Erik Viotti

LA FISICA IN TASCA 1

versione 2013.09

INTRODUZIONE

In questi appunti troverete le nozioni di base di un corso di fisica della scuola superiore. La suddivisione degli argomenti è pensata per un biennio di Istituto Tecnico Industriale, ma vi assicuro che la fisica che si impara nelle altre scuole è la stessa. Per cui, qualsiasi studente è libero di farsi aiutare da queste pagine.

Le leggi fisiche che incontrerete, a volte, saranno un po' strane. Molti di voi non sono ancora abituati a ragionare in questo modo. Ma pensate a questo: in realtà sapete già moltissime nozioni di fisica, fin da quando non sapevate neppure parlare. Avete imparato a lanciare un oggetto valutando il suo moto parabolico, tenendo conto della forza di gravità e della forza di attrito dell'aria. Avete imparato a camminare, cosa che prevede la padronanza di un equilibrio instabile. Avete giocato al parco giochi, dove avete conosciuto la leva, il piano inclinato e il moto circolare uniforme. Avete scoperto l'elasticità e la plasticità dei diversi materiali con cui avete giocato.

Adesso rimane solo da imparare a dare il nome giusto a tutte queste cose, e imparare a risolvere problemi reali.
Quando vi trovate in difficoltà di fronte ad una formula o a dei numeri, non dimenticate che la fisica è una cosa

vera, basta guardarsi intorno. Provate, sperimentate, fate cadere e scivolare e ruotare le cose. E vedrete che i problemi diventeranno più semplici da risolvere.

Siate sempre curiosi,
e non date mai nulla per scontato.

Nota: queste pagine sono sicuramente piene di errori ortografici, di calcolo e di concetto. Scusatemi. Se ne vedete uno segnalatemelo subito ed esso sparirà nella versione successiva!

LA MATEMATICA PER LA FISICA

Cominciare un corso di fisica parlando di matematica è un vero e proprio colpo basso. Ma come, finalmente qualcosa di interessante, pratico, utile, curioso... e cominciamo con l'odiosa matematica?
Il vero problema non è la matematica, ma il fastidio che molti di voi provano nel studiarla. Prendetela così, almeno in questo libro: se volete diventare bravi meccanici dovete prima saper tenere in mano una chiave inglese e un cacciavite. Per giocare con la fisica non possiamo usare solo l'intuito, ci vogliono alcuni **strumenti indispensabili** che ci vengono regalati dalla matematica. In più, proprio applicandola alle cose "reali" si impara che la matematica non è una cosa così terribile.
Chiarito che non ne possiamo proprio fare a meno, vediamo gli attrezzi del mestiere.

LE POTENZE DI DIECI

Il concetto matematico di potenza prevede due numeri: una base ed un esponente. Scrivere una potenza significa rappresentare in modo riassuntivo un calcolo che può essere molto lungo: infatti significa semplicemente moltiplicare "b" per sé stesso "e" volte. Per esempio, 34 significa 3·3·3·3 = 81. Un tipo interessante di potenza è quella con esponente negativo: che cosa vuol dire moltiplicare un numero per sé stesso per esempio -4 volte? E' meglio pensare al concetto di “inverso”, e scoprire che come ¼ è l'inverso di 4...

$$b^{-e}=\frac{1}{b^e}$$

Una potenza di dieci ha come base il numero 10, ed è per noi piuttosto importante perché il 10 è proprio il numero su cui si basa il nostro sistema di numerazione. Grazie a questo fatto, moltiplicare per 10 significa semplicemente **spostare la virgola di un posto verso destra**. Di conseguenza, moltiplicare per 10^n significa spostare la virgola a destra di n posti. Naturalmente, se l'esponente della potenza di dieci è negativo, la virgola va spostata a sinistra.

Ricordate che nei numeri interi la virgola c'è ma non si vede, si trova a destra della cifra delle unità. Infatti nel display delle calcolatrici spesso si nota la virgola alla fine dei numeri interi.

A proposito di calcolatrice, attenzione ad una cosa: alcuni modelli utilizzano la virgola come separatore delle migliaia: 450,785.
Questo ovviamente crea una certa confusione, perché il numero può essere letto erroneamente come 450 *virgola* 785.
Attenzione però il fatto che al fondo del numero ci sia un punto significa che esso è intero, e quindi va letto 450*mila* 785.
Una cosa è certa: se state facendo calcoli usando la testa, vi rendete subito conto dell'errore.

LA NOTAZIONE SCIENTIFICA

Le potenze di dieci sono utilizzate soprattutto per poter scrivere dei numeri enormi oppure minuscoli senza impazzire. Guardate questo numero, per esempio: 9460800000000000. E' il numero di metri che la luce percorre in un anno, ossia è quella distanza che viene chiamata “anno-luce”. Riuscite a leggerla? Riuscirete a ricordarla? La userete nei calcoli senza sbagliare? Mmm.

Grazie ad un furbo metodo di scrittura, la **notazione scientifica**, quel numero gigantesco può essere reso più leggibile. Basta esprimere la stessa quantità con un numero più piccolo moltiplicato per una potenza di dieci. In questo caso un anno luce corrisponde a $9{,}4608 \cdot 10^{15}$ metri. Avete capito che cosa ho fatto? Ho spostato la virgola a sinistra per rimpicciolire il numero (come quando ci si allontana da un oggetto molto grande per vederlo meglio), poi però ho scritto la potenza di dieci per non cambiare il valore reale del numero. 15 è proprio il numero di salti che ho fatto fare alla virgola, ed è il numero di salti che dovrebbe fare verso destra per “ricostruire” il numero originale.

Ma perché ho scritto proprio $9{,}4608 \cdot 10^{15}$ e non, per esempio, $94{,}608 \cdot 10^{14}$? Il valore non cambierebbe. Il fatto è che per definizione la notazione scientifica vuole un numero che sia compreso **tra 1 e 10**, 10 escluso; il che vuol dire che bisogna spostare la virgola fino a che non rimane solo una cifra ala sua sinistra.

Per scrivere dei numeri molto piccoli la notazione scientifica utilizza gli esponenti negativi (infatti per tornare alla posizione corretta la virgola dovrebbe spostarsi verso sinistra). Per esempio, la massa di un neutrone vale circa $1{,}675 \cdot 10^{-27}$ kg. Vi interessa vedere il numero per esteso? Eccolo:

0,000000000000000000000000001675.

Meglio imparare ad usare la notazione scientifica, che ne dite?

ARROTONDARE UN NUMERO

I numeri possono essere complicati da leggere e da scrivere non solo perché rappresentano valori molto grandi o molto piccoli, ma anche perché hanno moltissime cifre dopo la virgola. Per capirci usiamo un numero “magico” il pi greco (π), che è il rapporto tra la circonferenza e il diametro di un cerchio. Questo numero deriva da una figura geometrica abbastanza semplice e di sicuro regolare, eppure nessuno ancora sa quanto vale con precisione; questo perché non si riesce ad arrivare alla fine delle sue cifre decimali, che tra l'altro non sono neppure periodiche. 500 anni fa si conoscevano 9 cifre decimali, oggi ne conosciamo circa 40 mila miliardi. Qui vi scrivo i primi 100 (dato che per scrivere un numero con 40 mila miliardi di cifre servirebbero almeno 50 milioni di libri da 500 pagine ciascuno...):

3,14159265358979323846264338327950288419
7169399375105820974944592307816406286
208998628034825342117067 9...

Ovviamente nei nostri calcoli geometrici noi dobbiamo tenere in considerazione quanto vogliamo essere precisi. Se dobbiamo progettare un pezzo importante di un aereo utilizzeremo molti decimali, se dobbiamo calcolare il volume di acqua in una pentola per la pasta ne usiamo anche solo un paio.

Per utilizzare solo una parte di un numero con molti decimali si fa una operazione chiamata **arrotondamento**. Consiste semplicemente nel cancellare le cifre decimali che non vogliamo, usando però un trucco che permette di non modificare troppo il valore del numero: se la prima cifra cancellata è uguale o maggiore di 5, allora la cifra a sinistra (l'ultima “sopravvissuta”) viene aumentata di uno. Perché si fa così? Pensate a questo: se una persona è alta un metro, 73 centimetri e 8 millimetri, è più giusto dire che è alta uno e 73 oppure uno e 74?

Arrotondando un numero in realtà si sbaglia sempre, perché si usa un numero meno preciso. L'importante è conoscere questa imprecisione e fare in modo che non dia troppo fastidio ai nostri risultati.

Vi arrotondo pi greco con diverse quantità di decimali, e vedrete come funziona:

3,14159265358979 3...	(2 cifre)	3,14
3,141592653589793...	(3 cifre)	3,14**2**
3,141592653589793...	(4 cifre)	3,141**6**
3,141592653589793...	(5 cifre)	3,14159
3,141592653589793...	(6 cifre)	3,14159**3**
3,141592653589793...	(7 cifre)	3,141592**7**
3,141592653589793...	(8 cifre)	3,14159265

LE GRANDEZZE PROPORZIONALI

Cominciando a compiere le prime misurazioni fisiche, dopo poco tempo vi accorgerete che alcune di queste misure sono in qualche modo “imparentate” tra di loro. Per adesso cerchiamo di capire queste parentele con le cose che sappiamo; usiamo la geometria.
Se un problema vi chiede di calcolare il perimetro di una stanza quadrata fornendovi come dato il suo lato, non avrete problemi a risolverlo: il perimetro di un quadrato si calcola moltiplicando il lato per 4. Osserviamo alcuni numeri: con un lato di 3 metri abbiamo un perimetro pari a $3 \cdot 4 = 12$ metri, con un lato di 6 metri il perimetro diventa 24 metri, mentre se il lato misura 1,5 metri il perimetro risulta 6 metri.
Vedete? Il perimetro è un valore che si calcola a partire dal lato (ma potremmo anche fare il calcolo inverso, dividendo il perimetro per 4). A 3 metri di lato corrispondono 12 metri di perimetro, e se il lato aumenta, aumenterà anche il perimetro. Nel terzo caso il lato è diminuito e così ha fatto naturalmente anche il perimetro. Più precisamente, quando il lato è raddoppiato il perimetro è raddoppiato, quando il lato si è dimezzato il perimetro si è dimezzato. In questo caso si dice che il lato ed il perimetro di un quadrato sono due grandezze **direttamente proporzionali**. Si può dire che due grandezze hanno un rapporto di proporzionalità diretta quando **il loro**

rapporto è costante; nel caso del quadrato questo rapporto vale 4, e sarà costante per quadrati di qualsiasi dimensione. Un altro esempio può essere rappresentato dal prezzo pagato ad un banco del mercato e il numero di chilogrammi di mele comprati; il rapporto costante qui è il prezzo al chilogrammo delle mele.

Un altro genere di “parentela” si ha quando raddoppiando una grandezza l'altra si dimezza, e viceversa. E' il caso di un rettangolo in cui vogliamo che l'area rimanga costante: modificando uno dei lati siamo costretti a modificare anche l'altro. Se per esempio vogliamo un tappeto che misuri 12 metri quadrati, lo possiamo fare con i lati da 3 e 4 metri, oppure da 2 e 6 metri, oppure ancora da 1,5 e 8 metri. Dato che dimezzando un valore l'altro raddoppia, si dice che i due valori sono **inversamente proporzionali**. La proporzionalità inversa fa in modo che **il prodotto rimane costante**; nel caso del nostro tappeto il prodotto è proprio l'area che vogliamo costante. Altro esempio: ho 20 euro in tasca, e le voglio spendere tutti in libri; posso comprare 4 libri da 5 euro ciascuno, oppure ne posso comprare 2 da 10 euro, oppure ancora ne posso avere solo uno da 20 euro. Il prezzo dei libri e il numero di libri che posso comprare sono tra loro inversamente proporzionali.

Infine cerchiamo di capire che cosa lega il lato del nostro quadrato di prima con la sua area. Dunque, l'area del quadrato si calcola moltiplicando il lato per sé stesso, cioè facendo l^2. Quindi, in una stanza quadrata il cui lato misura 3 metri, la superficie del pavimento sarà di $3^2 = 9$ metri quadrati. Aumentando il lato, naturalmente aumenterà anche l'area; ma di quanto? Proviamo: con un lato di 6 metri, la superficie diventa $6^2 = 36$ metri, il che vuol dire che raddoppiando il lato l'area aumenta di 4 volte. Se aumentassimo il lato di 3 volte (9 metri) l'area crescerebbe di 9 volte ($9^2 = 81$ metri quadrati). Questo significa che le due grandezze sono **quadraticamente proporzionali**. In fisica incontrerete piuttosto spesso questo tipo di proporzionalità.

I GRAFICI

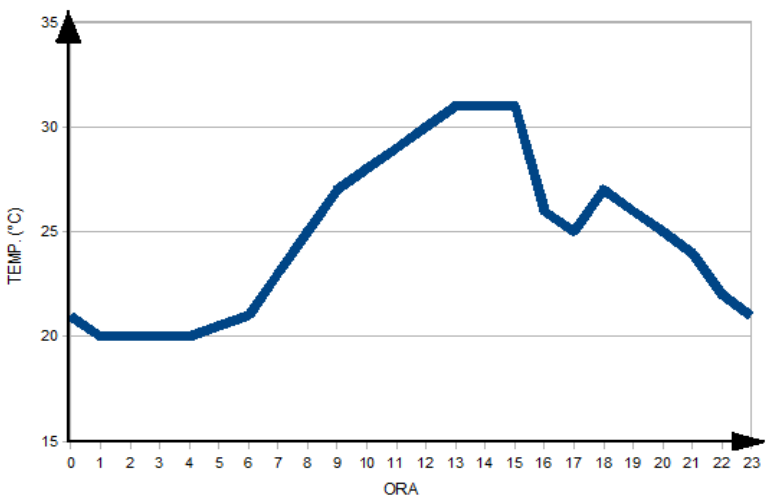
Disegnare un grafico significa rappresentare dei numeri con un disegno. Perché bisogna farlo? I numeri non sono abbastanza precisi? Certo che sono precisi, anzi spesso lo sono molto di più di un grafico. Ma con una breve occhiata ad un grafico ben fatto si possono capire molte più cose. (Non ditelo a nessuno, ma i numeri non esistono... Esistono solo le cose reali rappresentate dai numeri.)

Facciamo subito un bell'esempio, dal quale potremo capire come si fa un grafico corretto.

In un giorno d'estate, ci mettiamo a scrivere ad ogni ora del giorno la temperatura dell'aria, così per curiosità. Peccato però che ogni tanto ce ne dimentichiamo, e quando segniamo la temperatura lo facciamo un po' dove capita. Alla fine risulta una tabella piuttosto disordinata (ma i numeri sono molto precisi).

ORA	TEMP.	ORA	TEMP.	ORA	TEMP.
9	27	0	21	17	25
13	31	7	23	11	29
1	20	10	28	21	24
8	25	6	21	16	26
18	27	14	31	23	21
3	20	15	31	22	22
12	30	4	20		

Ecco, i dati ci sono. Eppure non riusciamo a leggerli nel loro insieme ed è difficile interpretarli, per cui decidiamo di disegnare un grafico per capirci qualcosa:



Molto meglio, vero? Adesso possiamo notare alcune cose, come il fatto che la giornata è stata sicuramente assolata (la

temperatura è salita velocemente appena è spuntato il sole), e possiamo anche pensare che nel primo pomeriggio ci sia stato un temporale che ha poi lasciato il posto al ritorno del sole fino al tramonto. Si vede con un semplice colpo d'occhio quale sia stata la temperatura massima e in quali ore sia stata raggiunta.
Bene, credo che abbiate capito l'utilità dei grafici. Adesso tenete d'occhio la figura precedente in modo da capire le regole che vi sto per spiegare.
Innanzitutto osserviamo gli assi cartesiani. Abbiamo utilizzato il primo quadrante del piano cartesiano, quello in cui sia l'asse x (**ascisse**) che l'asse y (**ordinate**) hanno segno positivo. Questo perché, in effetti, sia le ore e sia le temperature della nostra tabella sono maggiori di zero. Poi attenzione a dare il nome corretto ai due assi: come vedete l'asse x si chiama "ORE", mentre l'asse y si chiama "TEMP. (°C)". Tra parentesi va sempre indicata l'unità di misura utilizzata. Avremmo potuto invertire gli assi, ma normalmente il tempo si mette sulle ascisse; in generale vedremo che sulle ordinate vanno messe le "variabili dipendenti" (non preoccupatevi, capirete tutto tra un po' di pagine).
Veniamo adesso alla parte più importante: impostare una giusta "scala" dei valori. Osserviamo il grafico, in particolare l'asse del tempo: non solo le ore sono state ordinate in modo crescente, ma compaiono anche le ore in cui non abbiamo la temperatura: 2, 5, 19 e 20. Sarebbe stato un grave errore segnare sull'asse x,

ad intervalli regolari, le ore 0, 1, 3, 4, 6, 7 e così via; infatti un intervallo di tempo lungo due ore deve essere rappresentato sul grafico con uno spazio doppio di quello utilizzato per un'ora soltanto.

In più, bisogna scegliere bene gli intervalli di valori da rappresentare sul grafico. Per capirci: sull'asse y avrei anche potuto mettere temperature da 0 a 2000 gradi, ma il grafico sarebbe venuto troppo vicino all'asse x, e oltretutto sarebbe stato praticamente una linea orizzontale, inutile per analizzare i dati. Calibrare correttamente le scale dei valori corrisponde ad inquadrare bene un'immagine per fare una buona fotografia; la scelta dipende da che cosa vogliamo osservare, un particolare oppure un grande insieme. In generale una semplice regola è quella di mettere sugli assi dei valori di poco superiori al massimo dei dati raccolti e di poco inferiori al minimo; in questo modo il grafico non sarà minuscolo, né “uscirà dai bordi”.

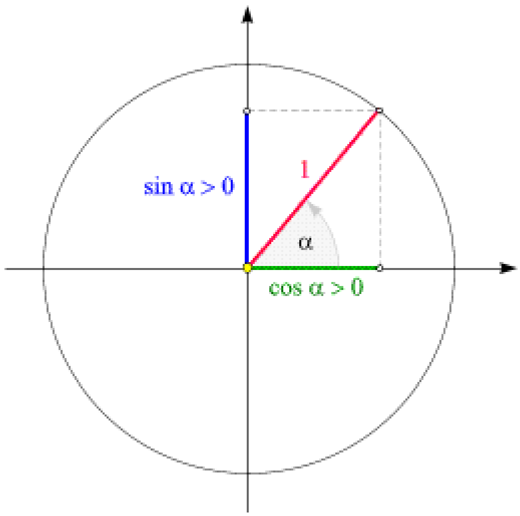
LE FUNZIONI TRIGONOMETRICHE

Il titolo non promette niente di buono. Ma le funzioni trigonometriche sono uno strumento molto più utile di quanto sembrino, per cui impariamone almeno un paio. I Babilonesi le utilizzavano già 4000 anni fa, adesso tocca noi.

Si tratta di funzioni di un angolo, cioè sono formule che hanno in ingresso un angolo e in uscita un numero. Sono: seno, coseno, tangente, cotangente, secante e cosecante; inoltre esistono le sei funzioni inverse.

Adesso due buone notizie: a noi serviranno solamente le prime due (seno e coseno), e inoltre per calcolarle possiamo usare le funzioni delle calcolatrici scientifiche o una tabella.

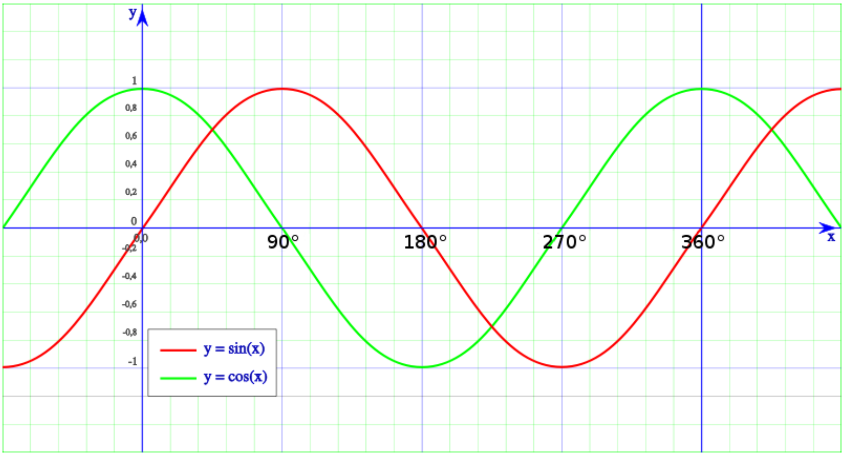
La cosa importante però è comprenderne il significato, perché altrimenti sarebbero solo numeri e potremmo sbagliarci facilmente.



Nella figura abbiamo un cerchio di raggio 1. La semiretta rossa parte dal centro del cerchio e forma con l'asse x un angolo α. La lunghezza della linea blu è il **seno di α**, mentre la lunghezza della linea verde è il **coseno di α**.

Se immaginate la linea rossa che ruota in senso orario, aumentando l'angolo α, potete vedere le linee blu e verde che si allungano e si accorciano, da una parte e dall'altra dell'origine degli assi.

Dato che il raggio della circonferenza vale 1, sia il seno che il coseno varieranno il loro valore tra 1 e -1. Lo fanno però in modo *sfasato*, nel senso che con un angolo 0° il valore del seno parte da 0, mentre il valore del coseno parte da 1.



Tutto qui. Per ottenere questi valori potete utilizzare la vostra calcolatrice, se ha le funzioni adatte: si chiamano "sin" e "cos". In alternativa, si può consultare una tabella che per ogni angolo vi dà il valore di seno e coseno.

A che cosa servono? A un sacco di cose. Le useremo in alcuni tipi di moto, nell'induzione elettromagnetica, nell'ottica.

LE MISURAZIONI

IL SISTEMA INTERNAZIONALE

Per poter effettuare delle misurazioni fisiche servono delle **unità di misura** per poterle esprimere. Per esempio, si possono usare i propri passi per misurare le dimensioni delle propria stanza; i passi, però, non sono una unità di misura molto corretta scientificamente, perché sono imprecisi e diversi da persona a persona.
Quindi servono unità di misura il più possibile precise e di sicuro identiche per tutti, e nel mondo scientifico moderno si usa a questo scopo un insieme di sette unità di misura fondamentali detto **Sistema Internazionale (SI)**. Ecco la versione che usiamo oggi, in vigore dal 1971:

grandezza	unità di misura	simbolo
lunghezza	metro	m
massa	chilogrammo	kg
intervallo di tempo	secondo	s
temperatura	kelvin	K
intensità di corrente	ampere	A
quantità di sostanza	mole	mol
intensità luminosa	candela	cd

Questa tabella è una di quelle poche cose della fisica che vanno studiate alla “vecchia maniera”, perché c'è poco da capire: bisogna ricordare nome e simbolo corretti di ogni unità di misura.

Qui di seguito vi espongo per completezza brevi definizioni di ciascuna delle sette unità di misura fondamentali, anche perché se non ve le fornisse, questo libro non sarebbe un libro di fisica per bene.

Molte di queste definizioni, però, non possono essere comprese completamente adesso perché coinvolgono concetti che dovete ancora imparare. Per cui niente paura, leggete pure questo paragrafo adesso per togliervi qualche curiosità, ma vi tornerà molto più utile tra qualche tempo.

Il **metro** è usato per misurare le lunghezze, le superfici (con i m^2) ed i volumi (con i m^3). Per arrivare ad una definizione precisa si sono provate molte strade, tra cui il famoso “metro campione”, una sbarra di metallo conservata all'Ufficio internazionale dei pesi e delle misure vicino a Parigi, usata come riferimento fino al 1960. La definizione che viene utilizzata oggi è “la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299792458 di secondo”. Certo, la sbarra metallica era molto più simpatica e facile da usare per costruire un righello fatto in casa, ma l'uso della velocità della luce (che, fino a prova contraria, è costante) rende la definizione del metro enormemente più precisa.

Il **chilogrammo** è l'unità di misura della **massa**, ossia della quantità di materia con cui è fatto un corpo. Il fatto che con i chilogrammi noi siamo abituati a parlare di “pesi” non deve confondervi, ne parleremo bene più avanti. Sappiate però che “massa” e “peso” sono due cose ben diverse.

La definizione del chilogrammo è molto semplice: non esiste. Per meglio dire, non è legata ad una qualche proprietà della natura, ma fa riferimento ad un oggetto appositamente creato: un cilindretto di metallo che viene conservato sotto tre campane di vetro in un sotterraneo blindato (non scherzo) di Sèvres, non lontano da Parigi. Naturalmente questo cilindretto non viene tirato fuori ogni volta che qualcuno vuole tarare una bilancia; vengono usate diverse masse “gemelle”, di cui una è conservata a Roma.

Il **tempo** è una grandezza fisica particolare, perché scorre senza che noi possiamo farci nulla. Infatti con il tempo possiamo misurare il susseguirsi degli eventi (la durata di un film, il tempo trascorso tra due eclissi solari), ma non possiamo fermarlo. L'unità di misura scelta dalla comunità scientifica è il **secondo**, che viene usato anche nei comuni orologi. Quando fu inventato, il secondo venne definito come una certa parte della durata del giorno terrestre (1/86400), ma questa definizione non è risultata molto precisa perché la durata del giorno non è così costante come si pensava e la scienza ha sempre più bisogno di unità di misura precise. A partire dal 1967, il secondo viene definito come "la durata di 9'192'631'770 periodi della radiazione corrispondente alla transizione tra due livelli iperfini, da (F=4, MF=0) a (F=3, MF=0), dello stato fondamentale dell'atomo di cesio-133".

Molti di voi hanno abbandonato la definizione precedente più o meno a metà, perché contiene un sacco di numeri e parole strane. L'importante è come al solito capire il concetto: esiste un atomo chiamato "cesio-133" che per sua natura cambia livello energetico in un certo tempo, molto preciso; usando questo comportamento come riferimento, in pratica si contano 9 miliardi e più di queste transizioni e si misura così un secondo preciso. E' quello che fanno gli orologi atomici, che sono il riferimento per tutti gli altri orologi del mondo.

La definizione esatta del secondo è importante anche perché da essa dipendono altre unità di misura, come per esempio il metro. Se il secondo fosse impreciso, lo sarebbero anche tutte le unità di misura definite tramite il tempo.

Con il **kelvin** si misura la **temperatura**, ed è definito come "1/273,16 della temperatura termodinamica del punto triplo dell'acqua".

Di temperatura e della sua misurazione parleremo più avanti. Una cosa che però si può imparare subito è una semplice considerazione di scrittura. Nonostante il nome dell'unità di misura sia scritto in minuscolo come tutte le altre, il simbolo K si scrive maiuscolo perché in realtà Kelvin è un nome proprio di persona, appartenuto allo scienziato che ha ideato questa scala di misurazione.

La stessa regola di scrittura è usata per l'**ampere** (A), con il quale si misura l'**intensità della corrente elettrica**: esso è definito come "l'intensità di corrente elettrica che, se mantenuta in due conduttori lineari paralleli, di lunghezza infinita e sezione trasversale trascurabile, posti a un metro di distanza l'uno dall'altro nel vuoto, produce tra questi una forza pari a 2 · 10-7 newton per metro di lunghezza". Che ne dite?

La **candela** è l'unità di misura scelta per misurare l'**intensità luminosa** (per esempio di una lampadina). Essa è definita come "l'intensità luminosa, in una data direzione, di una sorgente emettente una radiazione monocromatica di frequenza pari a 540 · 1012 hertz e di intensità radiante in quella direzione di 1/683 di watt per steradiante". Per riprenderci da questa ennesima terribile definizione, cerchiamo semplicemente di avere un'idea di quanto valga una candela di luce. Ovviamente una candela di cera avrà più o meno l'intensità luminosa di 1 cd; una lampadina fluorescente (di quelle chiamate "a basso consumo") da 20W emette circa 100 cd.

