

I MANGA DELLE SCIENZE

FISICA

HIDEO NITTA
KEITA TAKATSU
TREND-PRO CO., LTD.



I MANGA DELLE SCIENZE
FISICA

HIDEO NITTA
KEITA TAKATSU
TREND-PRO CO., LTD.



SOMMARIO

PREFAZIONE	VII
PROLOGO LA FISICA TI PREOCCUPA?	1
1	
IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE	13
Il principio di azione e reazione	14
Come funziona il principio di azione e reazione	15
L'equilibrio	20
Equilibrio e principio di azione e reazione	23
Forza di gravità e principio di azione e reazione	30
I tre principi della dinamica	33
Grandezze scalari e grandezze vettoriali	37
Fondamenti sui vettori	37
Vettori negativi	38
Differenza fra due vettori	38
Moltiplicare vettori per scalari	39
Equilibrio e forze vettoriali	39
I tre principi della dinamica	40
Tracciamo un diagramma di corpo libero	41
Esprimiamo il terzo principio con un'equazione	42
La gravità e la gravitazione universale	43
2	
FORZA E MOTO	45
Velocità e accelerazione	46
Moto rettilineo uniforme	46
Accelerazione	50
Laboratorio: Trova la distanza percorsa quando la velocità varia	53
Il primo e il secondo principio della dinamica	58
Il principio di inerzia	58
Il secondo principio della dinamica	66
Laboratorio: Trovare il valore preciso di una forza	73
Moto di una palla lanciata	75
Tre regole del moto uniformemente accelerato	85
Vettori: il metodo punta-coda	86

Composizione e scomposizione di forze	87
Un attimo: cos'è questa roba di seni e coseni?	89
Il primo principio della dinamica.	90
Il secondo principio della dinamica.	90
La direzione di: velocità, accelerazione e forza	90
Un oggetto non ha una forza propria	92
L'unità di misura della forza.	92
Misurare masse e forze	93
Misurare i pesi	94
Capiamo il moto parabolico	96
Il calcolo differenziale per trovare accelerazione e velocità	99
Usiamo l'area sotto un grafico v-t per trovare la distanza percorsa da un oggetto	100
3	
QUANTITÀ DI MOTO	103
Quantità di moto e impulso	104
Parliamo della quantità di moto.....	106
Laboratorio: Differenza di quantità di moto dovuta a una differenza di massa	109
Variazioni di quantità di moto e impulso	111
Laboratorio: Trovare la quantità di moto di un colpo	117
La conservazione della quantità di moto	120
Il terzo principio della dinamica e la conservazione della quantità di moto.....	120
Laboratorio: Gli astronauti e la conservazione della quantità di moto	126
L'impulso nella vita di tutti i giorni	129
Ridurre l'impatto.....	129
Come migliorare il servizio di Megumi	133
Quantità di moto e impulso	139
L'impulso e la quantità di moto nella vita quotidiana	140
Ricaviamo la legge di conservazione della quantità di moto	141
Urti elastici e anelastici.....	143
Unità di misura della quantità di moto.....	144
La legge di conservazione della quantità di moto per i vettori	144
Il principio di azione e reazione vs la legge di conservazione della quantità di moto	146
Propulsione di un razzo	147
4	
ENERGIA	151
Lavoro ed energia.	152
Che cos'è l'energia?	153
Laboratorio: Che differenza c'è tra la quantità di moto e l'energia cinetica?	162
Energia potenziale	164
Lavoro ed energia potenziale	169
Laboratorio: Il lavoro e la conservazione dell'energia	172
Lavoro ed energia.....	175
Laboratorio: Il rapporto fra il lavoro e l'energia cinetica	178
Distanza di frenata e velocità	180

