = 8{,}635 \cdot 10^5$$

Consideriamo ora il numero 0,000943. Poiché esso si ottiene dividendo 943 per 1.000.000, cioè per 10^6, avremo

$$0{,}000943 = \frac{943}{10^6} = 943 \cdot 10^{-6}$$

Ma, a sua volta, 943 è uguale a $9{,}43 \cdot 10^2$, quindi

$$0{,}000943 = 9{,}43 \cdot 10^2 \cdot 10^{-6}$$

Di qui, utilizzando la proprietà algebrica richiamata alla fine del paragrafo 1.3, avremo in definitiva

$$0{,}000943 \;=\; 9{,}43 \cdot 10^{-4}$$

La *notazione scientifica*, consistente nell'esprimere numeri interi o decimali mediante potenze positive o negative di 10, è in molti casi vantaggiosa. Essa è particolarmente utile nei seguenti casi.

(a) *Quando si vogliano esprimere numeri molto grandi o molto piccoli.*

Per esempio, invece di scrivere 816.000 o 0,000732, converrà usare una forma più concisa e significativa, scrivendo $8{,}16 \cdot 10^5$ e $7{,}32 \cdot 10^{-4}$, rispettivamente.

(b) *Quando si vogliano confrontare numeri di ordini di grandezza molto diversi.*

Per esempio, se vogliamo comparare i numeri 6.870.000, 35.100, 22,5 e 0,00319, converrà, ricorrendo alla notazione esponenziale, metterli sotto forma omogenea scrivendo, rispettivamente, $6{,}87 \cdot 10^6$, $3{,}51 \cdot 10^4$, $2{,}25 \cdot 10$ e $3{,}19 \cdot 10^{-3}$; si potrà così immediatamente stabilire che il primo dei quattro numeri è di un ordine di grandezza 10^2 volte maggiore del secondo, 10^5 volte maggiore del terzo e 10^9 volte maggiore del quarto.

(c) *Quando si debba operare su numeri molto grandi o piuttosto piccoli.*

Supponiamo che si debba moltiplicare 4750 per 0,000268 e dividere il risultato per 350.000; facendo ricorso alle potenze di 10, si procederà nel seguente modo:

$$\frac{4750 \cdot 0{,}000268}{350.000} = \frac{4{,}75 \cdot 103 \cdot 2{,}68 \cdot 10^{-4}}{3{,}50 \cdot 10^5} = \frac{4{,}75 \cdot 2{,}68 \cdot 10^{-1}}{3{,}50 \cdot 10^5} =$$

$$= \frac{4{,}75 \cdot 2{,}68 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-5}}{3{,}50} = \frac{4{,}75 \cdot 2{,}68}{3{,}50} \cdot 10^{-6}$$

Il calcolo vero e proprio consisterà, dunque, nel moltiplicare fra loro i numeri 4,75 e 2,68 e nel dividere il risultato per 3,50: i numeri da impostare nel calcolatore sono di poche cifre e più facilmente controllabili. Il procedimento seguito riduce di molto la possibilità di commettere errori grossolani e consente una più agevole verifica dei calcoli eseguiti.

(d) *Quando il risultato di operazioni eseguite sia un numero con molte cifre.*

C'è qui da fare un discorso chiarificatore. I valori delle grandezze fisiche vengono generalmente forniti con non più di 3 o 4 cifre significative, ammettendosi così, implicitamente, che essi sono stati ottenuti con metodi sperimentali che non consentono un'approssimazione migliore. In questi casi, pertanto, *è privo di significato riportare il risultato di calcoli eseguiti su tali dati con un numero maggiore di cifre significative.* Occorrerà invece «tagliare» le cifre dopo la terza o la quarta approssimando, a seconda dei casi, per difetto o per eccesso; per fare questo, è quasi sempre necessario il ricorso alle potenze di 10.