Infine, la **quantità di sostanza**, misurata con la **mole**. Essa corrisponde ad una quantità che contiene un numero di particelle pari al cosiddetto "numero di Avogadro", che corrisponde a più di seicentomila miliardi di miliardi. E' tanto? Pensate che per ottenere questo numero di particelle bastano 12 grammi di carbonio-12, come dice la definizione. Oppure, per farsi un'idea migliore, basta una tazzina per raccogliere un numero di molecole simile al numero di Avogadro.

UNITÀ DERIVATE

Le sette grandezze fisiche del Sistema Internazionali sono state scelte come le grandezze **fondamentali**, ma ovviamente non sono le uniche di cui la fisica abbia bisogno. Esistono numerose altre grandezze, ognuna con la sua unità di misura, dette grandezze **derivate**, in quanto derivano da una o più grandezze fondamentali.

Un esempio di uso comune è la velocità, definita come lo spazio percorso in una unità di tempo e quindi misurata in m/s.

Conosceremo le varie grandezze derivate ogni volta che ne avremo bisogno.

REGOLE DI SCRITTURA

Per parlare (e capire) il linguaggio scientifico, occorre conoscere e rispettare alcune regole nello scrivere le misurazioni e le unità di misura:

0. naturalmente una regola sottintesa (è la “regola zero”) è quella di usare sempre la simbologia corretta, e non usare per esempio “mt” per i metri oppure “sec” per i secondi;
1. i nomi delle unità di misura vanno sempre scritti in minuscolo, senza accenti o altri segni grafici;
2. i nomi delle unità che non sono parole italiane non hanno plurale;
3. i simboli delle unità di misura vanno scritti con l'iniziale minuscola, tranne quelli derivanti da nomi propri;
4. i simboli non devono essere seguiti dal punto (a meno che non siano alla fine di una frase);
5. i simboli devono sempre essere scritti dopo i valori numerici ;
6. il prodotto di due o più unità va indicato con un punto a metà altezza o con un piccolo spazio tra i simboli;
7. il quoziente tra due unità va indicato con una barra obliqua o con esponenti negativi.

Per fare qualche esempio, vediamo qualche erroraccio:

scrittura	regole violate
15 Ampères	1 – 2
M. 150	3 – 4 – 5
3 m:sec	0 – 7
15 Ohm*m	1 - 6

LE MISURAZIONI PICCOLE E GRANDI

Una volta che abbiamo a disposizione un'ampia gamma di unità di misura possiamo incominciare la nostra attività: prendere le misure all'universo che ci circonda.

Dopo alcune prove pratiche, ci si rende subito conto che le unità di misura standard non sono sempre molto comode da usare: per esempio misurando lo spessore di una pagina di questo libro, potremmo ottenere come risultato 0,0007 m. Oppure, leggendo qualche pagina più in su, proprio qui vi ho detto che il metro è definito come “la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299792458 di secondo”, il che significa un tempo di 0,0000000033356 secondi. Oppure ancora, scopriamo sul libro di scienze che il Sole ha un diametro di circa 1391000000 metri.

Queste considerazioni vi ricordano qualcosa? Spero di sì, visto che un capitolo fa abbiamo imparato ad usare la notazione scientifica: il diametro del Sole può essere anche scritto nella forma $1{,}391 \cdot 10^9$ m.

In questo capitolo, invece, scopriremo che esistono dei **prefissi moltiplicativi**, dei simboli che aggiunti a sinistra dell'unità di misura possono moltiplicare per una certa potenza di dieci. Anche questo fatto non vi sarà sicuramente sconosciuto, perché credo che tutti voi abbiate almeno una volta usato la parola “chilometro”: essa è formata da un prefisso “chilo” scritto prima dell'unità di misura “metro”, e il prefisso “chilo” significa 10^3, cioè 1000: un chilometro equivale infatti a mille metri.

Esistono prefissi moltiplicativi che rappresentano potenze di dieci con esponente positivo (per cui sono usati come multipli) e prefissi che rappresentano potenze negative (sottomultipli come per esempio il centimetro). Ecco i principali prefissi:

10^n	prefisso	simbolo
10^1	deca-	da-
10^2	etto-	h-
10^3	chilo-	k-
10^6	mega-	M-
10^9	giga-	G-
10^{12}	tera-	T-

10^n	prefisso	simbolo
10^{-1}	deci-	d-
10^{-2}	centi-	c-
10^{-3}	milli-	m-
10^{-6}	micro-	μ-
10^{-9}	nano-	n-
10^{-12}	pico-	p-

Per esempio, il diametro del Sole (1391000000 metri) può essere espresso dalla dicitura 1,391 Gm (gigametri), di sicuro più leggibile. Oppure si può esprimere il tempo di 0,0000000033356 secondi con 3,3356 ns (nanosecondi).

Alcuni simboli sono scritti in maiuscolo non perché derivino da un nome proprio, ma perché non vengano confusi con altro (per esempio M è "mega", m è "metro").

Esiste nel Sistema Internazionale una importante **eccezione**: l'unità di misura della massa (il chilogrammo) contiene al suo interno già un prefisso, il "chilo". L'unità di base dovrebbe essere il grammo, ma è stato deciso di utilizzare un suo multiplo perché sarebbe stato più difficile la conservazione di un preciso campione di riferimento. Per cui attenzione, mille chilogrammi non si scrive kkg ("chilochilogrammo"), ma Mg ("megagrammo").

In natura abbiamo visto che si incontrano misure che possono essere molto grani oppure molto piccole, a volte oltre quello che riusciamo ad immaginare; per fortuna abbiamo gli strumenti della notazione scientifica e dei prefissi moltiplicativi per poter esprimere queste misure.
Il problema nasce quando dobbiamo usare uno di questi valori all'interno di una formula, di una legge fisica. In questo caso, è sempre conveniente riportare la misura nella sua unità fondamentale. Per farlo esiste un metodo abbastanza semplice, che vi spiego con qualche esempio.
Abbiamo questa misurazione: 0,48 ks.
Vogliamo convertirla in secondi , perché la dobbiamo utilizzare in una formula. Procediamo così: facciamo scomparire il prefisso "k" e lo trasformiamo nella sua corrispondente potenza di dieci: $0{,}48 \cdot 10^3$ s.
Adesso dobbiamo solo calcolare e, spostando la virgola a destra di tre posizioni, otteniamo: 480 s.
Il meccanismo funziona naturalmente anche per le potenze negative: 23,5 μm = $23{,}5 \cdot 10^{-6}$ m = 0,0000235 m.
Con tre o quattro esercizi si impara il sistema. Un po' più complicato è il processo opposto, che porta una misurazione espressa con una unità fondamentale ad una con prefisso.
Anche qui c'è un trucco, eccolo in un esempio.

Voglio sapere quanti megametri misura il diametro del Sole (non chiedetemi perché).

La misura in metri è: 1391000000 m.

Voglio che appaia il prefisso “M”, che corrisponde a 10^6. Allora posso innanzitutto moltiplicare e dividere la nostra misura per lo stesso valore, moltiplicando per due potenze di dieci con esponenti opposti: $1391000000 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{6}$ m.

Poi sostituisco 10^6 con “M”: $1391000000 \cdot 10^{-6}$ Mm.

Infine eseguo il calcolo: 1391 Mm.

Allo stesso modo posso per esempio scoprire che:

$0{,}015$ A = $0{,}015 \cdot 10^{3} \cdot 10^{-3}$ A = $0{,}015 \cdot 10^{3}$ mA = 15 mA.

GLI STRUMENTI DI MISURA

Per poter effettuare una buona misurazione normalmente utilizziamo uno strumento. Se vogliamo sapere lo spessore di questo libro possiamo usare un righello, se ci interessa la temperatura nel luogo dove ci troviamo ci occorre un termometro, se vogliamo sapere da quanto tempo stiamo leggendo leggiamo un orologio. Senza questi strumenti potremmo solo stimare le grandezze, confrontarle con altre conosciute, ma di sicuro in modo non preciso e comunque in modo soggettivo. Gli strumenti di misura rendono le misurazioni **oggettive**.

Il nome degli strumenti è spesso una parola composta, la cui prima parte indica la grandezza misurata e la seconda è "-metro" (termometro, barometro, altimetro, amperometro e via così). La parola "metro" non deve confondere, perché la lunghezza è naturalmente solo una delle grandezze fisiche che si possono misurare.

Molti strumenti sono semplici oggetti di riferimento, altri sono più complicati e sfruttano un qualche fenomeno fisico; per esempio, gli orologi meccanici utilizzano un meccanismo che oscilla sempre allo stesso ritmo.

Per misurare una certa grandezza fisica esistono più di uno strumento, questo perché per ogni situazione serve lo strumento giusto. Prendiamo ad esempio la lunghezza: abbiamo detto che con un righello possiamo misurare lo spessore di questo libro, ma con lo stesso righello sarebbe molto difficile misurare la distanza tra casa vostra e il posto dove andate in vacanza; per questo scopo è meglio usare il contachilometri dell'automobile. Questa prima caratteristica degli strumenti si chiama **portata**, ed è definita come “la massima misura effettuabile con lo strumento”.

Per misurare una grandezza fisica bisogna usare uno strumento di portata superiore. Per esempio non si può misurare la larghezza di una scrivania con un righello di portata 10 cm. Come? Voi ci riuscite spostando varie volte il righello? Certo, ma così non state usando *solo* il righello, cari miei: state anche contando in qualche modo (con le dita o con carta e penna) quanti spostamenti fate, e quindi state usando *due* strumenti.

La portata non è l'unica caratteristica degli strumenti di misura: ne esistono altre, ma una è particolarmente importante: la **sensibilità**. Prendiamo il nostro solito righello da 10 cm di portata. Con esso possiamo misurare tutto ciò che è più piccolo di 10 cm, o no? Possiamo misurare lo spessore di *un foglio* di questo libro? E il diametro di un capello? Direi di no. Per effettuare queste misurazioni occorrono strumenti molto più precisi (sensibili), come il regolo o il micrometro. La sensibilità è infatti “la più piccola differenza di misura rilevabile dallo strumento”. Il nostro righello ha sensibilità 1 mm, infatti le piccole righette sono separate dalla distanza di un millimetro.

Nel momento in cui si conosce la sensibilità dello strumento che stiamo utilizzando, dovremo fare attenzione a rispettare questa sensibilità nel trascrivere le misurazioni che effettuiamo. Usiamo ancora una volta il nostro righello, proviamo a misurare per esempio una gomma per cancellare: è probabile che il bordo della gomma non coincida perfettamente con una delle linee del righello, per cui (se abbiamo la vista buona) ci sentiamo autorizzati a dire che la misura vale per esempio 3,45 mm. Questo sarebbe un grave errore, perché non bisogna superare la sensibilità dello strumento e non possiamo inventarci i decimi di millimetro dove non ci sono; se uno strumento è graduato in un certo modo significa che non può essere garantita una precisione maggiore. Quello che dobbiamo fare è stabilire la righetta più vicina e sceglierla come nostra misura: 3,4 mm oppure 3,5 mm.
Un ultimo esempio per chiarire del tutto le idee. Il contachilometri parziale (quello che si può azzerare) di un'automobile (o di un motorino) può essere considerato uno strumento di misura, anche se non è molto usato dagli scienziati. La sua portata è determinata dal numero delle cifre rappresentate, di solito la distanza massima è di 1000 chilometri. Osservando poi che le distanze sono espresse in chilometri e viene rappresentata una sola cifra dopo la virgola, si scopre che la sensibilità è di 100 metri; una sensibilità minore non può essere garantita dal meccanismo che aziona il contachilometri, né ci servirebbe sapere una distanza percorsa

in macchina con più precisione.

GLI ERRORI

Effettuando una qualsiasi misurazione bisogna imparare a convivere con un una presenza fastidiosa: l'**errore**.
Questa volta partiamo con un esempio: mettiamo una pallina da tennis sul bordo di un tavolo, e vogliamo sapere quanto tempo impiega a cadere, dal momento in cui supera il bordo del tavolo a quando tocca terra. Diamo a Carlo, Alice e Luca tre cronometri che hanno una sensibilità di un centesimo di secondo, e chiediamo loro di misurare il tempo di caduta. Per maggior sicurezza, chiediamo a ciascuno di loro di fare tre misurazioni. Eseguiamo l'esperimento facendo cadere la pallina per tre volte facendola uscire delicatamente dal piano della scrivania, e raccogliamo in una tabella i dati misurati dai tre ragazzi:

	Carlo	Alice	Luca
misura 1	1,42 s	1,48 s	1,05 s
misura 2	1,47 s	1,42 s	1,08 s
misura 3	1,46 s	1,37 s	0,98 s

La prima cosa che si nota è che le misure prese da Luca sono molto diverse da quelle prese da Carlo e Alice, pur essendo simili tra loro. Una situazione del genere fa pensare che il cronometro che è stato dato a Luca era difettoso, oppure Luca stesso non aveva capito il modo in cui avrebbe dovuto misurare la caduta della pallina. Quello che si è verificato si chiama **errore sistematico**, e si verifica quando si utilizza uno strumento difettoso oppure un metodo di misurazione scorretto. L'errore sistematico si ripete ad ogni misurazione, e per individuarlo servono altri strumenti. Prendo ad esempio il nostro solito righello: un errore sistematico è causato dalla misurazione fatta a partire dal bordo di plastica (errore piuttosto grossolano) anziché dalla linea dello zero.

Eliminiamo quindi i dati raccolti da Luca (ed eventualmente buttiamo via il cronometro) e analizziamo i restanti sei tempi. La prima cosa che vi rivelo forse vi stupirà: nessuno di quei sei tempi è corretto. In primo luogo per la sensibilità dello strumento, infatti i dati raccolti sono sempre delle approssimazioni. Poi, dato che le sei misurazioni non sono tutte uguali tra loro, non si può dire che una sia “più giusta” delle altre, neppure nel caso dei due tempi (il primo di Carlo ed il secondo di Alice) uguali.

Ma perché quei tempi sono diversi? In fondo la pallina è sicuramente caduta sempre con la stessa identica velocità. Le piccole differenze tra le misurazioni raccolte derivano dai cosiddetti **errori accidentali**. Essi sono dovuti alle inevitabili imprecisioni con cui usiamo gli strumenti: Carlo ed Alice possono non aver sempre reagito allo stesso modo premendo il pulsante del cronometro al distacco della pallina e al suo impatto sul pavimento. Gli errori accidentali sono piccoli, imprevedibili e non si ripetono con regolarità al contrario di quelli sistematici. Naturalmente la comparsa di errori accidentali dipende dalla grandezza che si misura e dallo strumento che si sta utilizzando: se sono più piccoli della sensibilità dello strumento non si faranno vedere (ma ci saranno comunque).

Che fare adesso con questi dati? Non possiamo buttarli via, sono abbastanza validi. Ricordiamoci che gli errori accidentali sono inevitabili, per cui dobbiamo semplicemente imparare a convivere con essi. Allora troviamo un modo per rappresentare questi sei tempi con un'unica misurazione.

Prima di scoprire il semplice metodo matematico che viene usato, usiamo un po' l'immaginazione. Ci troviamo in una birreria, in una piccola stanzetta. Dall'altra parte di uno dei muri sottili è appeso un bersaglio per le freccette, e i giocatori stanno tirando talmente forte che le punte delle freccette escono dalla nostra parte (ok, *molta* immaginazione). Dopo una dozzina di lanci, con i nostri amici possiamo cercare di indovinare dove si trovi il centro del bersaglio rimanendo nella nostra stanzetta. A questo punto, se le punte delle freccette sono molto vicine tra loro indicheremo con sicurezza un punto che si trova al centro del gruppo, mentre se i lanci sono molto sparpagliati non saremo più così sicuri: indicheremo un punto nel mezzo del gruppo, ma con una maggiore incertezza. Chiaro? Perfetto, avete appena capito tutto; manca solo la parte matematica.

La prima cosa da fare è calcolare la media aritmetica (somma dei dati divisa per il numero dei dati stessi) dei tempi raccolti: si ottiene così il **valore medio**. Per il nostro esperimento esso vale 1,44 s; naturalmente abbiamo arrotondato il risultato alla seconda cifra decimale, perché rispettiamo la sensibilità dello strumento che abbiamo usato.

Successivamente dobbiamo trovare un indicatore che ci dia un'informazione su quanto siano "sparpagliati" i dati, cioè su quanto valga l'incertezza della nostra misurazione. Per fare questo facciamo il seguente calcolo:

$$S_{ass}=\frac{V_{max}-V_{min}}{2}$$

Nella formula V_{max} e V_{min} indicano rispettivamente il più alto e il più basso valore tra quelli misurati. Il termine S_{ass} si chiama **scarto assoluto** e nel nostro esempio vale 0,05 s.

Possiamo adesso scrivere un primo risultato:

$$tempo\ caduta=1{,}44\pm 0{,}05\ s$$

Questo risultato non significa che la palla sia caduta esattamente in 1,44 secondi. Significa: "dalle nostre misurazioni possiamo dire che il tempo di caduta della pallina si trova in un intervallo compreso tra 1,39 secondi e 1,49 secondi".

Ma 5 centesimi di secondo sono uno scarto grande oppure piccolo? Per saperlo si calcola quello che viene chiamato **scarto relativo**, cioè una percentuale che indica l'incertezza espressa in relazione alla grandezza misurata:

$$S_{rel} = \frac{S_{ass}}{Vm}$$

Nel nostro caso facciamo 0,05/1,44 = 3,8%. Quindi scopriamo che cinque centesimi sono un'incertezza piuttosto alta, rispetto al secondo e mezzo circa di caduta; non sarebbero di certo importanti cinque centesimi di secondo se stessimo misurando la durata di un film (la percentuale sarebbe molto più bassa).

I VETTORI E LE FORZE

LE GRANDEZZE VETTORIALI

Quando vogliamo conoscere la temperatura di una stanza ci basta un semplice numero (con la sua unità di misura) e siamo soddisfatti. Ma se chiedessimo informazioni sulla strada da prendere per la stazione ci accontenteremmo di una semplice distanza in metri o vorremmo sapere qualcosa di più?
Alcune grandezze (come la temperatura) si dicono **scalari**, cioè sono costituite da un semplice numero; altre grandezze devono contenere qualche informazione in più, e si chiamano **grandezze vettoriali**. Una grandezza di questo tipo è rappresentata non solo da un numero, ma da un **vettore**; questo personaggio è un insieme di quattro informazioni, rappresentate graficamente da un segmento orientato (per gli amici una freccia). Queste informazioni sono:
il **modulo**: è il valore numerico puro, rappresentato dalla lunghezza del vettore;
la **direzione**: è l'inclinazione della freccia;
il **verso**: indica in quale verso del segmento è orientato il vettore, e si rappresenta con la punta della freccia;
il **punto di applicazione**: è la posizione in cui si posiziona la "coda" del vettore.

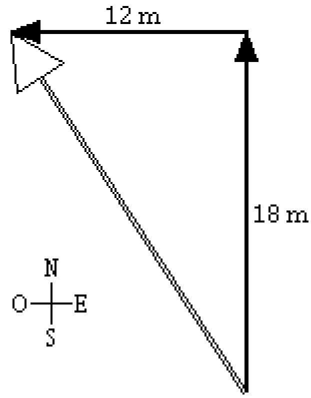
Di questa freccia vediamo una sua lunghezza, ne vediamo la

direzione orizzontale e il verso da sinistra verso destra, infine vediamo il suo punto di applicazione: va bene, questa freccia è effettivamente un vettore. Ma proprio come un numero, un vettore non è nulla (o meglio, è solo una freccia disegnata) finché non sappiamo che cosa rappresenta. Per cui possiamo per esempio visualizzare questo vettore come uno spostamento, ed ecco che ci indica da dove si parte, verso quale direzione ci si muove, e per quanto spazio.
A dire il vero non è che si capisca proprio bene di quanti metri sia lo spostamento rappresentato dal vettore, ma per esempio siamo sicuri che sono più di quelli rappresentati da questa seconda freccia:

Infatti questa è più corta, e anche se sembra un banale giochetto di disegni questo è proprio il modo con cui si usano correttamente i vettori. Se qualcuno vi dice di spostare un oggetto di 8 metri a destra e poi di 4 metri a sinistra, potete rappresentare queste informazioni con due vettori e siete a posto.
Per distinguere una grandezza vettoriale si scrive il suo simbolo con una piccola freccia sopra ($\vec{s}$), in modo do ricordarsi che non si sta considerando solo il modulo ma tutto il vettore.
Le grandezze vettoriali possono essere utilizzate in alcune operazioni, che si risolvono abbastanza facilmente con il metodo

grafico, cioè disegnando.
Una di queste operazioni è il **prodotto di un vettore per uno scalare**: moltiplicando un vettore per un numero n, si ottiene un altro vettore che ha il modulo uguale al modulo del primo moltiplicato n; la direzione, il verso ed il punto di applicazione non cambiano. In pratica la freccia si allunga (o si accorcia se si moltiplica per un numero minore di uno).
Un'altra operazione, molto importante, è la **somma di vettori**. Per capire come funziona è utile pensare a vettori che rappresentano degli spostamenti. Pensate una mappa del tesoro, uno di quei fogli ingialliti che si trovano in una vecchia cantina e che indicano come raggiungere il punto dove è sepolta una cassetta piena di monete d'oro. Sulla mappa c'è scritto di posizionarsi sotto alla grande quercia, e di percorrere 18 metri verso nord e 12 metri verso ovest. Questi sono due spostamenti vettoriali che devono essere eseguiti in successione in modo da raggiungere la meta. Se ci interessa sapere quanti metri dobbiamo percorrere facciamo la cosiddetta **somma scalare** dei due vettori, ossia sommiamo semplicemente i loro moduli, e scopriamo che dobbiamo camminare per 18+12=30 metri. Però, se vogliamo sapere quale sarà lo spostamento finale che faremo dalla grande quercia fino al tesoro, dobbiamo eseguire la **somma vettoriale**. Fare questa somma per due spostamenti equivale a calcolare una “scorciatoia”, un vettore che da solo ci porta dritti alla meta. In pratica bisogna che i vettori da sommare siano uno

in fila all'altro, e poi disegnare un nuovo vettore che unisca la coda del primo con la punta dell'ultimo. Nella nostra mappa, il vettore “scorciatoia” va verso NNO (nord nord ovest), ed è lungo sicuramente meno di 30 metri (altrimenti non sarebbe una scorciatoia, no?). Per conoscere l'esatto modulo del vettore somma approfittiamo del fatto che i due vettori addendi sono tra loro perpendicolari e utilizziamo il teorema di Pitagora:



$$\sqrt{18^2+12^2}=\sqrt{324+144}=\sqrt{468}=21{,}63\,m$$

Con molti vettori il metodo non cambia, e funziona anche con grandezze diverse dallo spostamento. Se i vettori non si trovassero in fila, possiamo traslarli (senza modificare né modulo, né direzione né verso) per unirli “punta con coda” e poter disegnare la “scorciatoia”.

Infine ricordatevi la differenza tra somma scalare e somma vettoriale, che sono due operazioni molto differenti:

$$(a+b)\neq(\vec{a}+\vec{b})$$

Lo sottolineo perché so che non è un concetto immediato, per cui faccio un ultimo esempio: se per andare da casa vostra a scuola percorrete 800 metri, e al ritorno ne percorrete altrettanti, la somma scalare dei due spostamenti sarà 1600 metri (che avete effettivamente percorso), mentre la loro somma vettoriale sarà un vettore con modulo zero: siete tornati al punto di partenza, e la scorciatoia è uno spostamento nullo (rimanere nel letto a dormire tutta la mattina).

LE FORZE

Il concetto di forza è abbastanza chiaro per tutti; abbiamo tutti sperimentato la fatica di spostare un oggetto pesante, facendolo strisciare oppure sollevandolo. Adesso che conosciamo i vettori, è anche chiaro che la forza è una grandezza vettoriale: infatti applicando su una palla la stessa forza otteniamo effetti diversi a seconda della direzione in cui questa forza viene fatta: la palla può essere spostata orizzontalmente, sollevata oppure schiacciata sul posto.

Prima cosa da sapere: l'intensità di una forza si misura in **newton (N)**, unità di misura introdotta nel 1960 in onore al lavoro svolto dallo scienziato inglese Isaac Newton, del cui genio parleremo più avanti. Il più semplice strumento per misurare le forze si chiama **dinamometro**, e non è altro che una molla con un indicatore graduato.

Il newton non fa parte delle unità di misura fondamentali del Sistema Internazionale, la forza non è una delle sette grandezze fisiche fondamentali: è una **grandezza derivata**, cioè la si può ricavare da quelle fondamentali (scopriremo come tra un po' di pagine).

Le forze si suddividono in due grandi categorie: forze **di contatto** e forze **a distanza**: le prime hanno bisogno di un contatto fisico per poter essere applicate (come per esempio il calcio dato ad un pallone), le seconde si trasmettono anche senza questo contatto (come l'attrazione tra due calamite). In questa distinzione bisogna fare attenzione a non farsi ingannare: per esempio la spinta che un ventilatore acceso fa sui fogli sparsi su un tavolo non è una forza a distanza, perché in realtà il ventilatore spinge l'aria e l'aria spinge i fogli, e il contatto c'è sempre.

Una prima e importantissima forza da conoscere è una forza che subiamo da sempre, e ne siamo talmente abituati da darla per scontata: la **forza di gravità**. Per qualche motivo non ancora chiaro, tutti gli oggetti si attraggono tra loro in proporzione alla loro massa; inoltre, con l'aumentare della distanza, questa forza di attrazione diminuisce con una proporzionalità quadratica. Come, tutti i corpi? Non solo la Terra? No, in realtà anche due matite appoggiate sul tavolo si attraggono tra loro, ma con una forza talmente debole da risultare praticamente nulla in confronto alla forza di gravità del nostro pianeta. La nostra casa Terra ha una massa di quasi 6 milioni di miliardi di miliardi di chilogrammi, per cui direi che una matita di pochi grammi parte svantaggiata.

La forza di gravità funziona come se gli oggetti fossero legati tra di loro con moltissimi fili sottili, uno per ogni particella di materia; la Terra ovviamente ha “in mano” una grande quantità di fili, e tiene vicino a sé ogni oggetto come un bambino tiene un gruppo di palloncini legati con dei fili. Una matita contiene meno particelle di materia di un libro, per cui ci sono meno fili;

per questo motivo il nostro pianeta riesce a tirare verso il basso il libro con più forza. Noi diciamo che “il libro pesa più della matita”, intendendo proprio questo. Infatti la forza di gravità è anche detta “forza peso”. Matematicamente parlando, **la forza peso di un oggetto è direttamente proporzionale alla sua massa**.

Siamo talmente abituati a vivere sulla Terra, che normalmente indichiamo il peso degli oggetti utilizzando l'unità di misura della massa, proprio approfittando di questa proporzionalità diretta. Dire “questo libro pesa due chilogrammi” però non è corretto, perché il peso è una forza, e la forza si misura in newton. Sarebbe giusto dire che un libro di massa 2 kg pesa il doppio di un libro di massa 1kg, non pretendere di dare una informazione completa sul peso con i chilogrammi. Ma ormai il danno è fatto, non possiamo cambiare il modo di esprimersi di miliardi di persone. In realtà quello che conta nelle comunicazioni tra persone è il confronto di pesi, non tanto il loro valore; ci interessa sapere se riusciremo a sollevare un pacco, se potremo caricare una cassa sul nostro furgone, se per fare il pane bisogna mettere più farina o più acqua.

Ma qui siamo scienziati, o meglio abbiamo (avete?) la curiosità di conoscere le cose come stanno veramente. In più abbiamo bisogno di una scienza che funzioni dappertutto, non sono sul nostro pianeta. Per cui...

E' il momento di scoprire un numero magico, di cui conosceremo per adesso solo il valore; in realtà è una grandezza fisica, ma non la conosciamo ancora ed è meglio non confondere le idee. Questo numero si chiama g e vale **9,8**. A cosa serve? Forse lo avete già capito: se abbiamo detto che forza peso e massa sono direttamente proporzionali, allora ci sarà sicuramente una costante di proporzionalità. Questa, sulla superficie terrestre, è proprio g: significa che **una massa di un chilogrammo sulla superficie terrestre è attratta verso il basso con una forza di 9,81 newton**.

Attenzione alle parole “superficie” e “terrestre”, sono molto importanti. Infatti 9,81 è un valore approssimativo valido ad altitudini non troppo elevate; se ci allontaniamo di qualche decina di chilometri la forza di gravità diminuisce. Inoltre questo valore vale sulla Terra, non sugli altri pianeti che hanno massa differente (per esempio sulla Luna g vale 1,6 e su Giove 26). Ecco perché nei filmati delle esplorazioni lunari si vedono astronauti saltellare allegramente: la loro massa è sempre la stessa, ma è molto diminuito il loro peso.

Adesso che conosciamo il numero magico, possiamo farci un'idea su quanto sia in effetti un newton.

$$F_p = m \cdot 9{,}81 \qquad m = \frac{F_p}{9{,}81}$$

Usando queste semplici formule di proporzionalità scopriamo che per avere un peso di un newton occorre sulla Terra una massa di circa 0,102 kg, cioè poco più di un ettogrammo. In pratica, tenendo in mano un etto di salame si sente una forza peso pari a circa un newton.

Ma dove si trova il punto di applicazione della forza peso? Ci sono due modi di rispondere. Il primo: in realtà la forza di gravità è un insieme innumerevole di vettori applicati ad ogni particella microscopica del corpo. Il secondo (per fortuna): la forza peso è un vettore che ha come punto di applicazione il **baricentro** del corpo. Il baricentro è il cosiddetto “centro di massa”, il punto in cui si può tagliare in due l'oggetto ottenendo due oggetto di massa perfettamente uguale.

L'ALLUNGAMENTO DI UN CORPO ELASTICO

Uno degli effetti delle forze sugli oggetti solidi è la loro deformazione; lo si può notare sedendosi su una poltrona, oppure piegando leggermente una gomma per cancellare.

Alcuni corpi, una volta che la forza che li deforma scompare, ritornano alla loro posizione iniziale. Un oggetto di questo tipo di dice **corpo elastico**. In altri casi la deformazione rimane presente anche quando non c'è più la forza deformante, e allora si parla di **corpo plastico**, come nel caso della pasta da modellare come il "pongo". In realtà nessun corpo reale è perfettamente elastico o perfettamente plastico, le due caratteristiche sono sempre presenti; anche perché ogni corpo elastico diventa plastico de sottoposto a forze eccessive. Comunque esistono materiali che, se non vengono troppo deformati, sono quasi perfettamente elastici.

Una semplice deformazione riguarda una sola delle tre dimensioni, la lunghezza. Una molla si è una struttura metallica creata proprio per potersi deformare elasticamente lungo una delle sue dimensioni, e le molle vengono utilizzate in moltissime applicazioni. Tramite una molla (se non ne avete una a portata di mano, potete smontare una biro) potete subito notare che, se la allungate, cercherà di tornare ad accorciarsi, e se la lasciate andare si accorcerà. La forza che sentite fare sulle vostre dita dalla molla si chiama **forza elastica**, e la possiamo vedere come una specie di "resistenza" alla deformazione; la molla "non vuole" essere allungata, e appena lo fate cerca di resistere. Scoprirete poi che più tirate, più la molla si allunga. Non solo: la molla può anche essere compressa (è un po' più difficile perché tende a piegarsi), e la sua forza elastica in questo caso vi spingerà le dita. L'ultima cosa che si scopre è che esiste un limite di elasticità: tirando troppo la molla si deforma definitivamente (e la vostra biro è da buttare).

Questo fenomeno incuriosì molto il professore di geometria inglese Robert Hooke, che alla fine del '600 scoprì che (per allungamenti non troppo grandi) scoprì che la forza di deformazione è direttamente proporzionale alla deformazione stessa (lui disse "*ut tensio, sic vis*", che in latino significa "come l'estensione, così la forza"). Voi sapete che se due grandezze sono direttamente proporzionali tra loro, significa che il loro rapporto da un numero costante che si chiama "**costante di proporzionalità**"; questo numero per gli oggetti elastici si chiama costante di elasticità, si indica con la lettera k e si misura in N/m.

$$F_e = k \cdot \Delta l \qquad k = \frac{F_e}{\Delta l} \qquad \Delta l = \frac{F_e}{k}$$

Le formule che ho appena scritto rappresentano la **legge di Hooke** (vista dai tre possibili punti di vista, per calcolare la forza elastica, la costante di elasticità oppure l'allungamento. Attenzione ad usare correttamente i segni, perché con forze “negative” (cioè che tendono a comprimere la molla) anche l'allungamento sarà negativo.

Dato che è sempre meglio cercare di capire che cosa stia dietro ad una cosiddetta “costante”, per cui diamo una piccola occhiata a questa k. Se nella legge di Hooke mettiamo un allungamento di 1 metro, succede che la forza elastica in newton coincide con il valore di k. Per cui la costante di elasticità è la quantità di newton necessari per avere un allungamento di un metro; infatti la k si misura in N/m (newton *ogni* metro).

L'UNIONE DELLE FORZE

Oppure “l'unione fa la forza”, si potrebbe dire.
Adesso parliamo di che cosa succede quando più forze agiscono sullo stesso corpo, anche se in realtà vedrete che non vi dirò niente di nuovo; uniremo semplicemente tasselli che abbiamo già.
Cominciamo dalla molla del paragrafo precedente. Se la molla venisse appesa in verticale e vi venisse appesa una massa, ci sarebbe un allungamento elastico che possiamo descrivere grazie alla legge di Hooke. Appena avrà smesso di dondolare, troveremo la molla allungata ma ferma, come la massa che abbiamo appeso. Immaginiamo che questa massa sia un mazzo di chiavi, e concentriamoci su di esso.
Sul mazzo di chiavi agisce sicuramente la forza di gravità, che lo attira verso il basso; inoltre c'è la forza della molla che, per la sua elasticità, vorrebbe accorciarsi e tira verso l'alto. Eppure il mazzo di chiavi non sale e non scende, è immobile. Perché? Ormai i vettori per voi non sono più un problema, per cui risponderete senz'altro “perché anche se la somma scalare delle due forze è maggiore di zero, la loro somma vettoriale è nulla”. Bravi.
Infatti, disegnando i due vettori che rappresentano la forza peso e la reazione della molla, si scopre che hanno modulo e direzioni uguali, ma verso opposto: vettore risultante nullo. Avete appena

eseguito la vostra prima somma di forze, complimenti.
Una situazione come quella appena descritta si chiama **equilibrio statico**: la somma delle forze è un vettore nullo, e il corpo è fermo. Se state leggendo questo libro seduti su una sedia, avete sotto di voi un secondo esempio di equilibrio statico: sulla sedia agisce il vostro peso, il peso della sedia stessa, e la reazione del pavimento (in realtà è una deformazione elastica con k elevatissima); il tutto con risultato nullo.
Il risultato della somma vettoriale di più forze agenti su un corpo si chiama **forza risultante**. Dal punto di vista del corpo, essere spinti da molte forze è la stessa cosa che essere spinti da una sola, quella risultante. Per esempio, se io spingo un carrello in avanti con una forza di 150 N e voi lo spingete all'indietro con 200 N, tanto vale che io me ne vada e voi spingiate con soli 50 N.
Per sommare forze con diverse inclinazioni, bisogna fare buon uso della geometria ed essere discreti disegnatori (mmm, ecco perché si studiano tutte quelle cose).

LA FORZA DI ATTRITO

Dopo la forza di gravità, una seconda forza “invisibile” alla quale siamo abituati fin dalla nascita è la forza di attrito. Perché bisogna faticare per andare in bicicletta anche se non siamo in salita? Perché non è semplice spostare un armadio facendolo strisciare sul pavimento?

La risposta a queste (e molte altre) domande si chiama **attrito**. Si tratta di una forza che in genere si oppone ai movimenti, li frena. Esistono tre tipi di attrito, vediamoli.

L'**attrito radente** è una “resistenza” che incontrano due superfici solide strisciando una contro l'altra. L'armadio appoggiato sul pavimento non è semplice da spostare, anche se non vogliamo sollevarlo da terra ma solo farlo strisciare. Questo perché tra i piedi dell'armadio e il pavimento esiste la forza di attrito radente. Infatti bisogna raggiungere una certa forza per fare in modo che l'armadio cominci a muoversi. Questa spinta iniziale deve vincere la forza di attrito radente **statico**, che “tiene unite” le due superfici a contatto. Quando l'armadio scivola, dobbiamo comunque continuare a spingerlo perché non si fermi, per contrastare la forza di attrito radente **dinamico** che interviene quando c'è movimento.

Calcolare la forza di attrito radente non è molto complicato: essa aumenta in proporzione alla forza con cui le due superfici sono tenute in contatto tra di loro. Questa forza nel caso dell'armadio è naturalmente il suo peso, ma per esempio nel caso di un cancellino su una lavagna la forza è data dalla mano di chi usa il cancellino. In genere questa forza prende il nome di **forza premente**, e la si usa per calcolare la forza di attrito:

$$F_r = F_p \cdot \mu_r$$

Il coefficiente di proporzionalità è il **coefficiente di attrito radente**, e si indica con la lettera greca μ ("mi"). Esso è una grandezza adimensionale (non ha unità di misura) e dipende dai materiali che sono a contatto; inoltre esiste un μ per l'attrito radente statico e uno per quello dinamico.

L'attrito statico è sempre maggiore (o al limite uguale) di quello dinamico. Significa che occorre più forza per far cominciare un movimento piuttosto che a mantenerlo. Per esempio il coefficiente di attrito della gomma sull'asfalto asciutto vale 0,8 se dinamico, mentre vale 1 se statico. Per distinguere i due dati di solito si usano i simboli μ_{rs} e μ_{rd}.

A proposito di gomma e asfalto, parliamo un momento di una delle più importanti invenzioni dell'umanità: la ruota. Circa settemila anni qualcuno scoprì che era molto più facile trascinare un peso su qualcosa che rotola piuttosto che farlo strisciare. Da allora la ruota non è mai stata superata come mezzo di locomozione su terra. Se avete chiaro il concetto di attrito radente, capirete che la genialità della ruota sta nel fatto che la sua superficie non striscia contro il terreno, ma vi rotola sopra. Questa cosa ci libera dall'attrito? Niente affatto, purtroppo: esiste anche una seconda forma di attrito, detto **attrito volvente**, che interviene proprio dove c'è un rotolamento. Infatti vi sarete accorti che una palla non può rotolare all'infinito, prima o poi si ferma anche su un pavimento orizzontale. Questo attrito è piuttosto basso, molto minore di quello radente (vi siete mai accorti che è più facile spingere una macchina se togliete il freno a mano?).

Il coefficiente di attrito volvente ha la stessa funzione matematica, ossia è il coefficiente di proporzionalità tra la forza premente e la forza di attrito. Esso (indicato normalmente con μ_v), non è solo collegato ai materiali, ma aumenta con il diminuire del raggio della ruota (ecco perché i maledetti carrelli della spesa sono così difficili da spingere sull'asfalto del parcheggio!).

Se un corpo si muove senza toccare nessun altro corpo solido sfugge si all'attrito radente che a quello volvente. Eppure si fa fatica a nuotare, gli uccelli consumano energia a volare, le navi bevono ettolitri di carburante per navigare. Lo avete capito: esiste una terza forza di attrito, che agisce quando un corpo si muove all'interno di un fluido (liquido o gassoso): è la **forza di attrito viscosa**. La sua azione è molto complessa, e dipende sicuramente dalla forma del corpo in movimento come si capisce osservando un'automobile, un aereo o una nave. Inoltre la resistenza aumenta con la velocità. Per capire quest'ultimo concetto osserviamo un paracadutista che si lancia dall'aereo in volo: comincerà ovviamente a cadere, accelerando per la forza di gravità; più cade velocemente, maggiore sarà la forza di attrito dell'aria che lo frena. Quando raggiunge una velocità tale per cui la forza di attrito è uguale alla forza peso, il paracadutista continuerà a cadere a velocità costante (circa 180 km/h). Fino a che (forse) si apre il paracadute che aumenta di molto la sagoma del corpo in movimento, aumenta quindi la forza di attrito e diminuisce la velocità di caduta anche a 12 km/h.

L'EQUILIBRIO DEI SOLIDI

La parola equilibrio fa venire in mente una situazione in cui si cerca di mantenere degli oggetti fermi in una posizione. Infatti si parla di **equilibrio statico** di un corpo quando questo corpo rimane fermo nel tempo. Siamo sempre circondati da corpi in equilibrio statico: le matite e le penne sul tavolo, il tavolo stesso, i quadri alle pareti, la sedia su cui siamo seduti.

Esiste un concetto che studieremo tra qualche tempo ma che sicuramente si trova già nelle vostre conoscenze: se un corpo è fermo significa che non viene spinto da nessuna forza. Eppure poco fa abbiamo imparato che, almeno sulla superficie terrestre, tutti i corpi subiscono almeno una forza, la forza di gravità. Allora non è vero che i corpi in equilibrio non subiscono nessuna forza, piuttosto si può dire che la somma (vettoriale) di tutte le forze che agiscono sul corpo è nulla. Quando osserviamo per esempio una matita ferma sul piano di un tavolo, sappiamo che essa è sottoposta a due forze che si annullano a vicenda: la forza peso e la forza fatta dal tavolo, che si chiama "forza vincolare" (il tavolo è un "vincolo" che impedisce un movimento, come il pavimento o un muro). Le due forze hanno somma vettoriale uguale a zero perché hanno uguale modulo e direzione, ma verso opposto.
Per poter capire in pieno gli argomenti di questo capitolo dobbiamo dare alcune definizioni.

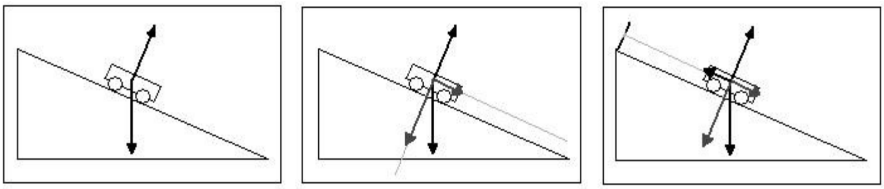
Un **corpo rigido** è un oggetto solido che non è possibile deformare. Si tratta di un'astrazione, perché in realtà *tutti* i corpi sono deformabili, se vengono sottoposti a forze opportune; definire quindi un corpo come “corpo rigido” significa fare una semplificazione, o più propriamente usare un “modello”. Potremo permetterci di considerare corpo rigido per esempio una vite nel suo normale utilizzo, ma sappiamo bene che uno sforzo eccessivo può deformare o rompere la vite. Questo esempio rivela che l'uso di un modello semplificativo per rappresentare un oggetto reale non dipende solo dall'oggetto, ma anche dal contesto in cui l'oggetto viene studiato.

Una ulteriore semplificazione che si usa a volte (un modello ancora più astratto) è il **punto materiale**: è un corpo rigido privo di dimensioni. Ovviamente non esiste nessun corpo che non abbia una dimensione anche minima, però in certi casi possiamo trascurare i particolari: per esempio se volete indicare su una mappa la posizione in cui vi trovate non fate fatica a considerarvi un puntino senza forma e dimensioni, ma non è così nel momento in cui state comprando un paio di scarpe: le dimensioni contano eccome.

IL PIANO INCLINATO

Il modo con cui reagiscono i vincoli è curioso: sembrano esseri intelligenti. Mi spiego meglio. Se appoggio sul pavimento un libro che ha un peso di 8 newton, il pavimento lo tiene fermo facendo una forza vincolare di 8 newton verso l'alto; se sul pavimento ci sto in piedi io, che peso 670 newton, la forza vincolare diventa esattamente di 670 newton, ottenendo di nuovo equilibrio statico. Come è possibile?
Il pavimento non è per niente intelligente; semplicemente si comporta come un qualsiasi corpo elastico che rispetta la legge di Hooke vista poche pagine fa. Anche appendendo il corpo alla molla abbiamo visto che veniva sempre raggiunto un equilibrio tra la forza peso e la forza elastica. La cosa particolare è che corpi come i pavimenti, e i muri hanno una costante elastica enorme, per cui la deformazione non è così evidente come nel caso di una molla. Naturalmente, come per qualsiasi corpo elastico, anche i pavimenti hanno un limite oltre al quale finisce l'elasticità e comincia la deformazione permanente: non si può riempire una stanza di blocchi di cemento, perché il pavimento crolla.
In definitiva possiamo considerare le forze vincolari come forze elastiche di corpi dotati di una costante di elasticità molto alta. Per cui, la forza vincolare avrà la stessa direzione della deformazione, che per le superfici piane è la direzione

perpendicolare ad esse. Infatti posso appoggiare una matita su un tavolo che fa una forza vincolare verticale, ma non la posso appoggiare ad un muro che fa una forza vincolare orizzontale.
Se il piano su cui è appoggiato il corpo è inclinato, la sua reazione vincolare non avrà la stessa direzione verticale della forza peso e la ricerca dell'equilibrio statico si complica un po'.



Nel disegno si vede un carrellino appoggiato su un piano inclinato: si vedono i vettori della forza peso e dalle forza vincolare, perpendicolare ad esso. Come sta reagendo il piano al peso del carrellino? Non con una forza uguale al peso del carrello, ma uguale alla componente perpendicolare al piano della forza peso. Sembra complicato ma non lo è: vi ricordate come si scompone una forza in due componenti? Bene, nel disegno la forza peso è stata scomposta in una componente perpendicolare ed una parallela al piano inclinato. La componente perpendicolare è quella che viene annullata dalla forza vincolare, mentre la componente parallela è libera di agire indisturbata. Questo è il motivo per cui se siamo su una bicicletta in una strada in discesa non abbiamo bisogno di pedalare.
Per tenere fermo il carrellino devo legare un filo che gli

impedisca di scendere lungo la discesa. La forza che deve essere fatta dal filo deve naturalmente essere della stessa intensità della componente parallela del peso. Riuscite a vedere la legge di Hooke? Il piano si deforma e reagisce in una direzione, il filo si deforma e reagisce in un'altra direzione, e insieme annullano la forza peso mantenendo il carrellino in equilibrio.

La forza fatta dal filo è proprio quello che mancava per ottenere l'equilibrio, per cui prende il nome di forza equilibrante. Nel disegno si vedono angoli strani, e sembra che sia piuttosto difficile calcolare quanto valga questa forza equilibrante. Eppure esiste una formula semplice e geniale per risolvere questo problema:

$$F_{eq} = F_p \cdot \frac{h}{l}$$

Tutto qui. Bisogna misurare la lunghezza del piano inclinato e il suo dislivello, e chiamare queste misure l e h. Naturalmente per essere veri scienziati dovremmo usare il metro come unità di misura per entrambe queste grandezze, però essendo h/l un rapporto, può bastare che h e l abbiano semplicemente la stessa unità di misura, per esempio entrambe in centimetri o entrambe in chilometri.

Facciamo alcune osservazioni. Innanzitutto, per quanto possa essere inclinato il piano, la sua lunghezza non potrà mai essere superiore al dislivello; al massimo potrà succedere che l sia uguale ad h, nel caso in cui il piano sia perfettamente verticale. Il rapporto h/l avrà un massimo di 1 quando il piano è verticale,

e un minimo di 0 quando *h* è nullo, cioè quando il piano è orizzontale. Questo vuol dire che la forza equilibrante, al variare dell'inclinazione del piano, può assumere valori che vanno da 0 (piano orizzontale, il filo non fa nessuna forze) e la forza peso del corpo (piano verticale, il filo tiene tutto il peso).
Naturalmente i piani inclinati reali non sono così regolari come quelli del nostro disegno oppure quelli costruiti nel laboratorio di fisica. Pensate per esempio ad una pista da sci: avrà una sua lunghezza e un suo dislivello, ma la sua pendenza non sarà sicuramente uguale lungo tutto il suo percorso. Per fare correttamente i calcoli bisogna sapere l'inclinazione nel punto esatto in cui si trova il corpo, riducendo anche a pochi centimetri la lunghezza del piano misurato.
In certe situazioni un'indicazione sulla pendenza può essere approssimativa: per esempio lungo le strade di montagna, in caso di forte pendenza, si può incontrare un cartello di pericolo che indica una percentuale. Questa percentuale è proprio il nostro h/l, semplicemente espresso in forma di percentuale, e segnala la massima pendenza che si può incontrare percorrendo la strada.

IL MOMENTO DELLE FORZE

Dato che abbiamo ben presente il concetto di equilibrio facciamo un piccolo esperimento: cerchiamo di tenere in equilibrio in orizzontale una matita su un dito. Fatto? Perfetto: la forza di gravità della matita è perfettamente annullata dalla piccola forza che stiamo facendo con il dito verso l'alto. Il dito si trova circa a metà della matita. giusto? Adesso proviamo ad appoggiare la matita sul dito a un quarto della sua lunghezza e a tenerla in equilibrio... voi riuscite a farlo? Io no. Eppure il mio dito fa sempre forza verso l'altro, sarò ben in grado di sostenere il peso di una matita. Eppure questa maledetta matita cade.

Va bene, chiediamo aiuto alla fisica. Le forza sono grandezze vettoriali, per cui hanno le caratteristiche che abbiamo visto nel capitolo 3. Dunque, osserviamo bene le due forze fatte sulla matita: hanno lo stesso modulo e direzione, ma hanno verso opposto, infatti prima l'equilibrio c'era, io ho solo cambiato... il punto di applicazione! Ecco cosa c'è di diverso: la forza peso viene applicata nel baricentro della matita, e se il mio dito non fa forza nello stesso punto addio equilibrio.

Infatti, rifacendo l'esperimento con un cucchiaino, noto che la posizione del mio dito deve essere spostata verso la coppetta, ossia nel punto dove si trova il baricentro.

Per essere più precisi non posso appoggiare il dito né sul baricentro del cucchiaino né su quello della matita, perché si trova all'interno del corpo. Però quando tengo questi oggetti in equilibrio la direzione della forza che faccio passa per il baricentro. Per cui è importante il punto di applicazione unito alla direzione della forza. Tenete presente questo concetto, più avanti approfondiremo l'equilibrio.

Il baricentro è il punto in cui si assume che agisca la forza peso; attorno al baricentro il corpo ruota se spinto da una forza opportuna. I corpi possono ruotare anche attorno a un punto fissato meccanicamente, detto **fulcro**. E' un fulcro, per esempio, la piccola vite che tiene unite le due lame di una forbice. Semplificando un po', si può dire che il fulcro di un corpo libero è il suo baricentro.

Quando una forza che viene applicata su un corpo non ha la direzione passante per il fulcro, si dice che possiede un **momento**. Il momento di una forza è il prodotto della sua intensità per la distanza tra la sua direzione e il fulcro.

Per questa definizione è chiaro che se la direzione della forza passa per il fulcro, il momento di questa forza è nullo. Attenzione a una cosa: la distanza di cui si parla è tra il fulcro e la direzione della forza, non il punto di applicazione.

Il momento può anche essere definito come “la capacità di una forza di ruotare un corpo”. Provate a far ruotare con un solo dito un libro appoggiato su un tavolo; dovete spingerlo in un certo modo, altrimenti il libro si limita a scivolare senza ruotare. Se riuscite ad immaginare il vettore forza che sta facendo il vostro dito lo potete vedere passare lontano dal centro del libro: c'è una certa distanza tra direzione della forza e fulcro per cui c'è momento.

LE LEVE

Grazie alla definizione di momento di una forza si può comprendere il funzionamento di molti semplici meccanismi. Per il momento parleremo solo di equilibrio statico, ossia di corpi fermi.
Prima grande famiglia di macchine semplici sono le **leve**. Si tratta di corpi rigidi fissati meccanicamente in un fulcro attorno al quale possono ruotare. Quando una leva è sottoposta ad una forza che ha un momento sulla leva stessa, per poter mantenere l'equilibrio occorre una seconda forza che imprima un momento opposto. Queste due forze vengono chiamate **forza motrice** (F_m) e **forza resistente** (F_r).

Una bilancia a piatti uguali è un ottimo esempio di leva. Per mantenere l'equilibrio, se su un piatto viene appoggiata una massa che spinge il piatto verso il basso con la sua forza peso, bisogna appoggiare sull'altro piatto una seconda massa che causi un momento opposto: la massa sul piatto destro cercherà di far ruotare la bilancia in senso orario, mentre quella sul piatto sinistro agisce in senso antiorario ristabilendo l'equilibrio.

Ricordandoci la definizione del momento di una forza, scriviamo la legge dell'equilibrio di una leva:

$$F_m \cdot b_m = F_r \cdot b_r$$

Con b_r e b_m indichiamo le distanze delle due forze dal fulcro, e queste distanze vengono chiamate **bracci**. A rigor di logica, perché ci sia equilibrio i due momenti dovrebbero essere uguali *e contrari*; si può allora dire per esempio che un momento che agisce in senso orario sia positivo, e negativo se invece agisce in senso antiorario. E' una convenzione, e potete usare quella che volete: segni opposti per forze verso l'alto o verso il basso, oppure per bracci verso destra o verso sinistra. L'importante è che sia chiaro che i momenti devono agire uno contro l'altro, altrimenti addio equilibrio.

Diamo un'occhiata alla formula precedente. Se teniamo fissi sia F_m che b_m, F_r e b_r diventano tra loro **inversamente proporzionali**. Avete presente i dondoli che ci sono ai parchetti con i giochi per i bambini, quelli in cui due bambini si siedono alle due estremità di un asse di legno e si dondolano in equilibrio? Bene, quando a qualche genitore viene in mente di giocare con il proprio figlio su quell'attrezzo, potrete osservare due tipi di persone; quelle che si siedono sul sedile normale e si spiaccicano per terra mandando in orbita il figlio, e quelle che si siedono un po' più avanti del normale, in pratica più vicino al fulcro, riuscendo a trovare un buon equilibrio.

Non c'è bisogno che vi dica quale tipo di persona conosce la fisica, vero? Se le due forze non sono uguali, per mantenere uguali i due momenti (e quindi l'equilibrio) l'unica soluzione è accorciare il braccio corrispondente alla forza maggiore.

Questo principio può essere utilizzato anche al contrario: se si vuole ottenere una forza maggiore in situazione di equilibrio, occorre diminuire il braccio. E' per esempio il caso del “piede di porco”, attrezzo tanto caro alla Banda Bassotti con il quale è possibile scardinare una porta con la sola forza delle braccia. Si tratta semplicemente di una leva con bracci molto differenti tra loro: applicando una forza dalla parte del braccio lungo, si otterrà una forza molto maggiore dalla parte opposta. Una leva di questo tipo si chiama **leva di primo genere**, e la sua caratteristica è quella di avere il fulcro posizionato tra i punti di applicazione delle due forze, la motrice e la resistente. Anche le forbici sono di questo tipo: sono due leve di primo genere i cui fulcri sono uniti tra loro.

Quando a trovarsi in mezzo è la forza resistente si parla di **leva di secondo genere**, ed è per esempio il caso dello schiaccianoci: la nostra mano cerca di chiudere la coppia di leve, la noce resiste. La forza resistente avrà sempre un braccio minore della forza motrice in quanto si trova più vicina al fulcro, per cui possiamo riuscire a rompere una noce che non potevamo spaccare a mano nuda.