Facciamo un esempio. Supponiamo che si richieda il calcolo dell'energia cinetica di un corpo, di massa $m = 40{,}5$ kg, che si muova con velocità $v = 22{,}7$ m/s. Tenendo conto della definizione di energia cinetica (semiprodotto della massa per il quadrato della velocità) e del fatto che, coerentemente con le unità di misura fornite per la massa e per la velocità (unità del SI), l'energia cinetica andrà espressa in joule (J), scriveremo

$$\frac{1}{2}mv^2 = 0{,}5 \cdot 40{,}5 \cdot (22{,}7)^2 \text{ J}$$

Il risultato delle operazioni indicate al secondo membro è 10.434,622, ma dire che il corpo ha un'energia cinetica di 10.434,622 J è, per quel che è stato detto, del tutto privo di significato. Dal momento che i dati (massa del corpo e velocità) sono forniti con tre cifre significative, approssimeremo alla terza cifra significativa il risultato del calcolo; ed essendo la terza cifra significativa (4) seguita dal 3, numero inferiore a 5, converrà approssimare per difetto, il che equivale a considerare, ai fini della notazione scientifica, il numero 10.400 come risultato del calcolo. Scriveremo quindi

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1{,}04 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Se il risultato del calcolo fosse stato 10.485, …, avremmo approssimato per eccesso, scrivendo

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1{,}05 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Domande di verifica

1 Quali sono le grandezze fondamentali del SI che tipicamente si usano per lo studio della meccanica?

2 Fare un esempio di grandezza adimensionale.

3 Per l'area di un cerchio di raggio R vengono fornite due risposte: a) πR^3 e b) $2\pi R^2$. Sono entrambe sbagliate, ma una delle due contiene un errore più grave. Qual è? Motivare la risposta.

4 Facendo l'analisi dimensionale di una certa espressione, si ottiene $[l^1\ m^0\ t^{-1}]$. Di quale grandezza si tratta?

5 Scrivere i numeri 0,0015 e 15.000 in potenze di 10.

ESERCIZI

(*In appendice è riportata la soluzione esplicita degli esercizi contrassegnati con un asterisco*).

1.1 Le dimensioni di un oggetto, a forma di parallelepipedo retto, sono a = 2,00 cm, b = 3,50 cm e c = 6,50 cm. Calcolare il volume dell'oggetto. (R.: 45,5 cm^3).

1.2 Calcolare: (a) la lunghezza della circonferenza di un cerchio di raggio R = 3,51 cm; (b) l'area di un cerchio di raggio R' = 4,65 cm. [R.: (a) 22 cm; (b) 68 cm^2].

1.3 Calcolare la superficie e il volume di una sfera di raggio R = 5,00 cm. (R.: 314 cm^2; 524 cm^3).

1.4 Due sfere hanno l'una raggio R = 5,0 cm, l'altra raggio R' = 10 cm; qual è il rapporto fra il volume della seconda sfera e il volume della prima? (R.: 8).

1.5 Il rapporto fra la superficie del lago di Garda e quella del lago di Como è 2,53. Dal momento che il primo ha una superficie di 370 km^2, qual è la superficie in km^2 del lago di Como? (R.: 146 km^2).

***1.6** Una pallina da ping-pong ha diametro D = 3,75 cm e massa m = 2,50 g. (a) Qual è il numero massimo di palline che possono essere distribuite, senza che vengano deformate, su di una superficie rettangolare di dimensioni a = 37,5 cm e b = 52,5 cm? (b) Qual è la massa complessiva di tale numero di palline? [R.: (a) 140; (b) 350 g].

1.7 Esprimere in m^3 il volume dell'oggetto dell'Esercizio 1.1. (R.: 4,55 · 10^{-5} m^3).

***1.8** Una cellula sferica ha diametro D = 20 μm (micrometri). Qual è il volume della cellula in cm^3? (R.: 4,19 · 10^{-9} cm^3).