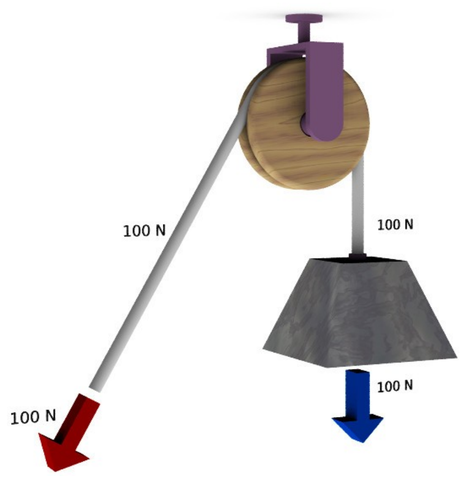
Infine, una **leva di terzo genere** ha la forza motrice posizionata tra il fulcro e la forza resistente. In questo caso ad avere il vantaggio di un braccio lungo è la forza resistente, per cui questo tipo di leva non è fatto sicuramente per esercitare grandi forze. Infatti la forza non è l'unico scopo delle leve; l'obbiettivo può essere anche la delicatezza. Con una leva di terzo genere possiamo compiere delle operazioni delicate senza timore che una nostra forza eccessiva possa essere dannosa, in quanto viene diminuita. Un classico esempio è costituito da quelle grosse pinze con cui si possono prendere le pagnotte nei ristoranti *self-service*: non abbiamo certo bisogno di molta forza per sollevare una piccola pagnotta, piuttosto non vogliamo che con la pinza la pagnotta si possa rompere; ecco perché viene utilizzata una leva di terzo genere.

Le diverse leve sono definite **vantaggiose** quando aumentano la forza (in pratica quando in equilibrio la forza resistente è maggiore di quella motrice), e **svantaggiose** quando la diminuiscono (anche se abbiamo visto che in realtà questo può non essere uno svantaggio). Le leve di primo genere possono essere sia vantaggiose che svantaggiose a seconda della posizione della distanza delle forze dal fulcro, mentre le leve di secondo genere sono sempre vantaggiose e quelle del terzo genere sono sempre svantaggiose.

LE ALTRE MACCHINE SEMPLICI

La **ruota** non ha cero bisogno di presentazioni. Piuttosto, dopo la lettura del paragrafo precedente, la possiamo vedere da un 'altro punto di vista. Essa infatti è come una serie di leve tutte con fulcro nel centro della ruota stessa: i raggi della ruota di una bicicletta sono una buona rappresentazione dei queste leve. Si dice che la ruota è una “leva continua”. Quando la ruota è motrice, come quella posteriore di una bici, funziona come una leva di terzo genere: la catena fa forza su una ruota dentata collegata alla ruota principale che si trova a contatto con il terreno; la forza viene quindi diminuita a vantaggio del maggior spazio percorso ad ogni giro.

La **carrucola** funziona con una o più ruote che hanno un particolare profilo scanalato che consente di far passare una fune. Una singola carrucola fissata per esempio al soffitto non dà nessun vantaggio in termini di forza:



sollevare un secchio pieno di cemento tramite una macchina di questo tipo non riduce la forza che si deve fare. Il vantaggio sta nella direzione in cui questa forza viene fatta: io posso tirare la corda in ogni direzione, anche verso il basso, e il secchi odi cemento salirà comunque verticalmente. In pratica una carrucola fissa è utile per cambiare direzione ad una forza.

Se si utilizza una sistema a carrucole mobili, anche la forza che faccio può essere aumentata. Con una sola carrucola mobile la forza che faccio viene raddoppiata, per cui riesco a sollevare un secchio più pesante; naturalmente il secchio si alzerà più lentamente.

Utilizzando sistemi di più carrucole mobili è possibile sollevare grandi carichi con forze non eccessive e con cavi piuttosto sottili. Basta che vi fermiate qualche minuto ad osservare una grande gru al lavoro in un cantiere edile.

Una **vite** è costituita in pratica da un lungo piano inclinato avvolto attorno ad un cilindro o ad un cono. Questo piano inclinato, accoppiato ad un altro oggetto, può essere usato per esercitare grandi forze e per unire parti meccaniche. Girando la vite la piccola pendenza del piano inclinato consente alla vite stessa di muoversi, ma la forza di attrito rende salda la connessione meccanica. Infatti non si può svitare una vite

solamente tirandola, perché la forza di attrito è troppo elevata.
Una curiosità: la maggior parte delle viti sono destrorse, ovvero si devono ruotare in senso orario per essere avvitate; esistono però anche viti sinistrorse, usate in situazioni nelle quali le viti normali si potrebbero svitare da sole (per esempio i pedali delle biciclette sono uno destrorso e uno sinistrorso).

IL BARICENTRO E L'EQUILIBRIO

Abbiamo già conosciuto il baricentro come il “centro di massa” di un corpo.
In pratica possiamo immaginare di tagliare di netto un oggetto in due parti con un taglio dritto (un piano): se il taglio passa per il baricentro le due parti che si ottengono hanno massa identica. Potete fare una prova con un pezzo di formaggio e una bilancia da cucina: se riuscite a tagliare il pezzo di formaggio in due parti che hanno peso uguale, allora siete passati con il coltello proprio nel baricentro.
Ogni corpo dotato di massa (quindi tutti) ha un baricentro. Per i corpi di forma regolare non è facile immaginare dove si trovi, per esempio nel centro di una sfera, nell'incrocio delle diagonali di un parallelepipedo e così via. Per i corpi irregolari le cose si complicano un po', ma fortunatamente ci viene in aiuto la fisica.
Un qualsiasi oggetto che subisce la forza di gravità, ovviamente, deve essere tenuto fermo in qualche modo. Quando viene bloccato in un solo punto, si dice che ha un **vincolo puntiforme**. Si parla in questo caso di un **corpo appeso**. Per esempio un quadro appeso ad un chiodo ha un vincolo puntiforme, come un lampadario attaccato ad un filo o una palla appoggiata al pavimento. Un oggetto di questo tipo si trova in **equilibrio statico** (lo abbiamo già incontrato) quando rimane in una posizione stabile senza interventi esterni. Bene, questo succede

quando **il vincolo puntiforme si trova sulla verticale del baricentro**. Pensateci bene: il quadro rettangolare sta in equilibrio se il suo centro si trova esattamente sotto al chiodo. Se vedete un quadro storto che si trova in equilibrio vuol dire o che l'attrito con il muro lo riesce a tenere fermo oppure che il gancio non è stato montato nel punto esatto; provate a tenere il quadro appeso ad un filo staccato dal muro e vedrete che troverà liberamente la sua posizione di equilibrio. Troverà da solo una posizione detta di **equilibrio stabile**. Tra parentesi, meno male che esiste l'attrito del muro, altrimenti le cornici dovrebbero essere fabbricate con una precisione del decimo di millimetro.

Adesso provate a prendervi gioco della fisica: mettete il baricentro sulla verticale del gancio del quadro, ma al contrario: il gancio sotto. Magari provate con un finto quadro di cartone, perché non è così facile non rompere tutto. Ce la fate? Dovete tenere il quadro in equilibrio su un solo punto, non tenerlo stretto tra le dita, se no addio vincolo puntiforme. Questo genere di equilibrio (piuttosto difficile da ottenere) si chiama **equilibrio instabile**. La differenza sta nel fatto che la forza peso tende ad allontanare il baricentro dalla verticale del vincolo, al contrario di quando il baricentro si trova in basso; significa che l'equilibrio stabile , se viene disturbato, viene raggiunto di nuovo automaticamente perché il peso del corpo riporta il baricentro sotto al vincolo. Infatti è decisamente più facile portare una

valigia con la maniglia in alto piuttosto che tenerla in equilibrio al contrario.
Adesso che sapete queste cose sarà facile per voi trovare per esempio il baricentro di un cartoncino ritagliato in una forma irregolare. Basta appendere il cartoncino con uno spillo e fargli raggiungere la sua posizione di equilibrio; tracciare una linea verticale che passa per il buco fatto con lo spillo; ripetere l'operazione cambiando decisamente la posizione dello spillo. Ecco fatto: le due linee si incrociano nel baricentro.
Quando un oggetto si trova in equilibrio statico tenuto fermo da più di un vincolo, si parla di **corpo appoggiato**. In questo caso la verticale passante per il baricentro deve intersecare lo spazio racchiuso tra i vari punti di appoggio. Uno sgabello, per esempio, rimane in piedi solo se il suo baricentro è sulla verticale del piano di appoggio definito dalle zampe dello sgabello che toccano terra.

L'EQUILIBRIO DEI FLUIDI

LA PRESSIONE

Una di quelle leggi fisiche che scopriamo (a nostre spese) fin da bambini è quella che fa in modo che uno spigolo fa più male di una superficie morbida: andare a sbattere contro l'angolo di una cassettiera è una cosa diversa che cadere su un cuscino. Anche senza arrivare a conseguenze così dolorose, possiamo notare come si riesca, per esempio, a piantare un chiodo nel legno solo se lo si mette nel verso giusto: appoggiando la testa sul legno e martellando la punta non si ottiene un gran risultato.

Perché tutto questo? Sembrerebbe che la stessa forza, se applicata in modi diversi, ottenga risultati diversi. Ma qual'è la differenza tra la punta di un chiodo e la sua testa? Ovviamente la sua forma, quindi la superficie di contatto con il legno: una forza applicata su una superficie piccola ottiene un risultato maggiore.

Queste considerazioni sono alla base del concetto di **pressione**: essa è **una forza applicata su una superficie**.

$$P = \frac{F}{S}$$

Giusto per fare un piccolo richiamo di semplice matematica, ricordiamoci che il fatto che la superficie S si trovi al denominatore significa che è inversamente proporzionale alla pressione P. Infatti, a parità di forza, più piccola è la superficie e più grande sarà la pressione.

Se la pressione, come è giusto che sia, è calcolata misurando la forza in newton e la superficie in metri quadrati, l'unità di misura del risultato è il pascal (Pa). Un pascal è appunto la pressione che si ottiene esercitando una forza di un newton su un metro quadrato di superficie. E' piuttosto poco, dato che equivale a distribuire il peso di un etto di riso su un tavolo quadrato di un metro di larghezza.

LA LEGGE DI STEVIN

Il concetto piuttosto semplice di pressione diventa un po' più complicato quando non abbiamo a che fare solo con corpi solidi, ma anche con fluidi. Una prima difficoltà si incontra quando si analizza la pressione esistente all'interno di un liquido.

Supponiamo di avere un grosso barile pieno di acqua fino all'orlo, e di forarlo con un colpo di fucile. L'acqua comincerà a uscire dal buco, zampillando. Una cosa che dovremmo riuscire ad immaginare è che più basso sarà il buco, con più forza uscirà l'acqua. Infatti è così: su un foro più profondo agisce un peso maggiore di acqua soprastante.

Ma adesso viene il bello. Se affianco al barile avessimo una grande vasca metallica, molto più larga del barile ma con la stessa altezza, e la riempissimo d'acqua, allora nella vasca avremo molto più liquido che nel barile. Adesso spariamo due colpi, e foriamo i due contenitori alla sessa altezza; da quale l'acqua esce con maggiore forza? Dalla vasca, perché contiene più acqua? Sbagliato.

Nella seconda metà del 1500, un fisico belga di nome Simon Stevin scoprì che la pressione all'interno di un liquido (detta “idrostatica”) non dipende dalla quantità di liquido, ma solo dalla sua densità e dalla profondità alla quale la pressione viene misurata. Il tutto proporzionale all'accelerazione di gravità terrestre (il peso del liquido è alla fine la causa della pressione).

$$P = d \cdot h \cdot g$$

Più si va in profondità e più si trova pressione alta; più il liquido è denso e più si trova pressione alta. Allora, al contrario di quello che avremmo potuto pensare, dalla vasca e dal barile escono due zampilli d'acqua identici: infatti la densità è la stessa, ed è uguale anche la profondità. E naturalmente i due oggetti si trovano sulla Terra, per cui è uguale anche g!

Questo è uno dei rari casi in cui una legge fisica va contro una nostra sensazione intuitiva, forse perché non siamo animali acquatici e raramente sperimentiamo la pressione idrostatica sulla nostra pelle. Ma, in realtà, basterebbe pensare un attimo: se fosse importante la quantità di acqua e non solo la profondità, come faremmo a tuffarci tranquillamente sia in una piscina che nel gigantesco mare? La pressione del mare dovrebbe ridurci ad una polpetta in un attimo, se non funzionasse la legge di Stevin.

Fortunatamente, la legge di Stevin funziona.

IL PRINCIPIO DI PASCAL

L'unità di misura della pressione prende il nome da Blaise Pascal, scienziato francese vissuto nella prima metà del 1600.
Egli esplorò diverse discipline; a sedici anni scrisse un trattato sulle sezioni coniche che rimase nella storia; è considerato uno dei padri dell'informatica perché inventò e costruì con le sue mani (all'età di diciotto anni) una macchina che eseguiva automaticamente addizioni e sottrazioni, la pascalina.
Per la fisica, Pascal rielaborò i concetti di pressione e di vuoto assoluto, che fino ad allora non si credeva possibile. Inoltre, studiando i sistemi idraulici, elaborò quello che viene chiamato "principio di Pascal": vediamo che cosa dice, poi vediamo cosa significa.
La pressione esercitata in un punto qualsiasi di un liquido incomprimibile si trasmette inalterata in tutti gli altri punti del liquido stesso.
Questo significa che non ha importanza la direzione della forza che agisce sul liquido: la pressione che si genera si distribuirà uniformemente in tutte le direzioni, e agirà contro tutte le superfici che si trovano a contatto con il liquido. Infatti, quando abbiamo a che fare con un tubo di gomma che perde, vediamo l'acqua zampillare fuori in qualsiasi direzione orientiamo il foro.
E grazie a questo principio che funzionano le cosiddette presse idrauliche (invenzione di Pascal). In un circuito chiuso e pieno di

liquido viene esercitata una forza su una piccola superficie, il che genera una grande pressione; questa pressione si distribuisce uniformemente in tutte le direzioni, per cui se incontra una superficie molto grande crea una forza molto superiore a quella iniziale. Con un meccanismo del genere anche un bambino può riuscire a sollevare un'automobile.

I VASI COMUNICANTI

Un'interessante conseguenza del comportamento dei fluidi è costituita da un fenomeno spiegato, appunto, dal **principio dei vasi comunicanti**.

Collegando con un tubo due contenitori riempiti con lo stesso liquido, il livello nei due contenitori tenderà ad essere uguale. Questo fenomeno si spiega con un opportuno “mix” di Stevin e di Pascal. Se al centro del tubo di collegamento ci fosse un rubinetto, una volta aperto l'acqua scorrerebbe in un senso o nell'altro, tranne che in un particolare caso: quando la pressione che spinge da una parte è identica a quella che spinge dalla parte opposta. Questo può accadere (secondo la legge di Stevin) quando la profondità del rubinetto rispetto al livello dei due contenitori è uguale (dato che la densità è la stessa, come il valore di g), e la pressione che si crea si pone nella direzione opportuna (grazie al principio di Pascal).

Con il principio dei vasi comunicanti si possono costruire sistemi di distribuzione dell'acqua che non utilizzano pompe, oppure si può più semplicemente travasare il vino da una damigiana un po' sollevata da terra. Ma un'applicazione molto più affascinante (anche se non utilizzata da tutti) è la livella ad acqua: Un lungo tubo flessibile e trasparente, a volte terminante alle due estremità con due contenitori di plastica anche essi trasparenti. Con questo attrezzo si può verificare che due punti anche molto distanti (per esempio due finestre in parti opposte di una casa) si trovino esattamente alla stessa altezza, con la semplice osservazione del livello dell'acqua.

LA PRESSIONE ATMOSFERICA

Anche l'aria che riveste il nostro pianeta è un fluido, e dato che possiede una sua massa subisce anch'essa la forza di gravità. Questa forza gravitazionale che tiene l'atmosfera “incollata” a terra e le impedisce di disperdersi nello spazio e la causa della pressione atmosferica.

L'aria che circonda il nostro corpo e tutti gli oggetti che abbiamo vicino è fortemente compressa dal peso dell'atmosfera soprastante; in pratica è come se ci trovassimo sul fondo di una grande piscina, con aria al posto dell'acqua. (Un'importante differenza sta nel fatto che i gas, al contrario dei liquidi, sono comprimibili: non esiste un punto preciso in cui l'atmosfera finisce, perché la densità “sfuma” fino al vuoto assoluto. Per cui non si può parlare di una vera misura di “profondità” nell'atmosfera.) Questa pressione, che rispettando il principio di Pascal ci comprime in tutte le direzioni, ha un valore molto alto: circa 101325 pascal al livello del mare. Questo vuol dire, facendo due calcoli, che su ogni centimetro quadrato della nostra pelle l'aria spinge con una forza pari al peso di circa un chilogrammo. Dato che la nostra pelle ha in media una superficie di 2 metri quadrati, ci portiamo addosso circa 20 tonnellate! perché non ci fanno male? Semplice: al nostro interno c'è una pressione altrettanto alta che spinge nel senso opposto e controbilancia quella atmosferica. Siamo come un palloncino, il che vuol dire che se venissimo portati nel vuoto assoluto senza tuta spaziale... saremmo un buon soggetto per Quentin Tarantino.

La prima misurazione della pressione atmosferica fu compiuta nel 1644 da Evangelista Torricelli. Egli utilizzò una piccola vasca riempita con mercurio, un metallo che alla temperatura ambiente è allo stato liquido; poi riempì della stessa sostanza un lungo tubo di vetro chiuso ad una delle estremità, e immerse il tubo stesso nella vasca dalla parte aperta, in posizione verticale. Accadde che il mercurio contenuto nel tubo scese per effetto della forza di gravità, ma il livello si fermò ad un'altezza di circa 76 centimetri dal livello della vasca. Quello che sosteneva il peso di tutto quel mercurio era proprio la pressione atmosferica che premeva contro il mercurio contenuto nella vasca, ma non contro quello contenuto nel tubo di vetro: nello spazio lasciato libero non poteva infatti essere entrata aria, ma c'era il vuoto assoluto.

In pratica si crea una situazione di equilibrio: la pressione atmosferica deve essere uguale a quella della colonna di mercurio, che si calcola grazie alla legge di Stevin:

$$P = d \cdot h \cdot g$$

Per l'esperimento di Torricelli:

$$P_{atm} = 13579 \cdot 0{,}76 \cdot 9{,}81 = 101240\, Pa$$

Lo stesso esperimento può essere ripetuto con qualsiasi liquido, ma il mercurio è particolarmente efficace perché la sua densità è molto alta; se venisse utilizzata l'acqua, la colonna di liquido che la pressione atmosferica potrebbe sostenere sarebbe alta dieci metri.

Oggi non occorre una vasca di mercurio per misurare la pressione dell'aria, esistono vari strumenti più semplici da usare, che si chiamano **barometri**. Un semplice barometro è quello “aneroide”, costituito da un largo cilindro metallico all'interno del quale c'è il vuoto. La pressione atmosferica deforma il metallo, e un sistema meccanico fa muovere un indicatore sul quadrante dello strumento.

A che cosa serve un barometro, quando Torricelli ha già misurato la pressione dell'aria secoli fa? Innanzitutto la pressione atmosferica non è affatto costante, e le sue piccole variazioni sono alla base delle diverse condizioni meteorologiche. Inoltre un particolare tipo di barometro, detto **altimetro**, può indicare l'altitudine in cui si trova sfruttando il principio secondo cui la pressione atmosferica diminuisce all'aumentare dalle quota alla quale ci si trova.

IL PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

Abbiamo visto che all'interno dei fluidi esiste una pressione che agisce in tutte le direzioni su qualsiasi cosa sia in contatto con il fluido. Che effetto può avere questa pressione su un corpo solido libero di muoversi?

Fate un esperimento: riempite il vostro lavandino d'acqua, e tenete a portata di mano un tappo di sughero. Adesso concentratevi un po' e cercate di immaginare, all'interno dell'acqua, una forma cilindrica trasparente di forma simile al tappo: questo cilindro naturalmente adesso è fatto interamente di acqua identica a quella che lo circonda. Quale forza sta sostenendo questo cilindretto d'acqua? La risposta è: la pressione dell'acqua che lo circonda. Infatti, se un tale cilindretto d'acqua si trovasse da solo in mezzo alla stanza, cadrebbe rovinosamente sul pavimento.

Ora è venuto il momento del tappo di sughero. Prendetelo tra due dita e immergetelo nel lavandino, portandolo nella posizione in cui avete immaginato il cilindro di acqua. Sentite qualcosa sulle vostre dita? Il tappo sta spingendo verso l'alto, sta cercando di tornare in superficie. Sta subendo quella che viene chiamata **spinta di Archimede**. Perché succede questo? Semplicemente perché l'acqua non è un essere intelligente, ma solo H_2O; il fatto che al posto del cilindretto di acqua ci sia adesso un cilindretto di sughero non fa nessuna differenza all'acqua del lavandino, per cui la forza che viene fatta è la stessa. Dato che il sughero è molto più leggero dell'acqua, la stessa spinta che serviva a tenere il peso dell'acqua spinge verso l'alto il sughero. Se ripeteste l'esperimento con un oggetto di un altro materiale potreste sentire un effetto diverso; una pietra vi spingerà le dita verso il basso come quando si trova fuori dall'acqua, ma se ci fate caso lo fa con minore intensità perché la spinta di Archimede non è sufficiente a sostenere il peso della pietra.

Ampliando i casi possibili, si può fare lo stesso esperimento (anche solo con l'immaginazione) con fluidi e corpi differenti: un mattone nel mare, un tappo di plastica nell'olio d'oliva, una mongolfiera nell'aria...

Archimede, il famoso scienziato greco vissuto a Siracusa 2200 anni fa, capì questo meccanismo con un colpo di genio entrando nella sua vasca da bagno, e si mise a correre per le strade nudo, gridando "eureka!" ("ho trovato!"). Dopo poco tempo formulò il suo famoso principio, che oggi traduciamo così: **un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto pari al peso del fluido spostato**.

La parola "fluido" è importante, perché significa che la spinta di Archimede esiste in presenza di sostanze liquide oppure gassose. Se vi sorge il dubbio "ma come fa una spinta ad essere pari ad un peso" significa che non avete letto con attenzione i paragrafi precedenti... Il peso è una forza (che quindi si misura in newton) esattamente come la spinta.

Leggendo con attenzione il principio di Archimede, si capisce come mai alcuni oggetti affondano in acqua ad altri galleggiano. Un corpo che ha una massa maggiore di quella del fluido che riesce a spostare affonda, perché la spinta di Archimede non riesce ad equilibrare il peso del corpo. Possiamo sperimentare sulla nostra pelle questo effetto: immersi in mare o in piscina, ci accorgiamo che se riempiamo i polmoni di aria galleggiamo meglio. Infatti in questo modo la nostra cassa toracica si espande e sposta più acqua, aumentando la spinta di Archimede (l'aria che inspiriamo non aumenta di molto il nostro peso).
Per i corpi solidi ed impermeabili i calcoli riguardanti la spinta di Archimede sono abbastanza semplici.
Innanzitutto per stabilire se un oggetto affonderà oppure no è sufficiente osservate le densità del corpo e del fluido: **se il corpo è più denso del fluido affonderà, altrimenti galleggerà**. Il nostro tappo di sughero, infatti, galleggia nell'acqua ma affonda nell'aria.
In secondo luogo il calcolo della spinta di Archimede. Bisogna conoscere o calcolare il volume (in metri cubi) del corpo, poi moltiplicarlo per la densità del fluido in cui viene immerso. In questo modo si ottiene la massa (in chilogrammi) del fluido spostato. Moltiplicando questa massa per 9,81 si ottiene il peso (in newton) del fluido spostato che corrisponde proprio alla spinta di Archimede.

$$F_a = V \cdot d \cdot 9{,}81$$

Un altro "giochetto" che si può fare è calcolare il volume di fluido spostato da un corpo galleggiante, per esempio una nave che viene varata. Conoscendo la massa della nave, sappiamo che essa dovrà spostare una uguale massa di acqua per poter galleggiare; per cui basta calcolare quanti metri cubi di acqua servono per ottenere una massa uguale a quella della nave e sapremo il volume di fluido spostato. Il calcolo si riduce quindi a dividere la massa del corpo galleggiante per la densità del fluido in cui viene immerso.

$$V = \frac{m}{d}$$

I CORPI IN MOVIMENTO

I CORPI

In questo capitolo cominciamo ad occuparci di corpi in movimento, per cui direi che la prima cosa da chiarire è il concetto di “corpo”.

Un corpo reale è un oggetto dotato di massa che occupa un certo volume. Sono corpi, ovviamente, una pallina da tennis, un sasso, un'automobile; ma sono corpi anche un metro cubo d'aria oppure una minuscola goccia d'acqua.

Per studiare il movimento dei corpi reali, la fisica utilizza, quando è possibile, delle semplificazioni, ossia delle **modellizzazioni**. In realtà questa è una cosa che facciamo tutti i giorni anche noi: per esempio, se vi chiedo quale percorso seguite per venire a scuola, non mi aspetto che mi rispondiate anche quale piede mettete per primo in classe. Per comprendere queste modellizzazioni della realtà, partiamo da un oggetto reale: una pallina da tennis, e osserviamola.

Semplificazione a livello **zero**: la pallina è un oggetto di forma sferica di diametro 6 centimetri e massa 58 grammi, ricoperta esternamente da uno strato di feltro; essa si deforma abbastanza facilmente tra le mani, infatti non rimane sferica durante l'impatto con la racchetta o con il suolo; può rompersi se sottoposta a forza eccessiva. Per conoscere la posizione dalla pallina devo sapere le coordinate nello spazio, la sua rotazione e la sua deformazione in ogni punto (peluria compresa). Si parla di

corpo deformabile.

Semplificazione a livello **uno**: la pallina è una sfera di diametro 6 centimetri e massa 58 grammi. Per conoscere la posizione dalla pallina devo sapere le coordinate nello spazio e la sua rotazione. In questo caso si tratta l'oggetto come **corpo rigido**.

Semplificazione a livello **due**: la pallina è un oggetto di massa 58 grammi. Per conoscere la posizione dalla pallina devo sapere le coordinate nello spazio. Non ci interessa forma o dimensione dell'oggetto, per cui si parla di **punto materiale**.

Trattare un corpo a “livello zero” è molto complesso, ma in alcuni casi non si può evitare. Dove è possibile, naturalmente, si utilizza una semplificazione di livello uno o due.

Ma in quali casi si possono applicare queste modellizzazioni? Innanzitutto non ci sono corpi modellizzabili e corpi che non lo sono; dipende dalla situazione. Con qualche esempio sarà tutto più chiaro.

Cominciamo con la nostra pallina da tennis. Nella fabbrica che la produce ci sono sicuramente alcuni test di resistenza che la pallina deve superare, nei quali viene sottoposta a forti deformazioni; è ovvio quindi che in quel caso debba essere considerata come corpo deformabile. Mentre viene usata per giocare, invece, ai tennisti interessa la posizione della pallina, ma anche la possibilità di farla ruotare per darle “effetto”; quindi la pallina viene semplificata in corpo rigido. Infine l'apparecchio che misura la velocità della pallina in battuta vede l'oggetto come un punto materiale, perché è irrilevante il fatto che la pallina sia deformata oppure stia ruotando su sé stessa.

Ecco un esempio più “estremo”: il nostro pianeta. Questa volta partiamo dal livello due. Un alieno che osserva la Terra da decine di anni luce di distanza e ne calcola la posizione considera il nostro pianeta come punto materiale; lo scienziato aerospaziale che calcola l'orbita di un satellite tratta la Terra come un corpo rigido; il bambino che costruisce un castello di sabbia in riva al mare mosso vede il pianeta come corpo deformabile.

LO SPAZIO

Quando parliamo della posizione di un oggetto, o di noi stessi, utilizziamo il concetto di spazio. Anche quando parliamo di spostamento di un corpo dobbiamo riferirci a questo spazio. Questa parola è talmente utilizzata da renderne difficile una semplice definizione; è una di quelle parole che quasi non si riescono a spiegare senza usare la stessa parola che si vuole definire. Cerchiamo di individuare i concetti chiave.
Lo spazio è costituito da **tre dimensioni**, perpendicolari tra loro. Queste dimensioni possono assumere diversi nomi, come per esempio lunghezza, altezza e profondità.
Lo spazio è **omogeneo**, ossia si misura nello stesso modo in tutte le sue dimensioni. In fisica, l'unità di misura che utilizziamo è il **metro**.
Lo spazio è **isotropo**. Questo significa, in soldoni, che un metro misurato in lunghezza equivale ad un metro misurato in larghezza o in profondità.
Anche se in realtà il concetto di spazio è un po' più complesso soprattutto nella fisica moderna, per quello che serve a noi i concetti che abbiamo visto sono sufficienti.
Anche qui utilizzeremo delle semplificazioni, che corrispondono alle dimensioni dello spazio: considereremo uno spazio rettilineo dotato di una sola dimensione, poi un piano a due dimensioni e infine lo spazio completo, tridimensionale.

Il primo basilare utilizzo del concetto di spazio è quello che ci indica la **posizione** di un corpo. Questa posizione ha bisogno naturalmente delle **coordinate** che abbiamo imparato in matematica, e ne occorrono tre nello spazio completo, due su un piano e una su una retta. Ma occorre un secondo fondamentale concetto per definire una posizione: serve un **punto di riferimento**. C'è bisogno di un punto nello spazio a cui associare le coordinate di valore zero, in modo da poter definire la posizione di tutti i corpi presenti. In ogni nostra frase che parla di posizione utilizziamo entrambi i concetti: “Casa mia è a tre isolati da qui”, “L'isola si trova venti miglia a ovest del porto”, “Sono in autostrada, a cinquanta chilometri da Torino”.

Perfetto, siamo pronti a muoverci nello spazio.

LA VELOCITA'

Adesso che abbiamo in pugno i concetti di corpo e di posizione, osserviamo cosa succede quando un corpo cambia posizione.
Cominciamo con un punto materiale che si trova in uno spazio ad una dimensione, come per esempio una linea retta. Un treno che si trova su una ferrovia dritta, se osservato da una certa distanza, può essere considerato come punto materiale. Se questo treno è fermo, la sua posizione non cambia se invece si muove, la posizione si modifica **nel tempo**. In un certo istante si trova in un certo punto magari all'entrata di una galleria, e qualche tempo dopo si trova su un ponte più avanti. La variazione della posizione nel tempo si chiama **velocità**:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

La velocità si calcola come spazio fratto tempo, per cui si misura in **metri al secondo** (m/s).
Se anziché una dimensione ne consideriamo due o tre, il discorso sostanzialmente non cambia: lo spostamento va calcolato nel piano oppure nello spazio.
Questa semplice formula fisica ci permette di capire bene il concetto di proporzionalità. Tutti sappiamo che se nello stesso tempo una persona percorre più metri di un'altra, significa che la prima è più veloce: infatti Δs si trova al numeratore, trattandosi di proporzionalità diretta. Invece, se il tempo per percorrere un certo spazio diminuisce, significa che la velocità aumenta:

infatti Δt si trova al denominatore, perché è inversamente proporzionale alla velocità.
Ma quanto deve essere lungo l'intervallo di tempo Δt? Questa domanda è importate per capire la differenza tra **velocità istantanea** e **velocità media**. La prima è quella calcolata per piccolissimi intervalli di tempo e di spazio, in pratica è la velocità che il corpo ha in un certo punto del suo spostamento; è come fare la fotografia al tachimetro di un motorino per registrare la velocità che indica in un dato momento. La seconda, invece, è calcolata per intervalli più lunghi; la velocità media è la stessa per due automobili che partono insieme e arrivano insieme lungo lo stesso percorso, anche se durante il viaggio non hanno sempre avuto la stessa velocità istantanea.

Nel linguaggio comune e su molti strumenti di misura, la velocità non viene misurata in metri al secondo, ma in chilometri orari. In realtà si tratta comunque di uno spazio fratto un tempo, e non è difficile convertire una velocità da una unità all'altra. In un chilometro ci sono mille metri, mentre in un'ora ci sono 3600 (60 x 60) secondi. Per cui, per esempio:

$$50\,km/h=50\cdot 1000=50000\,m/h=\frac{50000}{3600}=13{,}89\,m/s$$

Oppure, per fare in un colpo solo, si può dividere per 3,6 per passare da km/h a m/s, e moltiplicare per lo stesso numero per passare da m/s a km/h.

La velocità è una grandezza vettoriale, il che significa che per rappresentarla in modo competo bisogna conoscerne il modulo, la direzione e il verso; del resto è normale, se vi dicessi che un aereo si sta muovendo a 680 chilometri all'ora senza indicare in quale direzione sta volando, dare un'informazione incompleta sulla sua velocità.

L'ACCELERAZIONE

La parola "accelerazione" viene intesa, nel linguaggio come un aumento della velocità. Un'automobile, comunemente, accelera quando deve superare un'altra auto, raggiungendo una velocità più alta; infatti il pedale che si usa si chiama proprio "acceleratore".
In realtà l'accelerazione è un concetto più ampio, abbastanza semplice: è una qualsiasi variazione di velocità.

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Quindi se in un periodo di tempo più o meno lungo la velocità di un corpo è cambiata, si dice che questo corpo ha avuto una accelerazione: essa è positiva se la velocità aumenta, negativa se diminuisce. Quindi anche quando si frena in automobile si sta accelerando, il che in effetti può sembrare strano.
Ricordiamoci che la velocità è una grandezza fisica vettoriale, e un vettore può cambiare non solo come modulo ma anche come direzione. Di conseguenza abbiamo una accelerazione anche se la nostra automobile percorre una curva a velocità costante, perché anche se il valore numerico della velocità non cambia, il vettore si modifica ruotando.
L'accelerazione viene misurata in metri al secondo quadrato (m/s^2). Per chi è alle prime armi con la fisica, questa unità di misura può sembrare un po' strana. Per non confondersi, è utile leggerla in questo modo: *3 m/s^2 significa che la velocità*

aumenta di tre metri al secondo ogni secondo; la ripetizione della parola "secondo" ricorda che i secondi sono elevati al quadrato.
In questo paragrafo non si può non citare una accelerazione particolare, quella di gravità terrestre. La utilizzeremo molte volte più avanti, ma qui cominciamo a dire che questa accelerazione si chiama "g", vale 9,81 m/s^2 ed è l'accelerazione che hanno i corpi in caduta libera sulla superficie del nostro pianeta.
L'accelerazione è un concetto fisico davvero molto importante, per cui conviene esercitarsi bene con questa grandezza prima di proseguire.

IL MOVIMENTO DI UN CORPO SU UN PIANO

IL MOTO RETTILINEO UNIFORME

Il primo e più semplice movimento che studiamo è quello di un corpo che si muove con velocità costante lungo una linea retta. La velocità non cambia né come intensità né come direzione, per cui l'accelerazione vale zero. Questo moto si chiama rettilineo per via della sua traiettoria "senza curve", e uniforme per via della costanza della sua velocità.
Come, se vi ricordate, per il concetto di punto materiale, anche il moto rettilineo uniforme (MRU) è una semplificazione che non esiste nella realtà: non esiste nessun corpo che riesca a muoversi perfettamente in linea retta e a velocità costante. Comunque questa semplificazione è applicabile a molte situazioni, sempre di non voler essere troppo pignoli. Per esempio, il volo di un aereo può in alcuni tratti essere semplificato come MRU senza commettere troppi errori.
Quando riusciamo ad applicare questa semplificazione possiamo eseguire dei calcoli sul movimento del corpo utilizzando una formula piuttosto semplice, che si chiama **legge oraria** del MRU. Questa assomiglia molto alla definizione della velocità, perché nel moto rettilineo uniforme la velocità media e quella istantanea coincidono in ogni punto.

$$v=\frac{s}{t} \qquad s=v\cdot t \qquad t=\frac{s}{v}$$

La legge oraria può essere naturalmente usata in ognuna delle sue tre forme, a seconda delle informazioni che abbiamo. L'importante è fare attenzione alle unità di misura: non si può per esempio moltiplicare una velocità in km/h per un tempo in minuti. Per non sbagliarsi conviene portare sempre tutte le grandezze all'unità fondamentale: spazio in metri, tempo in secondi e velocità in metri al secondo.

Essendo v costante, dalla prima forma della legge oraria risulta che spazio e tempo sono tra loro direttamente proporzionali. Infatti, se viaggiamo in autostrada a 120 km/h costanti, sappiamo benissimo che in due ore percorriamo il doppio dello spazio percorso in un'ora soltanto. Piano piano stiamo scoprendo che certi concetti matematici non sono poi così complicati.

IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

Sappiamo che se la velocità non è costante non si può avere un moto rettilineo uniforme. Se però la velocità si modifica **con accelerazione costante**, si ha un altro moto particolare, il moto uniformemente accelerato.

Con accelerazione costante, la velocità varia nel tempo in modo regolare. In particolare, se al tempo zero la velocità è nulla:

$$v = a \cdot t$$

In realtà il MRU è un caso particolare di MUA, con accelerazione uguale a zero (è comunque costante).

Se nel MUA basta che l'accelerazione sia costante, essa può avere un qualsiasi valore, anche negativo, e quindi anche un treno che sta rallentando potrebbe muoversi di moto uniformemente accelerato, anche se questa sembra una contraddizione.

Un caso particolare di MUA è quello in cui il corpo parte da fermo, con velocità uguale a zero. Ecco la sua legge oraria:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Con questa formula è possibile calcolare lo spazio percorso dal corpo nel tempo t, conoscendo la sua accelerazione a. Se l'accelerazione vale zero, dato che il corpo parte da fermo, lo spazio percorso è nullo. I conti tornano.

Con la legge oraria si può calcolare anche il tempo di percorrenza di una certa distanza (sempre con partenza da fermo):

$$t=\sqrt{\frac{2\cdot s}{a}}$$

La presenza della radice quadrata indica che tra spazio percorso e tempo impiegato c'è una proporzionalità quadratica inversa; l'accelerazione al denominatore, invece, ci ricorda che essa è in grado di ridurre il tempo impiegato. Conviene abituarsi a vedere le formule in questo modo, perché aiuta a capire che la matematica non è affatto astratta.

Un particolare MUA è la caduta libera, in cui in teoria l'accelerazione è quella di gravità (nel caso della superficie terrestre, 9,81 m/s^2). perché in teoria? perché nella realtà nelle vicinanze della superficie terrestre c'è (per fortuna) la nostra atmosfera, e questa è causa di un attrito crescente con la velocità; infatti, un paracadutista che si butta da un aereo accelera fino a circa 180 km/h, per poi cadere a velocità costante (la forza di gravità è equilibrata da quella di attrito).

IL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

Capovolgiamo una bicicletta ed appoggiamola sul sellino e sul manubrio. Poi facciamo girare una delle ruote. Chi non lo ha mai fatto?

Osserviamo il movimento della valvola della ruota, o meglio (se c'è) il catarifrangente fissato sui raggi. Questi oggetti percorrono una traiettoria circolare, e se li osserviamo per un tempo abbastanza breve sembrano non rallentare. Essi si muovono di **moto circolare uniforme**: la traiettoria è un cerchio e il modulo della velocità è costante.

Attenzione: il **modulo** della velocità è costante, non la sua direzione. Infatti, ricordiamoci che anche una curva richiede una accelerazione, cioè una variazione del vettore velocità. In questo caso l'accelerazione ha intensità costante, ma punta sempre verso il centro della circonferenza seguita come traiettoria; per questo motivo si chiama **accelerazione centripeta**.

Si muovono di MCU, per esempio: i cavalli di una giostra, i denti di un ingranaggio, i vestiti nella centrifuga della lavatrice, un qualsiasi punto della superficie terrestre.

A questo punto dobbiamo incontrare dei personaggi nuovi, che poi ritroveremo più avanti:

Il **periodo** T è il tempo in cui il corpo compie un giro completo, e si misura in secondi.

La **frequenza** f è il numero di giri che il corpo compie in un secondo, e si misura in hertz [Hz].

Queste due grandezze sono strettamente imparentate: infatti, se una ruota compie due giri al secondo (frequenza 2Hz), significa che per compiere un giro impiega mezzo secondo (periodo 0,5s). In pratica:

$$f=\frac{1}{T} \qquad \text{e} \qquad T=\frac{1}{f}$$

La **velocità angolare** ω è l'angolo θ percorso in un secondo, e si misura in radianti al secondo [rad/s].

Per chi non ha il piacere di conoscerli, il **radiante** è un'unità di misura degli angoli: è quell'angolo che sottende un arco di circonferenza di lunghezza uguale al raggio della circonferenza stessa. Per esempio, il giro completo di 360 gradi corrisponde a 2π radianti.

Benissimo, adesso abbiamo tre nuovi compagni di viaggio. Nel moto circolare uniforme rimangono tutti costanti. In ogni movimento meccanico in cui sia presente il MCU è specificata almeno una di queste grandezze. Per esempio, il “33 giri” (il disco di vinile grande, per capirci) si chiama così perché fa suonato ad una frequenza di 33 giri al minuto (cioè 0,55Hz).

Calcoliamoci adesso qualche dato utile.

La **velocità tangenziale** è, come sempre, calcolabile facendo spazio fratto tempo. Dato che lo spazio percorso in un periodo T è un'intera circonferenza, conoscendo il raggio possiamo fare:

$$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{T}$$

Se abbiamo a disposizione la velocità angolare, dato che è espressa in radianti al secondo, possiamo calcolare la velocità in questo modo:

$$v = R \cdot \omega$$

L'accelerazione centripeta, invece, essendo la variazione della velocità nel tempo, si calcola così:

$$a_c = \frac{v^2}{R} \qquad \text{oppure} \qquad a_c = \omega^2 \cdot R$$

Quest'ultima grandezza, per un motivo che approfondiremo in seguito, viene comunemente confusa con il concetto di "forza centrifuga". Essa è quella sensazione che per esempio sentiamo su una macchina che percorre una curva: ci sentiamo "spinti" verso l'esterno. In realtà, dato che l'accelerazione punta verso il centro del moto, non c'è nessuna forza che punti verso l'esterno.

IL MOTO ARMONICO

Il moto armonico è un parente del moto circolare uniforme, nel senso che è il movimento che compie la proiezione su una retta di un corpo che percorre un MCU. Immaginate una mosca che per qualche motivo continui a girare lungo un cerchio verticale, facendo di continuo il "giro della morte". Se ci fosse il Sole esattamente a picco nel cielo, l'ombra della mosca percorrerebbe un segmento avanti e indietro, rallentando agli estremi e accelerando al centro. Il movimento dell'ombra è appunto un moto armonico.

Se non esistessero le forze di attrito, l'oscillazione di una molla seguirebbe un moto armonico continuo; in realtà si hanno dei moti armonici *smorzati*, proprio a causa delle forze di attrito. Si può per esempio immaginare un carrellino collegato ad un muro con una molla; tendendo la molla e lasciando andare il carrellino, esso andrebbe avanti e indietro seguendo un moto armonico, fino a essere fermato dall'attrito volvente delle ruote e da quello fluidodinamico dell'aria.

Per quanto riguarda la legge oraria del moto armonico, dobbiamo fare ricorso alla funzione trigonometrica "seno", proprio perché abbiamo la proiezione di un moto circolare.

$$\Delta s = r \cdot \cos(\omega \cdot \Delta t)$$

oppure

$$\Delta s = r \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot \Delta t}{T}\right)$$

In queste formule r è il raggio del moto circolare di cui stiamo osservando la proiezione, ω è la velocità angolare e T è il periodo.

IL MOTO PARABOLICO

Una pallina lasciata cadere in un ambiente in cui esiste la forza di gravità si muoverà ovviamente di moto uniformemente accelerato. Se però la pallina viene fatta cadere dandole una velocità non verticale, per esempio lanciandola in avanti, essa si muoverà di un moto particolare, il **moto parabolico**. Esso è semplicemente la somma di due movimenti: il MRU in orizzontale e il MUA in verticale. Questa somma crea una parabola perfetta, naturalmente con la concavità verso il basso, dove spinge la forza di gravità.

La posizione di un corpo che si muove di moto parabolico può quindi essere calcolata separatamente per la componente orizzontale (MRU) e verticale (MUA).

Sulla superficie terrestre i corpi nella realtà non seguono un moto perfettamente parabolico, perché l'attrito fluidodinamico dell'aria diminuisce entrambe le velocità. Per questo motivo può capitare che un oggetto lanciato in alto e in avanti, ricada a terra in modo verticale, essendo stata annullata la componente orizzontale del moto. Provate con qualcosa che subisca molto la resistenza dell'aria, come una foglia. Lanciatela in orizzontale: il suo moto parabolico terminerà quasi subito, quando l'attrito con l'aria avrà annullato la velocità orizzontale; a questo punto la foglia cadrà verticalmente a velocità costante, spinta dalla sua forza peso e frenata dall'aria.

LE FORZE E I MOVIMENTI

I TRE PROTAGONISTI

I principi della dinamica sono uno dei tanti buoni motivi per amare la fisica, non sarebbe poi così sbagliato chiamarli prìncipi anziché princìpi. Si tratta di concetti semplici, ma enormemente importanti per comprendere il mondo che ci circonda. Questa in fondo è una buona notizia, perché con alcune idee di base ci si apre un mondo.

Per cominciare conosciamo i tre protagonisti di questi principi, che sono tre grandezze fisiche che abbiamo già conosciuto in precedenza.

La **forza**: misurata in newton [N], è la grandezza vettoriale che descrive l'interazione tra corpi.

La **massa**: misurata in chilogrammi [kg], è la quantità di materia di cui è composto un corpo.

L'**accelerazione**: misurata in metri al secondo quadrato [m/s^2], è la variazione della velocità nel tempo.

Una volta incontrati i protagonisti, bisogna essere sicuri di conoscerli bene. Se avete qualche dubbio conviene farsi un giro tra le pagine precedenti.

Tutto a posto? Perfetto. Possiamo cominciare con i principi della dinamica.

I PRINCIPI DELLA DINAMICA

Le leggi fondamentali della natura che stiamo per incontrare non sono così nuove: in realtà le abbiamo imparate ancora prima di saper camminare. Anche adesso le conosciamo benissimo, solo che forse non sappiamo ancora definirle a parole o utilizzarle per fare di calcoli.

Per esempio, immaginate di essere in piedi davanti ad un secchio, che si trova appoggiato a terra a cinque o sei metri da voi; se vi chiedo di lanciare una pallina cercando di buttarla nel secchio, immaginate la differenza se vi do una pallina da tennis oppure una da ping pong, oppure ancora una boccia di ferro. Soppeserete per un attimo la palla, poi la lancerete cercando di fare canestro. Ovviamente, farete più forza per lanciare la palla più pesante, meno per quella più leggera. Lo farete istintivamente,senza fare nessun calcolo, semplicemente perché volete che la palla vada ad una certa velocità e sapete fin da bambini che le cose più pesanti sono più difficili da spingere.

Se avete voglia potete anche non immaginare questo esempio e fare la prova pratica. Naturalmente non riuscirete subito a fare canestro, perché la vostra mano non è una bilancia, il vostro occhio non è un metro, il vostro cervello non è una calcolatrice e il vostro braccio non è un dinamometro. Però la palla non andrà tanto lontano dal secchio. Se lanciaste la palla da tennis con la stessa forza che usate per la palla da ping pong, essa cadrebbe

ai vostri piedi.
Il nostro cervello esegue dei calcoli istintivamente che ci permettono di muoverci e agire nel mondo che ci circonda, e lo fa applicando le leggi della fisica che ha imparato con l'esperienza. Pensate alla prima volta che avete visto una palla medica in palestra. Quando l'avete presa in mano, di sicuro vi è sembrata più pesante di quanto vi aspettavate, perché l'aspetto di una palla vi ha ingannato; i muscoli delle braccia hanno fatto una forza insufficiente e la palla e scesa un po'; se non vi è caduta, le braccia si sono subito adattate al nuovo peso e il cervello ha registrato l'esperienza.

Sto facendo un giro molto largo per arrivare a questi principi della dinamica, però dovete assolutamente capire che la fisica è una materia che non vi fa studiare cose strane, semplicemente vi da gli strumenti per poter applicare cose che in realtà già sapete. E' come se voi foste capaci di aggiustare i motorini, e la fisica fosse una cassetta piena di attrezzi utili.

Arriviamo finalmente ai principi. Ve li racconto in modo che li capiate, poi vi presento la loro forma più conosciuta. Attenzione che nelle righe che seguono c'è un'alta concentrazione di cose importanti.
Torniamo all'esempio di voi che lanciate la palla nel secchio. Il fatto che usiate più forza per gli oggetti più pesanti significa che

l'accelerazione della palla è direttamente proporzionale alla forza che fate e inversamente proporzionale alla massa della palla (PD2):

$$a=\frac{F}{m}$$

Questa formula può essere naturalmente usata anche nelle sue forme inverse:

$$F=m\cdot a \qquad m=\frac{F}{a}$$

Osservate che cosa succede nella prima formula se la forza vale zero: anche l'accelerazione si annulla, qualsiasi sia il valore della massa. **Qualsiasi oggetto non può quindi cambiare la sua velocità senza una forza** (PD2). In realtà, almeno sul nostro pianeta, c'è sempre almeno una forza, quella di gravità; però, dovunque si osserva un corpo fermo, significa che esiste una forza che annulla quella gravitazionale. Un libro rimane fermo sul tavolo perché la sua forza peso è annullata dalla forza vincolare del piano del tavolo. Quindi è importante ricordare: perché non ci sia accelerazione non è necessario che non ci sia nessuna forza, basta che sia nulla la **somma di tutte le forze** agenti sul corpo.

Infine, provate a lanciare una palla da pallacanestro in orizzontale con entrambe le braccia: la palla accelera e raggiunge una certa velocità; provate poi a fare la stessa forza contro un muro: adesso siete voi che accelerate, anche se meno della palla. Eppure la forza era la stessa e fatta nello stesso modo; la differenza sta nella massa della palla e di quella del pianeta Terra, a cui il muro è attaccato. In realtà, **quando fate una forza su un oggetto, anche voi ricevete la stessa forza in direzione opposta** (PD3), come un elicottero che spinge l'aria in giù per sollevarsi.

Come? I principi della dinamica? Ma li avete appena letti e, spero, capiti! Sono indicati dalle sigle PD1, PD2 e PD3. Comunque adesso li vediamo nella forma che tutti conoscono, vediamo se riconoscete i concetti che abbiamo appena visto.

Primo principio: un corpo rimane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché nessuna forza agisce su di esso.

Secondo principio: forza uguale massa per accelerazione.

Terzo principio: ad ogni forza corrisponde una forza uguale e contraria.

I SISTEMI INERZIALI

Innanzitutto bisogna dire che il concetto espresso attraverso il primo principio della dinamica viene spesso indicato con il termine **inerzia**. Infatti si dice che quando si smette di pedalare la bicicletta continua per un po' ad andare avanti per inerzia, indicando che in assenza di forza non c'è accelerazione e quindi la velocità non può diminuire. Per esperienza sappiamo che la bici non andrà avanti all'infinito, ma adesso potete capire perché: anche se non si pedala, la bici subirà comunque le forze di attrito, per cui si fermerà frenata da queste ultime.
In secondo luogo definiamo un **sistema**: esso è un ambiente di osservazione, un insieme di riferimenti. E' un sistema una stanza di casa vostra, una spiaggia, l'abitacolo di un'astronave, la cabina di una nave, un bosco, il Sistema Solare.
E' possibile compiere osservazioni di fenomeni fisici in un qualsiasi sistema, ma noteremo che in alcuni casi le leggi fisiche sembrano non funzionare molto bene. Per esempio si può osservare una pallina mettersi a rotolare di qua e di là sul pavimento di una cabina di una nave, oppure si può sentire sul proprio corpo una forza misteriosa spingerci verso il basso mentre ci troviamo in ascensore.
La cabina della nave e l'ascensore sono sistemi in cui non sempre le cose vanno d'accordo con i riferimenti che abbiamo a disposizione, ed è facile capire perché: la nave è probabilmente

fatta oscillare dal mare mosso, e l'ascensore si sta muovendo.
In una qualsiasi stanza di casa vostra, invece, certe stranezze normalmente non succedono: la palla rimane ferma sul pavimento obbedendo al primo principio.
I sistemi come la vostra stanza si chiamano **sistemi inerziali**, e sono quelli in cui **vale il primo principio della dinamica**, per l'appunto il principio di inerzia. Nei sistemi non inerziali i fenomeni fisici osservati, in riferimento al sistema, non rispettano le leggi della fisica.
Un sistema può essere considerato inerziale quando si muove di moto rettilineo uniforme (quindi anche fermo) rispetto ad un altro sistema inerziale. Per esempio, nella cabina di un ascensore che si sta muovendo a velocità costante gli oggetti si muovono in modo "regolare", e i nostri sensi non sono in grado di farci capire se stiamo salendo oppure scendendo, a meno che, ovviamente, non ci sia una finestrella; se sapete in quale direzione si sta muovendo l'ascensore è solo perché ricordate quale pulsante avete premuto. Oppure quando si dorme in treno di notte, quando si aprono gli occhi può capitare di non capire da che parte si sta andando; succede perché non si vede nulla dal finestrino, e il treno sta viaggiando a velocità più o meno costante facendo diventare il treno un sistema inerziale. Se il treno percorresse una curva ce ne renderemmo subito conto, sia dai sensi del nostro corpo sia osservando il movimento della bottiglietta che rotola sul pavimento spinta da una forza

invisibile.

Ma se ogni sistema inerziale è tale solo in riferimento ad un altro, qual'è il sistema inerziale principale? Il nostro pianeta, la Terra, può essere considerato inerziale, se non si va troppo per il sottile; di conseguenza, ogni sistema che si muove di MRU rispetto alla Terra (come l'ascensore o il treno degli esempi precedenti) sono sistemi altrettanto inerziali. Nel laboratorio di fisica della vostra scuola, infatti, i principi della dinamica funzionano. Ma solo perché non misuriamo le cose con sufficiente precisione.

In realtà il vero sistema inerziale principale è il centro dell'Universo, per cui la Terra, con tutte le sue rotazioni e rivoluzioni, non è di sicuro inerziale. Molti fenomeni indicano questo fatto: le maree, dovute ai movimenti reciprochi tra Terra e Luna; i movimenti dell'atmosfera, che si muove in cicloni orari a sud dell'equatore e in anticicloni antiorari da noi; il fatto che la forza di gravità sia leggermente maggiore ai poli.

Comunque, come molto spesso accade in fisica, se non cerchiamo la precisione assoluta ci sono certe semplificazioni che possono essere accettabili, come il considerare il nostro pianeta un sistema inerziale.

LE OSCILLAZIONI

Il secondo principio della dinamica può spiegare moltissimi fenomeni che osserviamo intorno a noi.
Per esempio, una qualsiasi molla messa in oscillazione segue perfettamente la legge dell'allungamento elastico (legge di Hooke) e la PD2. Osservando un filmato in "pausa" (statica) si nota la deformazione elastica della molla, e grazie alla legge di Hooke si può calcolare la forza con cui la molla tenta di ritornare alla posizione iniziale; guardando il filmato in "play" (dinamica), si nota come la forza elastica agisca sulla massa per farla accelerare in un senso o nell'altro (sempre nel senso contrario alla deformazione). Ma perché la molla, anche quando è tornata alla sua forma iniziale, continua ad oscillare? La risposta è il principio di inerzia: dato che in quel punto non c'è nessuna forza elastica, la molla mantiene la sua velocità fino a deformarsi dall'altra parte.
Tutti i corpi elastici oscillano in questo modo, come per esempio il piatto di una batteria colpito dalla bacchetta o la piccola molla di un orologio.
Un altro tipo di oscillazione spiegato dal secondo principio della dinamica è il movimento di un pendolo. In questo caso non c'è nessuna forza elastica, ma è la forza di gravità che agisce sul corpo appeso quando il filo non è esattamente verticale. Anche in questo caso, è il primo principio della dinamica a fare in modo

che il pendolo superi la sua posizione verticale.