***1.9** Calcolare il volume in litri di un contenitore sferico di diametro D = 30 cm. (R.: 14,1 litri).

1.10 Eseguire le seguenti conversioni di unità di misura [1 litro = 10^3 cm^3 e 1 Å (ångström) = 10^{-10} m]:
2 · 10^{-1} nm = ……… cm = ……… m;
4,81 km = ……… m = ……… cm;
8,0 μm = ……… nm = ……… Å;
1,20 · 10^3 m^2 = ……… cm^2;
9,67 · 10^4 cm^3 = ……… m^3;
9,33 litri = ……… m^3;
5,65 · 10^3 dm^3 = …… cm^3 = …… m^3 = …… litri.

1.11 Il raggio terrestre è di 6400 km. Sapendo che 1 miglio terrestre (o miglio inglese) è eguale a 1609 m, calcolare la lunghezza dell'equatore terrestre in km, in m e in miglia. (R.: 4 · 10^4 km; 4 · 10^7 m; 10^4 mi).

1.12 Un gallone, unità di misura anglosassone di volume, è eguale a 231 pollici cubi, essendo il pollice, unità di misura lineare, anch'essa anglosassone, eguale a 2,54 cm. Poiché è 1 litro = 1000 cm^3, a quanti litri equivale un gallone? (R.: a 3,79 litri).

1.13 Una membrana cellulare ha lo spessore di 75 ångström (Å), essendo 1 Å = 10^{-10} m. Qual è lo spessore della membrana espresso in centimetri? (R.: $7 \cdot 10^{-11}$ cm).

1.14 Una grossa botte ha una capacità di 1,25 m^3 ed è riempita per 2/3 di vino. Quante bottiglie da 1 litro si possono riempire con il vino contenuto nella botte? (R.: 833).

***1.15** Una piscina parallelepipedica, lunga 25 m e larga 10 m, contiene acqua sino all'altezza di 2 m. Se l'acqua si fa defluire in ragione di 80 litri al secondo, in quanto tempo (ore e minuti) si vuoterà la piscina? (R.: 1 ora e 44 minuti).

1.16 Una massaia intende fare un piccolo bucato a mano e, a tal fine, ha riempito per 2/5 una vasca parallelepipedica di dimensioni 70 cm, 40 cm e 50 cm. (a) Quanti litri di acqua sono stati versati nella vasca? (b) Se il rubinetto ha erogato 16 litri al minuto, quanto tempo è occorso per raccogliere questa quantità d'acqua? [R.: (a) 56 litri; (b) 210 s].

***1.17** Per far fronte alle frequenti interruzioni nell'erogazione dell'acqua, una persona ha deciso di farne una scorta, riempiendo sino all'orlo una vasca cilindrica il cui diametro interno è di 50 cm e la cui altezza è di 70 cm. (a) Quanti litri di acqua potrà mettere da parte in questo modo? (b) La persona sa che alle ore 13 ci sarà di nuovo una sospensione nell'erogazione; se il rubinetto può fornire al massimo 2,3 litri d'acqua al minuto, a che ora, al più tardi, dovrà iniziare l'operazione di riempimento affinché possa condurla a termine prima dell'interruzione? [R.: (a) 137 litri; (b) alle 12].

1.18 Esprimere i seguenti numeri con notazione scientifica, cioè facendo uso delle potenze positive e negative di 10.
15.800;
10.300.000;
0,083;
0,0000562;
5730;
9.105.000.000;
0,00000938.

1.19 Eseguire le operazioni seguenti dopo aver espresso ciascun numero con notazione esponenziale ricorrendo, a seconda dei casi, a una potenza positiva o negativa di 10. Fornire il risultato con 3 cifre significative, approssimando per eccesso o per difetto.