Naturalmente, in tutte le situazioni reali le oscillazioni non sono infinite, a causa delle forze di attrito. E' per questo che un buon pendolo che possa oscillare per molto tempo deve avere un oggetto piccolo di grande massa (come una pallina di metallo): piccola forza di attrito su grande massa crea una piccola accelerazione (PM2).

LA FORZA CENTRIFUGA

I passeggeri che si trovano dentro un'automobile che percorre una curva si sentono spinti lateralmente verso l'esterno. Ne abbiamo parlato quando abbiamo studiato il moto circolare uniforme: questa sensazione si chiama “forza centrifuga”. In realtà non esiste nessuna forza che spinga le persone all'esterno della curva, si tratta di una **forza apparente**: la macchina subisce un'accelerazione percorrendo la curva (la sua velocità cambia direzione), e per il principio di inerzie i corpi dei passeggeri tendono a proseguire il loro movimento secondo un moto rettilineo uniforme; i sedili dell'automobile spingono i passeggeri nella direzione della curva, e qui avviene l'illusione. Dato che il cervello dei passeggeri ha come riferimento principale l'abitacolo dell'auto, la sensazione è quella di una forza che li spinga contro i sedili e non viceversa. In pratica **la vera forza è centripeta** (fatta dai sedili sui corpi dei passeggeri).

In poche parole: quando osserviamo un effetto, automaticamente ce lo spieghiamo prendendo come riferimento ciò che ci circonda. Oltretutto, quando il cervello non riesce bene a “ricostruire i fatti”, spesso si ha una sensazione di nausea; questo succede soprattutto se non si ha nessun punto di riferimento esterno, come per esempio all'interno di una nave. Il fatto è che normalmente i veicoli sono sistemi non inerziali. E' per questo che a chi soffre il mal d'auto si consiglia di guardare la strada e di non leggere.

La forza centrifuga è anche la causa di fenomeni come per esempio l'acqua che non esce da un secchio mentre viene fatto ruotare, neppure nel momento in cui il secchio è al contrario. Ovviamente non c'è nessuna forza che spinge l'acqua in su in quel momento: l'acqua in realtà sta cadendo, ma il secchio scende più velocemente e il liquido non riesce ad uscire. Ci sono molti altri esempi del genere (la centrifuga della lavatrice, il giro della morte, vari tipi di giostre...).

Un altro luogo dove la forza centrifuga ha un ruolo fondamentale è in tutti gli oggetti che si trovano in orbita, in modo particolare la Stazione Spaziale Internazionale dove vivono astronauti anche per alcuni mesi. Dalle immagini che si possono vedere in televisione o in rete si capisce subito che nella ISS non c'è il peso: gli astronauti galleggiano e si devono aggrappare alle maniglie sparse per la stazione per muoversi, addirittura i loro capelli fluttuano intorno alle loro teste.

Ma davvero non c'è la forza di gravità?

La Terra è ancora molto vicina, per cui in realtà la forza peso continua ad esserci eccome. Il fatto è che la Stazione orbita attorno al nostro pianeta ad una velocità tale che la forza centrifuga è uguale alla forza di gravità: si ha una situazione di equilibrio, anche se una delle due forze è solo apparente. In realtà la ISS (e i suoi passeggeri) cade all'infinito, ma

l'accelerazione centripeta è uguale a quella gravitazionale.
Come abbiamo visto studiando il MRU, l'accelerazione centripeta dipende dalla velocità e dal raggio della traiettoria: infatti ogni satellite in orbita ha una velocità ben definita per ogni altezza dal suolo terrestre: in particolare i satelliti **geostazionari** (come quelli per le osservazioni meteo) devono trovarsi ad una distanza dal centro del pianeta di 42168 km. In questo modo essi ruotano insieme alla Terra e si trovano sempre sopra lo stesso punto.

LA FORZA DI GRAVITÀ

Ecco due importanti formule che abbiamo incontrato: quella della forza gravitazionale e il secondo principio della dinamica:

$$F_p = m \cdot 9{,}81 \qquad\qquad F = m \cdot a$$

Notate qualche somiglianza? Certo, perché sono la stessa formula! In realtà la legge della forza peso **è** il PD2, con l'accelerazione gravitazionale terrestre "g".

Il moto uniformemente accelerato dovuto al peso si chiama "caduta libera", e non è altro che un movimento verso il basso con accelerazione pari a 9,81 m/s^2.

La sensazione di peso può essere annullata, aumentata o invertita da vari tipi di macchinari o mezzi di trasporto. Tutto dipende dall'accelerazione e dal suo rapporto con g. Infatti nei veicoli con forti accelerazioni (aerei, macchine da corsa) si sente parlare di accelerazioni di 2g, 3g eccetera: corrispondono al doppio di 9,81 m/s^2, al triplo e così via.

IL LAVORO E L'ENERGIA

IL LAVORO

Quando una forza genera come effetto uno spostamento, in fisica si dice che ha compiuto un **lavoro**. La definizione è piuttosto semplice, ma ci sono alcune situazioni in cui il termine può creare confusione.
Cominciamo dalla formula:

$$L=\vec{F}\cdot\Delta\vec{s}$$

C'è scritto che il lavoro è uguale al prodotto tra la forza e lo spostamento. Misurando la forza in newton e lo spostamento in metri, il lavoro risulterà il **joule (J)**. Una forza di 1 N che provoca uno spostamento di 1 m compie un lavoro di 1 J.
Attenzione però! Lo spostamento da considerare è quello parallelo alla forza (per questo nella formula le grandezze compaiono in forma vettoriale). Se non lo è, va considerata solo la componente nella direzione della forza.
Per esempio: con una forza di 30 newton sollevo una valigia di mezzo metro, e secondo la legge che abbiamo visto ho compiuto un lavoro sulla valigia di 30 x 0,5 = 15 J. Ma se poi mi metto a camminare in orizzontale (senza percorrere salite o discese) con la valigia in mano, percorrendo anche molti metri, il mio lavoro è **nullo** anche se devo comunque fare una forza per tenere sollevata la valigia. Questo succede perché lo spostamento che faccio non ha nessuna componente verticale, mentre la mia forza è puramente verticale in quanto deve contrastare il peso

della valigia.
Nell'esempio appena fatto abbiamo parlato solo del lavoro fatto sulla valigia, senza considerare nient'altro.
Adesso viene il bello. Se decidessi di spostare la valigia senza sollevarla ma facendola strisciare sul pavimento, forse farei meno fatica. Eppure in questo modo il lavoro compiuto non sarebbe più nullo, perché la forza che dovrei fare sarebbe orizzontale (per vincere l'attrito) proprio come lo spostamento.
Da dove arriva questo controsenso? Viene dal fatto che nell'uso comune la parola “lavoro” è associata alla “fatica” che facciamo a compiere qualcosa. Sembra impossibile il fatto che se camminiamo in piano per 20 km uno zaino da 30 kg sulle spalle non compiamo nessun lavoro... Eppure in fisica è così. Abbiamo fatto fatica ma sullo zaino non abbiamo fatto neppure un joule di lavoro.
Per non confondersi bisogna associare ala parola “lavoro” il risultato che si ottiene alla fine.
Un altro esempio che sembra assurdo: un camminatore esce di casa e si fa un giro di 24 chilometri, salendo in montagna ad alta quota, poi torna a casa; quanto lavoro ha compiuto in totale? Zero! Lo spostamento totale è nullo, perché è tornato dove era partito...
L'esempio del camminatore ci fa scoprire un'altra cosa. Se è salito in montagna ha fatto uno spostamento verticale vincendo la forza di gravità, per cui ha sicuramente compiuto un lavoro.

Eppure il lavoro totale una volta tornato a casa è nullo. Questo significa solo una cosa: scendendo egli ha compiuto un *lavoro negativo* che ha annullato quello fatto in salita.
Il concetto di lavoro negativo può essere capito meglio se visto come lavoro *ricevuto*. Il lavoro che si fa è positivo, quello che si riceve è negativo. Come un ciclista che in una discesa si vede restituire il lavoro fatto in salita.

Adesso che abbiamo definito scientificamente il lavoro, ci rimane da capire *cos'è*. In questo capitolo lo scopriremo.

LA POTENZA

Parliamo sempre di lavoro. Durante un trasloco, due persone trasportano scatoloni salendo due piani di scale. Se entrambi portano la stessa quantità di materiale, naturalmente il lavoro compiuto è uguale. Ma se si dice che una delle due persone è stata *più potente* dell'altra, che cosa significa?

L'unica differenza che conta è il **tempo** che la persona ha impiegato a compiere il lavoro. La persona più potente è stata quella più veloce.

La potenza in fisica infatti è definita come il rapporto tra il lavoro compiuto e il tempo impiegato a compierlo.

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

L'unità di misura della potenza è il watt (W): un watt è la potenza sviluppata compiendo un lavoro di un joule in un secondo.

I traslocatori del nostro esempio potrebbero usare anche un montacarichi elettrico: la sua potenza (sicuramente maggiore di quella umana) consentirebbe di sollevare le casse in minor tempo. La potenza in watt è una misura che si legge spesso su vari apparecchi elettrici, dalle lampadine alle lavatrici alle enormi gru da cantiere.

E' importante ricordare il legame tra la potenza e i l tempo: una moto potentissima ci può portare in cima ad un passo alpino, ma è un lavoro che si potrebbe fare anche a piedi; l'unica differenza è il tempo in cui si arriva...

L'ENERGIA

Abbiamo capito che cos'è il lavoro e che può essere svolto con più o meno potenza. Ma che cosa rende possibile compiere un lavoro? Che cosa serve per sollevare un carico o per vincere una forza di attrito?

La risposta è un concetto fondamentale per la fisica: l'energia. Essa e la *capacità di compiere un lavoro*. Qualsiasi macchinario o essere vivente che compie un lavoro deve utilizzare una qualche forma di energia: una catapulta usa l'elasticità del suo meccanismo, un montacarichi utilizza energia elettrica, un ciclista usa l'energia contenuta negli alimenti che ha mangiato.

L'energia e il lavoro sono così strettamente legati da avere la stessa unità di misura: il joule (J). Con un joule di energia si può compiere un lavoro di un joule (anche se come vedremo non tutta l'energia usata riesce a produrre lavoro).

In pratica si può dire che il lavoro sia una particolare forma di energia, un'energia che produce un risultato.

ALCUNI TIPI DI ENERGIA

L'energia si presenta in molte forme. In questo paragrafo ne vediamo alcune.
Prima, però, un anticipo del prossimo paragrafo: l'energia non si può né creare né distruggere; essa può cambiare forma, anche attraverso il compimento di un lavoro.

Energia cinetica
E' quella contenuta nei corpi in movimento.
Una freccia contiene abbastanza energia cinetica da vincere l'attrito con il bersaglio conficcandosi in esso.
Una palla da pallavolo viene alzata molto alta dandole una forte velocità verticale.
L'energia cinetica si può calcolare con questa formula:

$$E_{cinetica} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

E' evidente che più un corpo è massiccio e più contiene energia.
Inoltre l'energia cinetica aumenta con il quadrato della velocità: se la velocità raddoppia l'energia quadruplica.
Se un oggetto di massa 1 kg si muove con velocità di 1 m/s, possiede mezzo joule di energia cinetica; se la massa fosse 2 kg l'energia diventerebbe 1 J, mentre le la velocità diventasse 2 m/s l'energia passerebbe a 2 J.
L'aspetto di questa formula forse ha qualcosa di familiare per qualcuno dei più attenti... Ricorda un po' la legge oraria del

moto uniformemente accelerato. Sarà un caso? Vedremo!

Energia potenziale gravitazionale

Ogni corpo che si trova ad una certa altezza in un campo gravitazionale possiede un'energia. Basta pensare a quanto lavoro può fare l'acqua contenuta in un lago di montagna, se la sua discesa viene sfruttata con un mulino o con una centrale idroelettrica. E un oggetto può acquistare una grande velocità se cade da una certa altezza (energia potenziale gravitazionale → energia cinetica).

Il calcolo si esegue con questa formula:

$$E_{potenziale.gravitazionale} = m \cdot g \cdot h$$

L'accelerazione gravitazionale g vale 9,81 m/s^2 sulla superficie del pianeta Terra. In ogni campo gravitazionale va naturalmente applicato il valore corretto.

Il valore h indica l'altezza in metri. Ma quale altezza? Rispetto al suolo, rispetto al livello del mare? Oppure rispetto al centro della Terra? Quest'ultimo valore sarebbe il più corretto, ma non è molto utile in pratica. Quello che serve sapere è quanta energia potenziale possiede un corpo *rispetto* a terra, perché è fino a terra che può cadere. Nel classico esempio del vaso sul balcone, quello che conta sono i metri di altezza dal marciapiede; se il vaso cade, non arriverà né al livello del mare né al centro della terra.

Energia meccanica

Si tratta della somma dell'energia cinetica e di quella potenziale gravitazionale contenuta in un corpo. Un pendolo che oscilla, per esempio, contiene energia meccanica che si alterna tra cinetica e potenziale.

Energia potenziale elastica

Un arco teso può scoccare una freccia a grande velocità. Una molla compressa può saltare fino ad una grande altezza.

I corpi elastici, quando sono deformati, contengono una forma di energia che si chiama *elastica*.

Per una molla di cui conosciamo la costante di elasticità il calcolo è questo:

$$E_{elastica}=\frac{1}{2}\cdot k\cdot \Delta l^2$$

Per una certa molla o elastico, la deformazione lineare Δl è l'unica cosa che può modificare l'energia elastica. Per oggetti più complessi come archi, catapulte e altro la deformazione non è più così semplice da calcolare; allora è più semplice calcolare l'energia cinetica che sono in grado di trasferire sull'oggetto che lanciano.

Energia termica

Tutti i corpi che ci circondano contengono calore. Le molecole di cui sono composti sono in continua agitazione, e il livello di agitazione è indicato dalla temperatura. Le molecole sono immobili alla temperatura di -273°C, che quindi è la più bassa possibile. Tutti i corpi che si trovano ad una temperatura più alta contengono *energia termica*.

Analogamente a come abbiamo detto per l'energia potenziale gravitazionale, in pratica non serve quasi mai sapere l'energia termica totale di un corpo. E' utile conoscere quanta energia perde o riceve passando da una temperatura ad un'altra. Per calcolarla si usa una formula che si chiama *legge fondamentale della termologia*:

$$E = c \cdot m \cdot \Delta T$$

Il valore *c* si chiama *calore specifico* ed è diverso per ogni materiale: è l'energia necessaria a fare aumentare di un grado la temperatura di un chilogrammo di sostanza. Esso si moltiplica per la massa *m* e per la *differenza di temperatura*, che naturalmente può essere positiva o negativa.

I PASSAGGI DI ENERGIA

Abbiamo detto che l'energia non si crea e non si distrugge, ma si trasforma da un tipo all'altro.
Per capire bene il concetto facciamo qualche esempio.

Un pallone da basket che rimbalza sul pavimento. La palla cade da una certa altezza, per cui contiene energia potenziale gravitazionale; durante la caduta questa energia si trasforma in energia cinetica, fino a raggiungere la velocità massima un attimo prima di toccare il pavimento; colpendo il pavimento la palla si deforma e di conseguenza la sua energia cinetica diventa elastica; i passaggi adesso avvengono all'inverso: elastica → cinetica → gravitazionale. In più, ad ogni rimbalzo, una parte dell'energia si trasforma in calore a causa dell'attrito interno della palla che si deforma; è per questo che ogni rimbalzo sarà un po' più basso del precedente (meno energia potenziale gravitazionale significa altezza h minore).

Tiro con l'arco. L'arciere che tende l'arco accumula energia elastica nell'arma (energia che proviene dai suoi muscoli). Nel momento in cui l'arciere apre le dita, l'arco ritorna velocemente nella sua posizione iniziale, passando la propria energia elastica alla freccia sotto forma di energia cinetica. Dato che l freccia ha una massa molto piccola, l'energia cinetica ricevuta si sviluppa in

una velocità molto alta.
Ma perché, se l'energia cinetica della freccia proviene dai muscoli dell'arciere, questo non riesce a scagliare la freccia così velocemente senza arco? La risposta riguarda la potenza. Il braccio umano può avere una grande forza, ma non riesce a svilupparla a grandissima velocità; è efficace a lanciare oggetti pesanti. I muscoli tendono l'arco in alcuni secondi, con una potenza piuttosto bassa, poi l'arco è in grado di trasferire la sua energia elastica alla freccia in una frazione di secondo, con grande potenza.

Il ciclista. Pedalando in piano a velocità costante, il ciclista in realtà non aggiunge nessuna energia cinetica alla bici e a sé stesso, non essendoci nessuna accelerazione. Eppure le sue gambe devono continuare a spingere, se non vuole rallentare.
Ecco i trasferimenti di energia: i muscoli delle gambe danno energia cinetica ai pedali, la quale viene portata attraverso la catena e le ruote dentate alla ruota posteriore; il copertone spinge la strada verso indietro, e per il terzo principio della dinamica la bicicletta viene spinta in avanti; nel frattempo l'attrito volvente delle ruote e quello fluidodinamico dell'aria sottraggono energia cinetica alla bici e al ciclista, trasformandola in energia termica. La velocità costante è ottenuta quando il ciclista riesce a fornire alla bici la stessa energia cinetica che l'attrito sottrae.

Per rallentare basta smettere di fornire energia, e per frenare più velocemente si aggiunge un attrito radente: quello dei tamburi dei freni sulle ruote.

LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA

In generale, esistono due tipi di forze. Le **forze conservative** conservano l'energia meccanica, come la forza di gravità (l'altezza diminuisce mentre la velocità aumenta). Le **forze dissipative** non conservano l'energia meccanica, come la forza di attrito (l'energia cinetica viene trasformata in energia termica).

Come esempio prendiamo un ottovolante, come il Magic Mountain di Gardaland.

Il veicolo viene portato ad una certa altezza tramite motori elettrici, poi viene semplicemente lasciato scorrere sulle rotaie. Il treno accelera rapidamente sulla discesa: la forza di gravità trasforma l'energia potenziale gravitazionale in energia cinetica; incontrando le salite (e i giri della morte), l'energia cinetica accumulata consente al treno di salire fino ad una certa altezza, con la trasformazione inversa a energia potenziale. In tutto questo l'energia meccanica (somma di potenziale e cinetica) viene conservata.

Nel frattempo, però, due forze di attrito agiscono sul veicolo e sui suoi passeggeri: l'attrito volvente delle ruote sulle rotaie e quello fluidodinamico dell'aria. L'attrito abbassa l'energia cinetica senza trasformarla in potenziale (è una forza non conservativa), ma in energia termica (calore). er queto motivo, il treno non potrebbe mai ritornare da solo alla stessa altezza di partenza.

LA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO

Si chiama "quantità di moto" la grandezza fisica che si calcola moltiplicando la massa per la velocità di un corpo.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

La quantità di moto è una grandezza vettoriale, perché lo è la velocità; la sua unità di misura è il chilogrammo per metro al secondo (kg·m/s).

Tramite questa nuova grandezza fisica, si possono osservare i principi della dinamica da un altro punto di vista.
Esiste un principio che si chiama "legge di conservazione della quantità di moto":
Se su un sistema non agiscono forze esterne, la quantità di moto totale del sistema si conserva.
Un *sistema* può non essere costituito da un solo corpo, ma da un insieme di oggetti o addirittura dal l'intero Universo.
Per esempio, due automobili uguali hanno la stessa quantità di moto totale sia se sono ferme, sia se si muovono alla stessa velocità in direzioni opposte. In entrambi i casi la quantità di moto del sistema vale zero. La cosa non vale per l'energia cinetica totale, che è nulla solo se le macchine sono ferme.

Sulla conservazione della quantità di moto si basa in pratica il terzo principio della dinamica, quello di azione e reazione.

L'elica di un motoscafo spinge indietro una massa d'acqua, e dato che la *p* totale del sistema barca-acqua non può cambiare, l'imbarcazione si muove nel verso opposto. Considerando un sistema un po' più ampio, anche una persona che cammina si muove secondo lo stesso principio: con il piede la persona spinge indietro il pianeta Terra, e per pareggiare i conti il corpo della persona si sposta in avanti. Sembra incredibile ma è vero: una sola persona può spostare la Terra. Ma la quantità di moto in questo caso è molto bassa, per cui dato che la massa della terra è enorme la sua velocità è talmente piccola da non essere neppure osservabile.

GLI URTI

A volte si può fare confusione tra energia cinetica e quantità di moto, e sulla loro conservazione. La teoria degli urti chiarisce bene il concetto.

Quando due corpi si urtano c'è un trasferimento di energia. La cosa avviene in due modi principali (e in tutte le sfumature intermedie): urti elastici e urti anelastici.

La differenza tra i due tipi di urti, come suggerito dal loro nome, è nella elasticità dei corpi. Un corpo è perfettamente elastico se, una volta deformato, è in grado di ritornare da solo alla forma iniziale.

Un **urto elastico** è quello che può avvenire tra due monete che vengono fatte scivolare su un tavolo. Provate a mettere una moneta ferma sul piano del tavolo; fate scivolare una seconda moneta fino a colpire la prima. Se avete preso bene la mira, la moneta che avete lanciato si fermerà, mentre quella che era ferma scivolerà via, come se si fossero scambiate magicamente.

In realtà l'unico scambio è quello della quantità di moto: essa si è trasferita da una moneta all'altra, in modo tale che la p totale del sistema (le due monete) rimanga costante. La moneta che avete lanciato si ferma del tutto perché l'urto è completamente elastico: il metallo si è deformato ed è subito ritornato alla forma iniziale. In questo tipo di urto non si conserva solo la quantità di moto, ma anche l'energia cinetica totale: nel passaggio da una moneta all'altra non c'è stata dispersione perché l'energia che ha deformato i corpi è stata poi restituita tramite la forza elastica.

Sul principio degli urti elastici si basa il funzionamento del famoso soprammobile chiamato "pendolo di Newton". La pallina di metallo ne colpisce una ferma; questa non si può muovere e trasferisce subito la *p* a quella successiva; la cosa si ripete fino a quando la quantità di moto viene passata all'ultima sferetta, libera di muoversi: essa compie una mezza oscillazione e il ciclo ricomincia.

In un **urto anelastico** i corpi coinvolti si deformano definitivamente, e proseguono il movimento insieme. La velocità dopo l'urto dipende dalle masse dei due corpi; se in particolare le masse sono identiche e prima dell'urto uno dei due corpi era fermo e l'altro si muoveva con velocità v, dopo lo scontro i due corpi proseguiranno la corsa a velocità v/2.
Con masse diverse la cosa cambia. Facciamo un esempio un po' estremo: un moscerino che si spiaccica sul parabrezza di un'automobile. Un attimo prima dell'urto l'insetto è praticamente fermo, mentre l'automobile viaggia a grande velocità. L'urto è senza dubbio anelastico, perché il povero moscerino si deforma senza speranza. Il sistema prosegue la corsa con una velocità

tale da conservare la quantità di moto totale: questa velocità è minore di quella che aveva l'auto prima dell'impatto, ma la differenza è minuscola perché la massa dell'insetto è piccolissima rispetto a quella della macchina.
Negli urti anelastici continua a valere la conservazione della quantità di moto, ma la cosa non vale per l'energia cinetica. Infatti durante il trasferimento di energia da un corpo all'altro, una parte viene utilizzata per la deformazione e di conseguenza viene trasformata in calore.
Sul principio degli urti anelastici si basa lo studio delle deformazioni meccaniche della carrozzeria durante un incidente stradale. Le vetture moderne si deformano molto anche con urti a bassa velocità, in modo da disperdere il più possibile l'energia cinetica e ridurre i danni ai passeggeri.

Ricordiamoci sempre che nel mondo reale non esistono gli estremi assoluti. Gli urti reali non possono essere *completamente* elastici o anelastici: anche nello scontro tra le due monete una piccola parte di energia viene trasformata in calore durante la piccola e rapida deformazione del metallo.

L'IMPULSO

Per piantare un chiodo nel muro non è sufficiente la forza di un uomo, a meno che egli non abbia un martello. Eppure il martello non è una leva, non aumenta la forza muscolare della persona. Come è possibile che il chiodo si pianti così facilmente?

Il segreto sta nel fatto che la testa metallica del martello fa forza sulla testa del chiodo in modo rapidissimo, con un urto elastico.

A questo punto ci serve una nuova grandezza fisica, l'impulso:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

E' una grandezza vettoriale che si misura in newton per secondo (N·s).

L'impulso è legato alla quantità di moto dei corpi da un principio chiamato "teorema dell'impulso", che in realtà è un altro modo di vedere il secondo principio della dinamica.

La variazione della quantità di moto totale è uguale all'impulso della forza che agisce su un sistema.

Vediamolo applicato al martello. La testa metallica viene portata ad una certa velocità dalla forza del braccio, che agisce per un tempo relativamente lungo. La sua variazione di quantità di moto è determinata da un impulso *I* esercitato da chi impugna il martello. Quando avviene l'impatto con il chiodo, il martello si ferma bruscamente in un tempo molto piccolo. Dato che la variazione della quantità di moto è la stessa sarà uguale anche l'impulso, solo che questa volta il tempo è piccolissimo e di conseguenza la forza sarà molto alta. Questa è la "magia" delle semplici formule fisiche composte solo da un prodotto (quelle, per capirci, che possono essere rappresentate con un triangolo): c'è una proporzionalità semplice semplice. Quando l'impulso è costante, se il tempo si dimezza la forza raddoppia, e viceversa.

Il martello è fatto apposta per massimizzare la cosiddetta "forza d'urto", mentre a volte è utile ridurre questa forza al massimo. Per esempio, nel salto con l'asta gli atleti atterrano su un grosso materasso, senza farsi male. Il materasso in pratica allunga il tempo durante il quale il corpo del saltatore azzera la sua velocità di caduta: tempo più lungo significa forza minore, per cui nessun danno.

ESERCIZI SVOLTI

Come affrontare un problema di fisica

IL TESTO - Leggi bene il testo del problema, anche più di una volta. Cerca di immaginare la situazione che viene descritta: le leggi della fisica non sono solo teoria, sono cose che vedi intorno a te tutti i giorni.

LA DOMANDA - Parti dalla domanda. Se ci sono più domande, affrontane una per volta. Cerca la legge fisica che può rispondere alla domanda e scrivila; se ne trovi più di una, scrivile tutte. Per quanto riguarda le cosiddette formule inverse, piuttosto che studiarle tutte e a memoria è molto meglio imparare a ricavarsele.
Osserva una formula e cerca di capire se tra i dati ci sono tutte le informazioni per risolverla, oppure queste informazioni si possono facilmente ricavare dai dati (per esempio la forza peso dalla massa, oppure l'area di un cerchio dal diametro). Se c'è tutto, la formula è quella giusta. Altrimenti prova con un'altra.

I DATI - Converti nell'unità di misura fondamentale tutti i dati utili, e ricava tutti i valori da inserire nella formula. Questo significa "preparare gli ingredienti" da inserire nella formula in modo tale che funzioni.

LA RISOLUZIONE - Tenendo presente la situazione reale e osservando i dati, cerca di immaginare un possibile risultato: di

sicuro non sarà quello preciso, ma avrai un'idea di cosa aspettarti e ti metterai al riparo da eventuali errori grossolani.
Esegui i calcoli richiesti dalla formula e riporta il risultato, senza dimenticare l'unità di misura.

Nota sull'arrotondamento dei risultati

Ricorda che arrotondare i risultati non è per niente obbligatorio: si fa solo per comodità di scrittura. In ogni caso, arrotondare significa sempre ottenere un risultato più o meno sbagliato, per cui è meglio farlo il meno possibile. Si può, per esempio, riportare il risultato arrotondato sull'esercizio, ma mantenerlo completo sulla calcolatrice (usando anche la funzione “memoria”) per usare un dato più preciso.
In ogni caso non bisogna esagerare con l'arrotondamento; come regola generale può andar bene conservare almeno quattro cifre significative.

Lo scolapasta

area del cerchio

Uno scolapasta ha 145 fori circolari del diametro di 3 millimetri ciascuno. Quanta superficie totale risulta forata?

Analisi

Lo scolapasta è fatto in modo da far uscire l'acqua molto velocemente, senza far uscire la pasta. Per questo motivo, anziché avere un unica via di uscita vengono creati tanti piccoli fori. Per risolvere il problema basterà calcolare l'area di ogni foro e moltiplicarla per il numero dei fori.

Svolgimento

Anche se la superficie totale risulterà sicuramente piuttosto piccola, conviene comunque trasformare subito la misura disponibile in metri.

$$d = 3\,\text{mm} = \frac{3}{1000} = 0{,}003\ \text{m}$$

Calcoliamo l'area di ogni foro, senza dimenticare che il raggio è la metà del diametro.

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0{,}003}{2} = 0{,}0015\ \text{m}$$

$$A = r^2 \cdot \pi = 0{,}0015^2 \cdot 3{,}14 = 0{,}00000225 \cdot 3{,}14 = 0{,}000007065\ \text{m}^2$$

Infine, otteniamo la superficie totale.

$$A_{tot} = A \cdot n_{fori} = 0{,}000007065 \cdot 145 = 0{,}001024\ \text{m}^2$$

La superficie forata dello scolapasta misura in totale 0,001024 metri quadrati (più di dieci centimetri quadrati).

Il giardino

aree

Un giardino rettangolare lungo 15 metri e largo 17 metri ha al suo interno due pozzi circolari: uno più grande (diametro 3,5 metri) e uno più piccolo (diametro 90 centimetri). In più, un laghetto recintato occupa un'area di 54 metri quadrati. Quanta superficie del giardino rimane libera per giocare?

Analisi

La domanda lascia intendere che in questo giardino si può giocare dovunque, tranne che dove ci sono i pozzi ed il laghetto. Per cui, basterà calcolare l'area totale e poi sottrarre le aree dei pozzi e del laghetto.

Svolgimento

Per prima cosa individuiamo l'unica misura non ancora espressa nell'unità di misura fondamentale, il diametro del secondo pozzo.

$$d_2 = 90 \text{ cm} = \frac{90}{100} = 0{,}09 \text{ m}$$

Ora calcoliamo l'area totale del giardino rettangolare.

$$A_{tot} = 15 \cdot 17 = 255\,m^2$$

Adesso ci servono le superfici occupate dai due pozzi.

$$r_1 = 3,5/2 = 1,75\,m$$

$$A_1 = r_1^2 \cdot \pi = 1,75^2 \cdot 3,14 = 3,063 \cdot 3,14 = 9,616\,m^2$$

$$r_2 = 0,9/2 = 0,45\,m$$

$$A_2 = r_2^2 \cdot \pi = 0,45^2 \cdot 3,14 = 0,203 \cdot 3,14 = 0,636\,m^2$$

Avendo già a disposizione l'area del laghetto recintato, possiamo concludere calcolando l'area rimasta libera.

$$A_{libera} = A_{tot} - A_1 - A_2 - A_{laghetto}$$

$$A_{libera} = 255 - 9,616 - 0,636 - 54 = 190,748\,m^2$$

Nel giardino rimane una superficie di quasi 191 metri quadrati libera per giocare.

Una bacinella contiene acqua fino all'orlo. Al suo interno viene immerso un mattone che ha le seguenti misure: 38 cm, 16 cm e 9 cm. Quanti litri di acqua escono dalla bacinella?

Analisi

Questo problema molto semplice è stato formulato intenzionalmente in modo da sembrare complicato. A che mi servono le misure del mattone se mi si chiede di calcolare un volume di acqua? E quanti litri ci sono nella bacinella?

In realtà, ragionando un attimo, si capisce che essendo la bacinella piena fino all'orlo, il volume di acqua che uscirà sarà uguale al volume dell'oggetto immerso, per cui calcolando il volume del mattone (che ha la forma di un parallelepipedo) avremo risolto il problema.

Svolgimento

Trasformiamo in metri le misure che abbiamo a disposizione.

$$38\ \text{cm} = \frac{38}{100} = 0{,}38\ \text{m} \qquad 16\ \text{cm} = \frac{16}{100} = 0{,}16\ \text{m}$$

$$9\ \text{cm} = \frac{9}{100} = 0{,}09\ \text{m}$$

Il volume del parallelepipedo si calcola moltiplicando tra loro le tre misure:

$$V = 0,38 \cdot 0,16 \cdot 0,09 = 0,005472\ m^3$$

Infine, dato che è richiesto un volume in litri, bisogna ricordare che un litro corrisponde ad un decimetro cubo, per cui in ogni metro cubo ci sono mille litri.

$$V = 0,005472 \cdot 1000 = 5,472\ l$$

Immergendo il mattone, dalla bacinella fuoriescono quasi cinque litri e mezzo di acqua.

Il barile

volume del cilindro

Un barile cilindrico ha il diametro interno di 76 cm e l'altezza di 1,2 m. Qual'è la sua capienza? E se viene riempito di acqua solo per un'altezza di 8 cm, quanti litri vi sono stati versati?

Analisi

Il problema in pratica consiste nel calcolo del volume di due cilindri. Il primo è l'intero barile, il secondo è un cilindro di acqua con la stessa base del barile ma con altezza molto minore.

Svolgimento

Trasformiamo in metri il diametro del barile e l'altezza del livello di acqua.

$$d = 76\ cm = \frac{76}{100} = 0{,}76\ m \qquad h_2 = 8\ cm = \frac{8}{100} = 0{,}08\ m$$

Il volume del cilindro si calcola moltiplicando l'area della base per l'altezza. Dato che i due cilindri hanno la base in comune, calcoliamola una sola volta.

$$r = d/2 = 0{,}76/2 = 0{,}38\ m$$

$$A = r^2 \cdot \pi = 0{,}38^2 \cdot 3{,}14 = 0{,}1444 \cdot 3{,}14 = 0{,}4534\ m^2$$

La capienza massima va calcolata usando l'altezza del barile.

$$V_1 = A \cdot h_1 = 0{,}4534 \cdot 1{,}2 = 0{,}5441\ m^3$$

Il volume di acqua versata va invece calcolato con la misura del livello raggiunto.

$$V_2 = A \cdot h_2 = 0{,}4534 \cdot 0{,}08 = 0{,}0363\ m^3$$

Infine, questo secondo volume va trasformato in litri.

$$V_2 = 0{,}0363 \cdot 1000 = 36{,}3\ l$$

La capienza del barile è di 0,54 metri cubi; arrivando ad un livello di 8 centimetri, l'acqua all'interno del barile ha un volume di 36,3 litri.

$$38\text{ cm} = \frac{38}{100} = 0{,}38\text{ m}$$

La scatola

volumi

In una scatola di dimensioni 75 cm, 50 cm e 65 cm viene messa una palla sferica di diametro 48 cm. Quanti metri cubi rimangono liberi nella scatola?

Analisi

Le figure solide in questione solo due: un parallelepipedo e una sfera. Calcolando i loro due volumi, con una sottrazione troveremo il volume della scatola che non è occupato dalla palla.

Svolgimento

Trasformiamo in metri le misure che abbiamo a disposizione.

$$75\text{ cm} = \frac{75}{100} = 0{,}75\text{ m} \qquad 50\text{ cm} = \frac{50}{100} = 0{,}5\text{ m}$$

$$65\text{ cm} = \frac{65}{100} = 0{,}65\text{ m}$$

$$48\text{ cm} = \frac{48}{100} = 0{,}48\text{ m}$$

Calcoliamo per prima cosa il volume della scatola.

$$V_{scatola} = 0{,}75 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}65 = 0{,}2438\text{ m}^3$$

Poi, usando la formula della sfera, calcoliamo il volume dalla palla dopo averne ricavato il raggio.

$$r = d/2 = 0{,}48/2 = 0{,}24\,\mathrm{m}$$

$$V_{palla} = \frac{4}{3}\cdot\pi\cdot r^3$$

$$V_{palla} = \frac{4}{3}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}24^3 = \frac{4}{3}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}01382 = 0{,}0579\,\mathrm{m}^3$$

Concludiamo sottraendo il volume della palla a quello della scatola.

$$V_{libero} = V_{scatola} - V_{palla} = 0{,}2438 - 0{,}0579 = 0{,}1859\,\mathrm{m}^3$$

Nella scatola rimangono liberi 0,1859 metri cubi.

La slitta trainata con due corde

somma di forze perpendicolari

Due persone trainano una slitta con due corde, camminando ad una certa distanza tra loro; le corde si dispongono a formare tra loro un angolo di 90 gradi. La prima persona esercita una forza di 200 N, la seconda 230 N.
Quanto vale la forza totale fatta sulla slitta?

Analisi

La forza è una grandezza vettoriale, per cui si tratta di una somma di vettori perpendicolari; inoltre, è richiesto solo il modulo del vettore risultante.
Le forze sono già espresse nell'unità di misura fondamentale, il newton.

Svolgimento

Dato che i vettori sono perpendicolari, applicando la regola del parallelogramma (o "punta-coda") si può calcolare il modulo della somma tramite il teorema di Pitagora:

$$F_{tot}=\sqrt{200^2+230^2}=\sqrt{(40000+52900)}=\sqrt{(92900)}=304{,}8\,N$$

La forza totale sulla slitta vale 304,8 newton.

L'armadio trascinato sul pavimento

forza di attrito radente

Una persona deve spostare un grosso armadio di massa 185 kg da una stanza all'altra trascinandolo sul pavimento. Per aiutarsi, sistema dei pezzi di stoffa sotto le gambe del mobile, in modo che il coefficiente d'attrito statico diventa 0,23.

Facendo una forza orizzontale di 310 N, la persona riesce a spostare l'armadio?

Analisi

L'attrito statico a cui il problema fa riferimento è radente, ed è una resistenza tra il pavimento e la stoffa che è stata messa sotto all'armadio. Per scoprire se il mobile si sposta bisogna calcolare la forza di attrito e vedere se la forza fatta dalla persona è maggiore oppure no. Naturalmente, sarà la stoffa a scivolare sul pavimento e non l'armadio sulla stoffa, perché il coefficiente d'attrito tra legno e stoffa è sicuramente maggiore. Sia la massa che la forza sono già espresse nelle loro unità di misura fondamentali.

Svolgimento

Per calcolare la forza di attrito radente statico bisogna applicare la formula:

$$F_a = \mu_{rs} \cdot F_p$$

Il coefficiente lo abbiamo; ci manca la forza peso, che sul pianeta Terra si calcola:

$$F_p = m \cdot g = 185 \cdot 9{,}81 = 1814{,}85\ \mathrm{N}$$

Quindi calcoliamo la forza di attrito:

$$F_a = 0{,}23 \cdot 1814{,}85 = 417{,}42\ \mathrm{N}$$

Dato che la forza fatta sull'armadio vale 310 newton, essa è minore della forza di attrito: il mobile non si sposta neanche di un millimetro.

Il carrello della spesa

piano inclinato

Una signora spinge un carrello della spesa di massa 23 kg, carico con 14 kg di spesa. Uscendo dal supermercato incontra una rampa in discesa, lunga 2 metri e alta 45 centimetri. Quanta forza deve fare la signora per trattenere il carrello?

Analisi

Si tratta di un problema sul piano inclinato. La forza che deve fare la signora per trattenere il carrello si chiama forza equilibrante, ed è quella che deve annullare la componente del peso parallela alla rampa.

Bisogna fare attenzione alle unità di misura, perché l'altezza non è espressa in metri.

Svolgimento

Come prima cosa portiamo l'altezza in metri:

$$h = 45cm = 0,45\ m$$

Bisogna applicare la legge della forza equilibrante sul piano inclinato:

$$F_e = F_p \cdot \frac{h}{l}$$

Ci manca la forza peso, che calcoliamo utilizzando la massa totale:

$$m = 23 + 14 = 37\ kg$$

$$F_p = m \cdot g = 37 \cdot 9,81 = 362,97\ N$$

A questo punto possiamo calcolare la forza equilibrante:

$$F_e = 362,97 \cdot \frac{0,45}{2} = 81,67\ N$$

Quindi per trattenere il carrello sulla rampa la signora deve fare una forza di 81,67 newton.

La chiave inglese

momento di una forza

Una fabbrica di attrezzi sta progettando una chiave inglese di acciaio, con la quale sia possibile stringere bulloni con un momento torcente pari a 8 N/m. Supponendo che chi usa l'utensile debba esercitare una forza di 65 newton, calcolare quanti centimetri deve essere lunga la chiave inglese.

Analisi

La chiave inglese è la classica applicazione del concetto di momento di una forza: più grandi sono dadi e bulloni, più forte devono essere chiusi, e più lunga deve essere la chiave inglese.

La lunghezza dell'attrezzo corrisponde al braccio della forza, perché normalmente la mano va messa alla sua estremità.

Risoluzione

Il momento torcente di una forza si calcola in questo modo:

$$M = F \cdot b$$

A noi serve il braccio, e abbiamo a disposizione sia momento che forza:

$$b = \frac{M}{F} = \frac{8}{65} = 0{,}1231 \text{ m}$$

Il problema richiede esplicitamente il risultato in centimetri, per cui dobbiamo calcolare l'uguaglianza:

$$b = 0{,}1231 \text{ m} = 0{,}1231 \cdot 100 = 12{,}31 \text{ cm}$$

La chiave inglese dovrà essere lunga 12,31 centimetri.

Il trampolino precario

equilibrio di una leva

Un ragazzo di massa 68 kg ha costruito un trampolino sul bordo di una piscina, utilizzando un'asse di legno tenuta ferma ad una estremità da 8 blocchi di cemento di massa 6 kg ciascuno. L'asse è lunga 3,5 metri e sporge per 1,5 metri.
Trascurando il peso dell'asse, calcolare se il ragazzo può stare in piedi all'estremità del trampolino senza che questo si ribalti.

Analisi

Possiamo considerare l'asse di legno come una leva di primo genere: il fulcro è il bordo della piscina, i blocchi di cemento applicano la forza resistente e il peso del ragazzo rappresenta la forza motrice. Per verificare che il trampolino non si ribalti dovremo calcolare i due momenti che agiscono sulla leva: se il momento resistente è maggiore di quello motore, il trampolino rimarrà fermo.
Sia le masse che le distanze sono già espresse nelle unità di misura fondamentali.

Svolgimento

Per calcolare i momenti occorrono le forze e i bracci. Le forze sono semplicemente il peso delle masse che abbiamo come dati. Non abbiamo il braccio resistente, ma lo possiamo ricavare dalla lunghezza totale del trampolino:

$$b_{res} = l_{tot} - b_{mot} = 3,5 - 1,5 = 2\,m$$

Cominciamo a calcolare il momento resistente, dopo aver calcolato la forza peso dei blocchi di cemento:

$$F_p = m \cdot 9,81 = (8 \cdot 6) \cdot 9,81 = 48 \cdot 9,81 = 470,88\,N$$

$$F_{res} = F_p \cdot b_{res} = 460,88 \cdot 2 = 941,76\,Nm$$

Adesso passiamo al momento motore, utilizzando come forza motrice il peso del ragazzo:

$$F_p = m \cdot 9,81 = 68 \cdot 9,81 = 667,08\,N$$

$$F_{mot} = F_p \cdot b_{mot} = 667,08 \cdot 1,5 = 1000,62\,Nm$$

Risulta che il peso del ragazzo sviluppa un momento maggiore di quello dei blocchi di cemento; se il ragazzo cammina fino all'estremità dell'asse di legno, il trampolino improvvisato si ribalterà in acqua con tutti blocchi di cemento.

Il ragazzo avrebbe fatto bene a studiare un po' meglio le leggi della fisica!

Il cavo della gru
forza elastica

Al gancio di una gru viene legato un carico di quattro quintali di aste di ferro. Il cavo della gru si allunga di 7,5 centimetri per la sua elasticità. Calcolare il coefficiente di elasticità del cavo.

Analisi

La forza che fa allungare il cavo è il peso delle aste di ferro, ed essa equivale alla forza elastica. Avendo l'allungamento, basterà applicare la legge di Hooke.

Bisogna fare attenzione alle unità di misura dei dati, perché non sono quelle fondamentali.

Svolgimento

Dobbiamo utilizzare la legge della forza elastica:

$$F_e = k \cdot \Delta x$$

L'incognita in questa equazione è la costante elastica k.

Per prima cosa otteniamo le informazioni che ci servono espresse nell'unità fondamentale:

$$m = 4\ q = 4 \cdot 100 = 400\ kg$$

$$\Delta x = 7{,}5\ cm = \frac{7{,}5}{100} = 0{,}075\ m$$

A questo punto calcoliamo la forza peso del carico, che equivale alla forza elastica del cavo:

$$F_p = F_e = m \cdot 9{,}81 = 400 \cdot 9{,}81 = 3924\ N$$

Adesso possiamo calcolare la costante di elasticità, che non è altro che il rapporto tra la forza elastica e la deformazione:

$$k = \frac{F_e}{\Delta x} = \frac{3924}{0{,}075} = 52320 \ N/m$$

Il cavo della gru ha costante elastica 52320 newton al metro; questo vuol dire che per allungarlo di un metro occorrerebbe un forza pari a 52320 newton (che è il peso di un carico di più di cinque tonnellate).

Il treno merci

moto rettilineo uniforme

Un treno merci attraversa un lungo ponte ad una velocità costante di 35 chilometri all'ora, impiegando un minuto e 24 secondi. Quanto è lungo il ponte?

Analisi

Dato che la velocità è costante e il treno segue una traiettoria definita dai binari, il problema è un caso di moto rettilineo uniforme. La lunghezza del ponte corrisponde allo spazio percorso dal treno. Abbiamo a disposizione la velocità e il tempo, anche se non sono espressi nella loro unità di misura fondamentale, per cui è difficile ricavare lo spazio.

Svolgimento

La legge del moto rettilineo uniforme che ci serve è:

$$\Delta s = v \cdot \Delta t$$

Ricaviamo le informazioni che ci servono a partire dai dati che abbiamo:

$$v = 35\,km/h = \frac{35 \cdot 1000}{3600} = \frac{35}{3,6} = 9,72\,m/s$$

$$\Delta t = 1\,'24\,'' = 1 \cdot 60 + 24 = 84\,s$$

Adesso possiamo ricavare lo spazio percorso:

$$\Delta s = 9,72 \cdot 84 = 816,67\,m$$

Il ponte attraversato dal treno è lungo 816,67 metri.

La tangenziale

moto rettilineo uniforme

Il professore di fisica, per venire a scuola, percorre in macchina 28 chilometri, di cui 5 in tangenziale; normalmente, in tangenziale viaggia tranquillamente a 90 chilometri all'ora, nella corsia dei camion. I suoi studenti lo prendono in giro, perché in tangenziale si potrebbe andare ai 130 chilometri orari, e il professore perde un sacco di tempo andando piano come una lumaca.

In realtà, quanto tempo perde il professore che guida piano?

Analisi

Per sapere quanto tempo perde il professore ad andare piano in tangenziale, bisogna calcolare i tempi di percorrenza dei cinque chilometri alle due velocità, e poi farne la differenza. Dato che la velocità sembra costante, utilizzeremo la legge oraria del moto rettilineo uniforme.

Per non sbagliare, conviene come sempre utilizzare le unità di misura fondamentali.

Svolgimento

Nel moto rettilineo uniforme, il tempo si calcola in questo modo:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v}$$

Applichiamola con le due velocità, dopo aver convertito i dati nell'unità fondamentale:

$$\Delta s = 5\ km = 5 \cdot 1000 = 5000\ m$$

$$v_{130} = 130\ km/h = \frac{130 \cdot 1000}{3600} = \frac{130}{3{,}6} = 36{,}11\ m/s$$

$$\Delta t_{130} = \frac{\Delta s}{v_{130}} = 138{,}46\ s$$

$$v_{90} = 90\ km/h = \frac{90 \cdot 1000}{3600} = \frac{90}{3{,}6} = 25\ m/s$$

$$\Delta t_{90} = \frac{\Delta s}{v_{90}} = 200\ s$$

Finalmente possiamo calcolare la differenza dei tempi:

$$\Delta t_{90} - \Delta t_{130} = 200 - 138{,}46 = 61{,}54\ s$$

Viaggiando in tangenziale a 130 chilometri orari, il professore impiegherebbe 61,54 secondi in meno, che sono poco circa un minuto.

Dato che la durata del tragitto può variare anche di cinque minuti a seconda dei semafori rossi o verdi che si incontrano, andar forte in tangenziale renderebbe solo il viaggio più pericoloso e stressante.
E questo il prof lo sa benissimo!

Il decollo dell'aereo

moto uniformemente accelerato

Un aereo è in grado, partendo da fermo, di accelerare con un'accelerazione pari a 3,4 m/s^2. Sapendo che per decollare deve raggiungere la velocità di 320 chilometri orari, calcolare la lunghezza minima che deve avere la pista.

Analisi

Dal testo del problema sembra che l'areo mantenga un'accelerazione costante durante tutta la fase di rollaggio sulla pista di decollo: si tratta quindi di un moto uniformemente accelerato con partenza da fermo. La lunghezza della pista dipende dall'accelerazione perché una accelerazione più bassa richiederebbe una pista più lunga.

Svolgimento

La legge fisica che risponde alla domanda del problema è:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Abbiamo già l'accelerazione, mentre possiamo ricavare il tempo con la formula:

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

Procediamo con i calcoli, cominciando a ricavare la velocità in metri al secondo:

$$v = 320 \text{ km/h} = \frac{320 \cdot 1000}{3600} = \frac{320}{3,6} = 88,89 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{88,89}{3,4} = 26,14 \text{ s}$$

Adesso che abbiamo sia l'accelerazione che il tempo, possiamo ricavare lo spazio:

$$s = \frac{1}{2} \cdot 3,4 \cdot 26,14^2 = 1,7 \cdot 683,5 = 1161,95 \text{ m}$$

Lo spazio necessario all'aereo per raggiungere la velocità di decollo è 1161,95 metri (che corrispondono a un chilometro e 162 metri), e questa sarà la lunghezza minima che deve avere la pista.

In realtà la pista verrebbe costruita molto più lunga, ovviamente.

Un vaso di fiori cade dalla ringhiera di un balcone alta 8 metri perché si rompe il supporto di metallo che lo sosteneva. Trascurando l'attrito, calcolare il tempo che passa dal momento in cui il vaso si stacca dalla ringhiera a quello in cui sbatte contro il marciapiede, e la velocità dell'impatto.

Analisi

Il vaso cade verticalmente attratto dalla forza di gravità terrestre. L'attrito che l'esercizio consiglia di trascurare è quello viscoso esercitato dall'aria: non considerarlo non è un grave errore, perché in una caduta così breve non influisce molto sul moto di un corpo massiccio come un vaso di fiori.

Per applicare le leggi del moto uniformemente accelerato sembra che manchi l'accelerazione, ma in realtà, (dato che la caduta avviene sicuramente sulla Terra), essa è nota.

Svolgimento

La formula che fa al caso nostro è una delle inverse della legge oraria del moto uniformemente accelerato:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{a}}$$

La possiamo subito applicare, conoscendo l'accelerazione di gravità terrestre:

$$t=\sqrt{\frac{2\cdot 8}{9{,}81}}=\sqrt{1{,}63}=1{,}28\ s$$

La velocità con cui il vaso colpisce il marciapiede è la velocità massima del suo moto di caduta, per cui basta applicare la formula:

$$v=a\cdot t=9{,}81\cdot 1{,}28=12{,}56\ m/s$$

Il vaso di fiori impiega quindi 1,28 secondi a cadere dalla ringhiera, e colpisce il suolo ad una velocità di 12,56 metri al secondo (che corrispondono a più di 45 chilometri all'ora).

Il fuoco d'artificio

moto uniformemente accelerato

Il regista di uno spettacolo pirotecnico ha bisogno di un razzo che, partendo da terra, porti un fuoco d'artificio ad un'altezza di 70 metri in esattamente 8 decimi di secondo.
Con quale accelerazione deve partire il razzo? Quale velocità raggiungerà in chilometri orari?

Analisi

Dato che il testo del problema non offre molti particolari, dobbiamo supporre che l'accelerazione del razzo rimanga costante durante il suo volo, che questo volo sia verticale, e che ovviamente parta da fermo.
Bisogna utilizzare le leggi orarie del moto uniformemente

accelerato.

Risoluzione

L'accelerazione necessaria si potrebbe calcolare con una delle due formule:

$$a = \frac{2 \cdot s}{t^2} \qquad\qquad a = \frac{v}{t}$$

Non abbiamo la velocità (è addirittura oggetto della seconda domanda), ma abbiamo sia lo spazio che il tempo. Possiamo utilizzare la prima formula, con il tempo opportunamente trasformato:

$$t = 8\ ds = \frac{8}{10} = 0{,}8\ s$$

$$a = \frac{2 \cdot 70}{0{,}8^2} = \frac{140}{0{,}64} = 218{,}75\ m/s^2$$

Ora che abbiamo l'accelerazione possiamo ottenere la velocità massima e trasformarla come richiesto in chilometri orari:

$$v = a \cdot t = 218{,}75 \cdot 0{,}8 = 175\ m/s$$

$$v = 175\ m/s = \frac{175 \cdot 3600}{1000} = 175 \cdot 3{,}6 = 630\ km/h$$

Il razzo deve avere una accelerazione pari a 218,75 metri al secondo quadrato, e quando raggiungerà l'altezza di 70 metri avrà una velocità di 630 chilometri all'ora.

La giostra

moto circolare uniforme

Una mamma porta il proprio bambino su una giostra, e lo mette su un cavallo della fila più esterna. Quando la giostra si mette a girare, la mamma vede suo figlio passare davanti a lei più volte, e le viene l'idea di cronometrare il tempo tra un passaggio e l'altro: misura 12 secondi e mezzo.

Una volta a casa, il marito chiede: “A che distanza era il cavallo dal centro della giostra?”. “Saranno stati sei metri”, risponde la donna. Il marito, allora, chiede “Sapresti calcolare a che velocità a che velocità andava nostro figlio? E qual'era la sua accelerazione?”.

Analisi

Dato che il bambino era seduto in un posto fissato alla giostra, il suo era un moto circolare uniforme. Il tempo tra un passaggio e l'altro non è altro che il periodo, e la distanza dal centro è il raggio. L'accelerazione a cui si riferisce il (noioso) marito è quella centripeta tipica di ogni moto circolare.

Risoluzione

Possiamo subito applicare la legge del moto circolare uniforme:

$$v=\frac{2\cdot r\cdot \pi}{T}=\frac{2\cdot 6\cdot 3,14}{12,5}=\frac{37,7}{12,5}=3,02\ m/s$$

Calcoliamo adesso l'accelerazione centripeta:

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{3{,}02^2}{6} = \frac{9{,}1}{6} = 1{,}52\ m/s^2$$

Dopo pochi minuti, la moglie risponde: “Nostro figlio viaggiava a circa 3 metri al secondo, che corrispondono a quasi undici chilometri all'ora), ed aveva un'accelerazione centripeta pari a 1,52 metri al secondo quadrato”.

Il marito rimane a bocca aperta.