$465.000 \cdot 973 = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$0{,}00382 \cdot 46.200 = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$0{,}0102 \cdot 0{,}00365 \cdot 0{,}478 = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$\dfrac{53.700}{1110} = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$\dfrac{895}{0{,}003} = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$\dfrac{433.000 \cdot 0{,}0768}{123} = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$(0{,}00985)^2 = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$(0{,}000621)^5 = \ldots\ldots\ldots\ldots;$

$\dfrac{(325)^2 \cdot 0{,}063 \cdot (0{,}00024)^3}{23{,}7 \cdot 9680} = \ldots\ldots\ldots\ldots$

1.20 La «stazza» di una nave da trasporto è il volume complessivo degli spazi chiusi, utilizzabili per il carico delle merci, per i passeggeri e per l'equipaggio; viene espressa in un'unità chiamata «tonnellata di stazza», pari a 100 piedi cubici, essendo il piede cubico, unità di misura anglosassone, eguale a 28,3 dm^3. Qual è il volume utile, in m^3, di un mercantile di 10.600 tonnellate di stazza? Fornire il risultato con notazione esponenziale. (R.: $3{,}0 \cdot 10^4$ m^3).

***1.21** In condizioni normali, il cuore umano pompa il sangue con una portata di circa $8{,}5 \cdot 10^{-2}$ litri al secondo (litri/s). Esprimere la stessa portata in centimetri cubi al secondo (cm^3/s) e in metri cubi all'ora (m^3/h). (R.: 85 cm^3/s e 0,306 m^3/h).

1.22 (a) Calcolare il numero di secondi in un anno. (b) Se si riuscisse a contare una banconota al secondo, quanto tempo occorrerebbe per contare un milione di euro in banconote da 10? [R.: (a) $3{,}15 \cdot 10^7$ s; (b) 27 ore e 47 minuti].

1.23 Assumendo che la frequenza delle pulsazioni cardiache sia di 75 al minuto, stimare il numero totale di pulsazioni in una vita media di 70 anni. Esprimere il risultato con notazione esponenziale. (R.: $2{,}76 \cdot 10^9$).

1.24 Un obelisco proietta sul suolo un'ombra di lunghezza l = 14 m. Nello stesso momento e nello stesso luogo, un'asta verticale, di altezza $h' = 2{,}0$ m, proietta sul suolo un'ombra di lunghezza l' = 70 cm. Quanto è alto l'obelisco? (R.: 40 m).

***1.25** Il genere umano esiste da circa 10^6 anni, mentre l'età dell'Universo è di circa 10^{10} anni. Se si pone eguale a 1 giorno l'età dell'Universo, da quanto tempo esiste il genere umano? (R.: da 8,6 s).

1.26 Una strada presenta una curva circolare di raggio 50 m; l'angolo che sottende la curva è di 75°. Quanto è lunga la curva? (R.: 65 m).

1.27 Un osservatore terrestre vede il disco lunare sotto un angolo di 0,524°. (a) Esprimere tale angolo in radianti. (b) Sapendo che la distanza della Luna dalla Terra è di $3{,}84 \cdot 10^5$ km, calcolare il diametro lunare in km. [R.: (a) $9{,}1 \cdot 10^{-3}$ rad; (b) 3500 km].

1.28 Un disco fonografico LP ruota compiendo 33,3 giri al minuto. Calcolare l'angolo, in radianti e in gradi sessagesimali, di cui il disco ruota in 1 s. (R.: 3,5 rad; 200°).

***1.29** Si assume che un eritrocita abbia forma sferica e che un batterio abbia la forma di un cilindro retto. Se un eritrocita ha diametro D = 8 μm e un batterio diametro D' = 10^{-3} mm e lunghezza $l = 2 \cdot 10^{-4}$ cm, calcolare il rapporto fra il volume dell'eritrocita e quello del batterio. (R.: 171).

Principi di Fisica

basato su *Principi di Fisica*
di Ezio Ragozzino

Accedi all'**ebook** e ai **contenuti digitali** › **Espandi** le tue risorse › con un libro che **non pesa** e si **adatta** alle dimensioni del tuo **lettore**

All'interno del volume il **codice personale** e le istruzioni per accedere alla versione **ebook** del testo e agli ulteriori servizi.
L'accesso alle risorse digitali è **gratuito** ma limitato a **18 mesi dalla attivazione del servizio**.

EdiSES università

ISBN 978-88-3623-219-2