Il giradischi

moto circolare uniforme

Un quarantacinque giri sta girando su un giradischi, e la puntina è appoggiata esattamente a metà strada tra il centro e il bordo del disco. Sapendo che il disco ha un diametro di 26 centimetri, calcolare a che velocità la puntina striscia sulla superficie del disco.

Analisi

Questo è un tipico problema che sembra più complicato di quanto sia in realtà.

Il 45 giri è un disco di vinile che ruota, appunto, ad una frequenza di 45 giri al minuto. Ogni punto del disco si muove di moto circolare uniforme, e con le informazioni che abbiamo dovrebbe essere possibile calcolare il raggio e il periodo di questo moto.

Risoluzione

Cominciamo con modificare la frequenza, perché non è espressa in giri al secondo:

$$f = 45 \text{ giri/ minuto} = \frac{45}{60} \text{ giri/s} = 0{,}75 \text{ Hz}$$

Possiamo adesso ricavare facilmente il periodo di rotazione:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0{,}75} = 1{,}33 \text{ s}$$

Per quanto riguarda il raggio, facciamo attenzione al fatto che abbiamo il diametro in centimetri, e che la puntina si trova a metà del raggio del disco.

$$r_{disco} = \frac{26}{2} = 13 \text{ cm} = \frac{13}{100} = 0{,}13 \text{ m}$$

$$r = \frac{r_{disco}}{2} = \frac{0{,}13}{2} = 0{,}065 \text{ m}$$

A questo punto abbiamo tutti gli "ingredienti" pronti, e possiamo calcolare la velocità:

$$v = \frac{2 \cdot r \cdot \pi}{T} = \frac{2 \cdot 0{,}065 \cdot 3{,}14}{1{,}33} = \frac{0{,}41}{1{,}33} = 0{,}306 \text{ m/s}$$

La puntina scorre sul disco a circa 0,3 metri al secondo (30 centimetri al secondo).

Una pista da bob presenta una lunga curva parabolica di raggio 12 metri, molto inclinata verso l'interno. Per percorrerla correttamente, bisogna avere un'accelerazione centripeta pari a due volte quella di gravità.
A quanti chilometri orari si deve percorrere la curva?

Analisi
Dato che la curva è caratterizzata da un suo raggio, essa ha la forma di un arco di circonferenza. Mentre il bob percorre la curva la sua velocità non dovrebbe cambiare di molto, per cui possiamo supporre che segua un moto circolare uniforme.

Risoluzione
Partiamo dalla formula dell'accelerazione centripeta:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Nel nostro caso l'incognita è la velocità, e fortunatamente abbiamo a disposizione sia l'accelerazione che il raggio:

$$a_c = 3 \cdot g = 3 \cdot 9{,}81 = 29{,}43\ m/s^2$$

$$v = \sqrt{a_c \cdot r} = \sqrt{29{,}43 \cdot 12} = \sqrt{353{,}16} = 18{,}79\ m/s$$

Non ci rimane che calcolare il risultato nell'unità richiesta:

$$v = \frac{18{,}79 \cdot 3600}{1000} = 18{,}79 \cdot 3{,}6 = 67{,}65\ km/h$$

Il bob deve giungere alla curva parabolica a più di 67 chilometri orari.

Gli ingranaggi

moto circolare uniforme

Un appassionato di *bricolage* sta costruendo un meccanismo costituito da tre ingranaggi. Il primo ha un diametro di 3 cm ed è quello che muove la lancetta dei secondi di un orologio, a cui è collegato un secondo ingranaggio di diametro 2 cm; infine al secondo è collegato un terzo ingranaggio del diametro di 18 cm.
Calcolare il periodo e la frequenza con cui ruota il terzo ingranaggio.

Analisi
Quando due o più ingranaggi sono collegati in catena, il loro movimento rotatorio ha la stessa velocità tangenziale; è tramite questo dato che è possibile risalire al periodo (e alla frequenza) di ognuno, conoscendo la misura dell'ingranaggio. Dato che viene richiesto il calcolo riguardante solo il terzo, l'ingranaggio intermedio può essere ignorato: serve unicamente a trasmettere il movimento, probabilmente per fare in modo che l'ultimo ingranaggio ruoti nello stesso senso del primo.
Esiste un dato sottinteso: dato che il primo ingranaggio aziona la lancetta dei secondi di un orologio, il suo periodo di rotazione

sarà di 60 secondi.

Risoluzione

Cominciamo subito con il ricavare la velocità tangenziale che accomuna gli ingranaggi:

$$d_1 = \frac{3}{100} = 0{,}03\ \text{m}$$

$$v_1 = v_3 = \frac{d_1 \cdot \pi}{T_1} = \frac{0{,}03 \cdot 3{,}14}{60} = 0{,}00157\ \text{m/s}$$

Possiamo adesso trovare il periodo del terzo ingranaggio:

$$d_1 = \frac{24}{100} = 0{,}24\ \text{m}$$

$$T_3 = \frac{d_3 \cdot \pi}{v_3} = \frac{0{,}24 \cdot 3{,}14}{0{,}00157} = 480\ \text{s}$$

A questo punto non è difficile calcolare la frequenza:

$$f_3 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{480} = 0{,}0021\ \text{Hz}$$

Il terzo ingranaggio ruota con un periodo di 480 secondi (8 minuti), ad una frequenza di 0,0021 giri al secondo.

La bottiglia di plastica

principio di Pascal

Una bottiglia di plastica da un litro e mezzo è piena di acqua e chiusa con il suo tappo di diametro 28 mm. Una persona di 68 kg la mette di traverso sul pavimento, e ci sale sopra con i piedi, scaricando tutto il suo peso su una superficie di 200 cm^2.

Con quanta forza l'acqua spinge contro il tappo?

Analisi

L'acqua è un liquido, e come tale è incomprimibile. Però, la forza fatta dalla persona con i piedi crea una pressione che per il principio di Pascal si distribuisce uniformemente su tutte le superfici interne della bottiglia, quindi anche sul tappo.

Per arrivare alla forza sul tappo ci serviranno le superfici espresse nella stessa unità di misura; per coerenza le calcoleremo in metri quadrati.

Risoluzione

Il principio di Pascal, matematicamente, è un'uguaglianza tra pressioni, quella dei piedi e quella del tappo:

$$P_p = P_t \quad \rightarrow \quad \frac{F_p}{S_p} = \frac{F_t}{S_t}$$

In pratica si tratta di una proporzione, per cui per trovare la forza sul tappo dobbiamo fare:

$$F_t = \frac{F_p \cdot S_t}{S_p}$$

Adesso ricaviamoci tutto il necessario a trovare il risultato:

$$F_p = m \cdot 9{,}81 = 667{,}08\ \mathrm{N}$$

$$S_p = 200\ \mathrm{cm}^2 = 0{,}02\ \mathrm{m}^2$$

$$S_t = r^2 \cdot \pi = 14^2 \cdot 3{,}14 = 616\ \mathrm{mm}^2 = 0{,}000616\ \mathrm{m}^2$$

A questo punto possiamo applicare il principio di Pascal:

$$F_p = \frac{667{,}08 \cdot 0{,}000616}{0{,}02} = 20{,}54\ \mathrm{N}$$

Sul tappo la pressione dell'acqua esercita una forza di 20 newton e mezzo.

Lo sportello del sottomarino

legge di Stevin

Un sottomarino si immerge a 320 metri di profondità in mare (densità 1026 kg/m^3). Calcolare la forza che viene fatta su uno sportello circolare di diametro 46 centimetri.

Analisi

La pressione in un fluido aumenta con la profondità alla quale essa viene misurata, secondo la legge di Stevin. Sarebbe da considerare anche la pressione atmosferica che c'è a profondità zero; tuttavia, essa è annullata dalla stessa pressione che c'è all'interno del sottomarino per consentire la sopravvivenza all'equipaggio.

Risoluzione

Per rispondere alla richiesta sulla forza, abbiamo bisogno del concetto di pressione:

$$F = P \cdot S$$

La superficie può essere velocemente ricavata dal diametro dello sportello:

$$r = \frac{46}{2} = 23\ \text{cm} = 0,23\ \text{m}$$

$$S = r^2 \cdot \pi = 0,23^2 \cdot 3,14 = 0,1661\ \text{m}^2$$

Per ottenere la pressione, invece, dobbiamo fare ricorso alla legge di Stevin:

$$P = D \cdot g \cdot h = 1026 \cdot 9,81 \cdot 320 = 3220819\ \text{Pa}$$

Adesso possiamo calcolare la forza:

$$F = P \cdot S = 3220819 \cdot 0,1661 = 534997\ \text{N}$$

Sullo sportello del sottomarino la pressione dell'acqua fa una forza di 535 mila newton, che sono il peso di circa 54 tonnellate. Decisamente una bella spinta, che richiede uno sportello con dei bei bulloni!

Il bagnino e i mattoni di cemento

principio di Archimede

Un bagnino sta portando dei mattoni di cemento in acqua (D = 1032 kg/m^3), per appoggiarli sul fondale a pochi metri da riva per fare da ancoraggio ad una boa. Dopo poco tempo, si accorge che il trasporto è più facile se, appena gli è possibile, tiene il mattone completamente immerso.

Perché avviene questo? E quanta forza deve fare il bagnino per tenere sollevato il mattone immerso?

Si conoscono le misure del mattone (32 cm, 18 cm, 13 cm) e la sua massa (18 kg).

Analisi

Il mattone è più leggero da trasportare quando viene immerso grazie alla spinta di Archimede, che è pari al peso del fluido spostato. Sicuramente la spina di Archimede sarà minore del peso del mattone, infatti esso affonda; comunque agisce in senso opposto alla forza di gravità, aiutando il bagnino.

Risoluzione

La forza che bisogna fare per tenere sollevato il mattone mentre è immerso in mare può essere considerata una forza equilibrante, ed è la differenza tra la sua forza peso e la spinta di Archimede:

$$F_e = F_p - F_a$$

La forza peso è ricavabile direttamente dalla massa:

$$F_p = m \cdot g = 18 \cdot 9{,}81 = 176{,}6\,\mathrm{N}$$

La spinta di Archimede, invece, va ricavata calcolando il peso dell'acqua di mare spostata. Il volume di acqua spostata è lo stesso del mattone, dato che esso è completamente immerso:

$$V_{acqua} = V_{mattone} = 32 \cdot 18 \cdot 13 = 7488\,\mathrm{cm}^3 = 0{,}007488\,\mathrm{m}^3$$

$$m_{acqua} = V_{acqua} \cdot D = 0{,}007488 \cdot 1032 = 7{,}73\,\mathrm{kg}$$

$$F_a = m_{acqua} \cdot g = 7{,}73 \cdot 9{,}81 = 75{,}81\,\mathrm{N}$$

Adesso che abbiamo le due forze che agiscono sul mattone, possiamo calcolare la forza equilibrante che deve essere fatta dal bagnino:

$$F_e = F_p - F_a = 176{,}6 - 75{,}81 = 100{,}8\,\mathrm{N}$$

Il bagnino deve fare una forza di circa cento newton; il mattone, immerso nel mare, pesa come se avesse una massa di poco più di dieci chilogrammi.

La mongolfiera

principio di Archimede

Una mongolfiera è ferma a un centinaio di metri da terra. La sua forma può essere semplificata come una sfera di diametro 28 metri. Sapendo che la densità dell'aria esterna è 1,24 kg/m^3 e quella dell'aria contenuta nella mongolfiera è 1,14 kg/m^3, quant'è la massa totale della mongolfiera (pallone, cesto e carico)?

Analisi

La via per risolvere questo problema non è subito chiara. Ma possiamo cominciare a capire perché la mongolfiera riesca a volare: l'aria all'interno del pallone è riscaldata e la sua densità è minore di quella esterna, per cui è la spinta di Archimede a tenerla sollevata. Dato che la mongolfiera è ferma, la spinta verso l'alto è uguale alla forza di gravità. Dato che la spinta di Archimede sarà uguale al peso dell'aria spostata.

Bisogna fare attenzione al fatto che la spinta di Archimede deve equilibrare anche il peso dell'aria interna al pallone.

Risoluzione

Dobbiamo innanzitutto calcolare il volume del pallone, che abbiamo visto essere una sfera:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{28}{2} = 14$$

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot 14^3 = 11488 \text{ m}^3$$

Con questo volume possiamo calcolare la massa di aria con la sua densità da fredda (quella spostata) e da calda (quella interna al pallone):

$$m_f = V \cdot D_f = 11488 \cdot 1{,}23 = 14131 \text{ kg}$$

$$m_c = V \cdot D_c = 11488 \cdot 1{,}14 = 13097 \text{ kg}$$

Dato che la massa dell'aria spostata sarà uguale a quella della mongolfiera più quella dell'aria calda contenuta nel pallone, per avere la massa della mongolfiera basterà una differenza:

$$m_m = m_f - m_c = 14131 - 13097 = 1034\,\text{kg}$$

La mongolfiera, compreso il suo carico, ha una massa di 1034 chilogrammi. Per sollevarsi basta buttare giù qualche chilo di sabbia, oppure riscaldare ancora un po' l'aria nel pallone.

L'iceberg

principio di Archimede

Un grande blocco di ghiaccio ha una massa di 4300 tonnellate ed una densità di 850 kg/m^3. Esso si trova immerso nel mare (densità 1030 kg/m^3), libero di galleggiare.
Calcolare il volume della parte di iceberg che si trova sotto la superficie e di quella che affiora.

Analisi

Il ghiaccio galleggia sull'acqua per l'anomalia dell'acqua, che fa in modo che essa sia più densa allo stato liquido che a quello solido, nonostante la temperatura suggerisca il contrario. In più, l'iceberg è immerso in acqua di mare, più denso dell'acqua pura.
Utilizziamo il principio di Archimede come ragionamento, più che come formule. L'informazione più importante del problema è il fatto che l'iceberg galleggia, il che significa che sposta una quantità di acqua di mare che ha la sua stessa identica massa;

naturalmente, visto che il mare è più denso del ghiaccio, il volume di acqua spostata sarà minore del volume dell'intero blocco di ghiaccio.
Il volume di acqua spostata corrisponde proprio alla parte immersa di iceberg.

Risoluzione

Possiamo cominciare con il calcolare il volume di acqua di mare che l'iceberg deve spostare per poter galleggiare, non prima però di aver ricavato la massa in chilogrammi:

$$m_{mare} = m_{iceberg} = 4300 \text{ tonnellate} = 4300 \cdot 1000 = 4300000 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ kg}$$

$$V_{mare} = \frac{m_{mare}}{D_{mare}} = \frac{4,3 \cdot 10^6}{1030} = 4175 \text{ m}^3$$

Per risalire al volume di ghiaccio che si trova sopra la superficie, abbiamo bisogno del volume totale di ghiaccio. Per fortuna abbiamo la sua densità:

$$V_{iceberg} = \frac{m_{iceberg}}{D_{iceberg}} = \frac{4,3 \cdot 10^6}{850} = 5059 \text{ m}^3$$

A questo punto possiamo facilmente calcolare i volumi richiesti dal problema:

$$V_{sotto} = V_{mare} = 4175 \text{ m}^3$$

$$V_{sopra} = V_{iceberg} - V_{sotto} = 5059 - 4175 = 884 \text{ m}^3$$

Visti i risultati, si può osservare che la parte emersa dell'iceberg è meno di un quinto del totale. Come hanno scoperto sul Titanic.

Il reperto archeologico

principio di Archimede

Per sollevare dal fondale marino una preziosa anfora antica, alcuni archeologi hanno bisogno di una forza di 4800 newton. A questo scopo, legano al reperto un grosso sacco di gomma che riempiono d'aria con delle bombole. L'acqua del mare ha una densità di 1025 kg/m^3.
Quanti litri di aria sono necessari per ottenere la forza desiderata?

Analisi

Questo metodo di sollevamento è molto utilizzato, e sfrutta il principio di Archimede: il sacco pieno d'aria riceve una spinta verso l'alto pari al peso dell'acqua che riesce a spostare.
Bisogna quindi trovare il volume di acqua di mare che ha una forza peso pari a quella di cui gli archeologi hanno bisogno.
Dato che il volume di aria viene richiesto in litri, dobbiamo ricordare che un litro non è altro che un decimetro cubo.

Risoluzione

Il volume richiesto (tralasciando lo spessore del sacco di gomma) corrisponde al volume di acqua spostata:

$$V_{acqua} = \frac{m_{acqua}}{D_{acqua}}$$

Non abbiamo la massa di acqua, ma secondo la legge della forza di gravità essa può essere ricavata grazie alla forza peso, che per il principio di Archimede è proprio la spinta verso l'alto richiesta:

$$m_{acqua} = \frac{F}{g} = \frac{4800}{9,81} = 489,3\,kg$$

$$V_{acqua} = \frac{m_{acqua}}{D_{acqua}} = \frac{489,3}{1025} = 0,477\ m^3 = 477\ dm^3 = 477\ l$$

Bisogna mettere del sacco 477 litri di aria.

Teniamo presente che questi litri di aria non corrispondono ad una precisa quantità. I gas, infatti, sono comprimibili; per avere un volume di un litro occorre tanta massa in più di aria tanto più ci troviamo in profondità. Questo significa che, mentre il reperto viene sollevato, l'aria nel sacco si espanderà, e quella in eccesso va fatta fuoriuscire altrimenti la spinta aumenterà parecchio.

Il colpo di cannone

principi della dinamica

Un pirata punta un cannone di massa 5 quintali montato su un carrello contro una nave inglese, lo carica con una palla da 25 kg, ed accende la miccia. L'esplosione all'interno del cannone fa una forza in tutte le direzioni pari a 8700 N.
Descrivere quello che succede alla palla e al cannone stesso.

Analisi

La forza dell'esplosione agisce indistintamente sul proiettile e sul fondo del cannone. Succederà che la palla accelererà in avanti fino ad uscire dal cannone ad una certa velocità (che non possiamo calcolare), mentre il cannone verrà spinto indietro dal cosiddetto “rinculo”.
Il problema si risolve velocemente applicando il secondo principio della dinamica.

Risoluzione

Calcoliamo l'accelerazione della palla di cannone:

$$a_p = \frac{F}{m_p} = \frac{8700}{25} = 348\,m/s^2$$

E ora quella in senso opposto del cannone stesso:

$$m_c = 5\text{ quintali} = 5 \cdot 100 = 500\text{ kg}$$

$$a_c = \frac{F}{m_c} = \frac{8700}{500} = 17{,}4\,m/s^2$$

Il proiettile accelera in avanti di 348 metri al secondo quadrato, mente il cannone ha un'accelerazione all'indietro pari a 17,4 m/s^2. Il pirata avrebbe fatto meglio a legare il cannone prima di sparare, perché ha fatto più danni alla sua nave che a quella degli inglesi...

L'elicottero

principi della dinamica

Il rotore di un elicottero di 16 tonnellate che si trova sulla pista di un eliporto sta facendo una forza verso il basso pari a 166 KN. L'elicottero decolla oppure no? Con quale accelerazione? perché?

Analisi

La domanda apparentemente strana ha un fondamento: l'elicottero decolla solamente se la forza del rotore è maggiore di quella di gravità. Dovremo quindi osservare le due forze e confrontarle.

Risoluzione

Per conoscere l'eventuale accelerazione verso l'alto ci serve il secondo principio della dinamica:

$a = \frac{F}{m}$ dove F è la forza totale che agisce sull'elicottero.

Cominciamo con la forza peso del velivolo:

$$F_p = m \cdot g = (16 \cdot 1000) \cdot 9{,}81 = 16000 \cdot 9{,}81 = 156960 \text{ N}$$

Conoscendo già la forza fatta dal rotore, possiamo notare che quest'ultima è maggiore della forza di gravità. Vediamo di quanto:

$$F = F_r - F_p = (166 \cdot 1000) - 156960 = 166000 - 156960 = 9040 \text{ N}$$

La forza totale quindi è rivolta verso l'alto e vale 9040 newton. Ecco l'accelerazione:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{9040}{16000} = 0{,}57 \text{ m/s}^2$$

L'elicottero accelera verso l'alto di 0,57 metri al secondo quadrato. Esso decolla nonostante il rotore spinga verso il basso grazie al terzo principio della dinamica: il rotore fa una forza sull'aria, che fa quindi una forza di reazione sul rotore.

Il problema poteva essere risolto anche più velocemente calcolando subito l'accelerazione causata dal rotore (10,38 m/s^2) e sottraendo quella di gravità (9,81 m/s^2), ottenendo lo stesso risultato.

Tuttavia, passare per le forze rende un po' più chiaro il problema.

Un treno merci è composto da una locomotiva di massa 28 tonnellate, e da 12 vagoni da 18 tonnellate e mezza ciascuna. Si vuole che, partendo da fermo, il treno raggiunga la velocità di 80 km/h in tre minuti esatti. Calcolare la forza che deve generare la locomotiva.

Analisi

La forza è legata alla massa e all'accelerazione di un corpo dal secondo principio della dinamica. Dobbiamo quindi ottenere l'accelerazione necessaria, supponendo che il moto del treno sia uniformemente accelerato. Nel calcolare la massa, non bisogna dimenticare che la locomotiva deve fare forza per accelerare anche se stessa.

Risoluzione

Cominciamo dal secondo principio della dinamica:

$$F = m \cdot a$$

Ora calcoliamo la massa totale del treno:

$$m = (29 \cdot 1000) + 12 \cdot (18{,}5 \cdot 1000) = 250000\ \text{kg}$$

Per l'accelerazione usiamo la legge oraria del moto uniformemente accelerato:

$$v = \frac{80 \cdot 1000}{3600} = 22{,}22\ \text{m/s}$$

$$a=\frac{v}{\Delta t}=\frac{22,22}{3\cdot 60}=0,1235\ m/s^2$$

A questo punto possiamo calcolare la forza:

$$F=m\cdot a=250000\cdot 0,1235=30864\ N$$

La locomotiva deve fare una forza pari a 30864 newton.

Il montacarichi

potenza ed energia

Una carriola di massa 32 kg viene caricata con tre sacchi da 25 kg di cemento. Con un montacarichi elettrico la carriola viene sollevata su un'impalcatura a 14 metri di altezza. Calcolare il lavoro compiuto dal montacarichi e la sua potenza, sapendo che solleva il carico in 16 secondi.

Analisi

Il lavoro è il prodotto tra la forza e lo spostamento parallelo; dato che la forza in gioco è verticale come lo spostamento perché il montacarichi fa una forza contraria alla forza di gravità, il problema è abbastanza semplice da risolvere, anche perché abbiamo a disposizione i dati necessari, espressi già nell'unità di misura fondamentale.

Risoluzione

Possiamo applicare direttamente la formula del lavoro, dopo aver ottenuto la massa sollevata dal montacarichi e la sua forza peso:

$$m = 32 + 3 \cdot 25 = 107 \text{ kg}$$

$$F_p = m \cdot g = 107 \cdot 9{,}81 = 1049{,}67 \text{ N}$$

$$L = F \cdot \Delta s = 1049{,}67 \cdot 14 = 14695 \text{ J}$$

La potenza è il lavoro fatto nell'unità di tempo:

$$P = \frac{L}{\Delta t} = \frac{14695}{16} = 918{,}46 \text{ W}$$

Il montacarichi compie un lavoro pari a 14695 joule, con una potenza di 918,46 watt.

La freccia rimbalzata

energia cinetica ed energia potenziale gravitazionale

Un arciere scocca una freccia da 120 grammi ad una velocità di 115 km/h. Dopo poco tragitto la freccia rimbalza sul tronco di un albero; un terzo della sua energia cinetica viene disperso in calore, mentre la freccia viene sbalzata verso l'alto in verticale. Trascurando l'attrito con l'aria, a che altezza arriva la freccia prima di ricadere?

Analisi

Se la freccia raggiunge una certa altezza significa che la sua energia cinetica si trasforma in energia potenziale gravitazionale. Non tutta, però: solamente i due terzi di quella posseduta appena scoccata. Infatti in ogni urto c'è una inevitabile dispersione di energia sotto forma di calore.

I dati iniziale vanno convertiti nell'unità di misura fondamentale.

Risoluzione

Con la formula dell'energia potenziale gravitazionale l'altezza si calcola così:

$$h=\frac{E_p}{m\cdot g}$$

La massa è nota, anche se in grammi. Per l'energia, sappiamo che essa è pari ai due terzi di quella cinetica: cominciamo con quella.

$$v=\frac{115\cdot 1000}{3600}=\frac{115}{3,6}=31,94\ m/s$$

$$m=\frac{120}{1000}=0,12\ kg$$

$$E_{c1}=\frac{1}{2}\cdot m\cdot v^2=0,5\cdot 0,12\cdot 31,94^2=61,23\ J$$

Dopo l'urto con il ramo, l'energia diventa:

$$E_{c2}=E_{c1}\cdot\frac{2}{3}=61,23\cdot 0,6667=40,82\ J$$

La massima altezza è raggiunta quando tutta l'energia si trasforma, quindi $E_p=E_{c2}$:

$$h=\frac{E_p}{m\cdot g}=\frac{40,82}{0,12\cdot 9,81}=34,67\ m$$

La freccia raggiunge un'altezza di 34,67 metri, ovviamente misurati a partire dal punto in cui è avvenuto l'urto.

La scala mobile

energia potenziale gravitazionale, lavoro e potenza

All'ingresso di un centro commerciale, una scala mobile porta ad un'altezza di 8 metri una media di 25 persone al minuto. Considerando una massa media per persona di 70 kg, calcolare:

- il lavoro fatto dalla scala mobile in un'ora;
- la sua potenza;
- l'energia potenziale gravitazionale acquistata da ogni persona.

Analisi

Il lavoro della scala mobile è fatto in verticale, perché verticale è la forza che deve contrastare (la gravità).

Questa volta, analizzando il problema, conviene per comodità cominciare dall'ultima domanda, ricordando che tutto il lavoro fatto dalla scala diventerà in effetti energia potenziale gravitazionale.

Risoluzione

Cominciamo quindi a calcolare l'energia potenziale gravitazionale di ogni persona:

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 70 \cdot 9{,}81 \cdot 8 = 5493{,}6\ \mathrm{J}$$

Osserviamo tra l'altro che la formula che abbiamo appena usato non è altro che il calcolo del lavoro fatto, perché $m \cdot g$ è proprio la forza di gravità mentre h è lo spostamento verticale.

Calcoliamo il lavoro moltiplicando l'energia trovata per le persone sollevate in un'ora:

$$n_{persone} = 25 \cdot 60 = 1500$$

$$L_{tot} = E_p \cdot n_{persone} = 5493{,}6 \cdot 2500 = 8240400 \text{ J}$$

Per rispondere alla seconda domanda ci sono diverse strade; proseguiamo quella seguita fino ad ora, utilizzando il lavoro compiuto in un'ora per calcolare la potenza:

$$P = \frac{L_{totale}}{\Delta t} = \frac{8240400}{60 \cdot 60} = \frac{8240400}{3600} = 2289 \text{ W}$$

In effetti la potenza è semplicemente il lavoro compiuto in un secondo.

La scala mobile compie in un'ora un lavoro di 8240400 joule, con una potenza di 2289 watt; ad ogni persona sollevata, essa fornisce un'energia potenziale gravitazionale di 5493,6 joule.

BIBLIOGRAFIA

Paolo Calvani
Fare Fisica volumi 1 e 2
Tramontana

Ugo Amaldi
L'Amaldi volumi 1 e 2
Zanichelli (2006)

Giuseppe Ruffo
Lezioni di fisica volumi 1 e 2
Zanichelli (2008)

Luca D'Acci
Sul Principio dei Lavori Virtuali
Celid (2002)

Capitani - De Sanctis - Scharerf
Lezioni di fisica
Libreria eredi Virgilio Veschi

E naturalmente un buon uso di Internet; e vi ricordo che la Rete è fatta per pescare, non per rimanerne impigliati!

INDICE