La conservazione dell'energia meccanica	184
Trasformare l'energia	184
La conservazione dell'energia meccanica	187
Laboratorio: La legge di conservazione dell'energia all'opera	191
Velocità e altezza di una palla lanciata	194
Laboratorio: Conservazione dell'energia meccanica su una discesa	195
Le unità di misura dell'energia	200
Energia potenziale	201
Le molle e la conservazione dell'energia	202
La velocità di lancio e l'altezza raggiunta	203
L'orientamento della forza e del lavoro	204
Calcoliamo il lavoro compiuto da una forza non costante (unidimensionale)	205
Forze non conservative e la legge di conservazione dell'energia	207
L'attrito: una forza non conservativa	207
Attrito su un pendio	208
Monete in collisione e la conservazione dell'energia	210
EPILOGO	215
 APPENDICE	
CAPIAMO LE UNITÀ DI MISURA	225
 INDICE	228

PREFAZIONE

Per capire la fisica è fondamentale riuscire a visualizzare l'oggetto delle nostre indagini: nella meccanica classica, in particolare, è importante capire come si applicano le leggi fisiche agli oggetti in movimento. Purtroppo, però, i libri di testo tradizionali offrono raramente immagini adeguate di questi fenomeni.

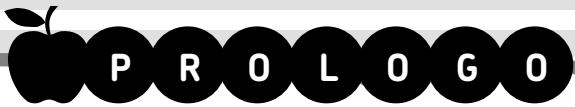
Il libro che avete in mano prova a spiegare la fisica usando i fumetti. Molto più che semplici illustrazioni, i fumetti sono un mezzo espressivo e dinamico in grado di rappresentare lo scorrere del tempo, mostrando in modo vivido i cambiamenti mentre avvengono. I fumetti possono trasformare leggi apparentemente aride e scenari astratti in cose familiari, semplici e comprensibili. E poi, ovviamente, sono divertenti, un aspetto ben presente anche in questo libro.

Poiché tengo molto all'opinione del pubblico, aspetto il giudizio dei lettori per sapere se sono riuscito nell'intento. Per quanto mi riguarda, sono soddisfatto della mia opera, nonostante – per limiti di spazio – abbia dovuto omettere il capitolo in cui una passeggiata al luna park serviva a spiegare il moto circolare e i riferimenti non inerziali.

Il personaggio principale del libro è Megumi Ninomiya, una studentessa delle superiori che ha qualche problema con la fisica. Spero vivamente che questo libro raggiunga molti di quei lettori che pensano “la fisica è difficile” o “la fisica non mi piace”, aiutandoli a trovare in questa scienza almeno un po’ del piacere scoperto da Megumi.

Come ultima cosa, voglio esprimere la mia gratitudine nei confronti del personale dell'OHM Development Office, dello sceneggiatore re_akino e del disegnatore Keita Takatsu: senza la loro collaborazione questo straordinario fumetto non sarebbe mai stato realizzato.

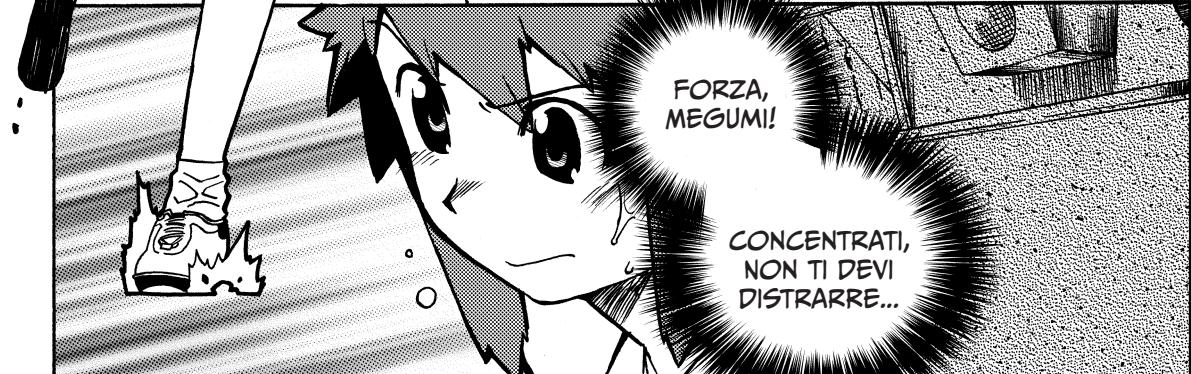
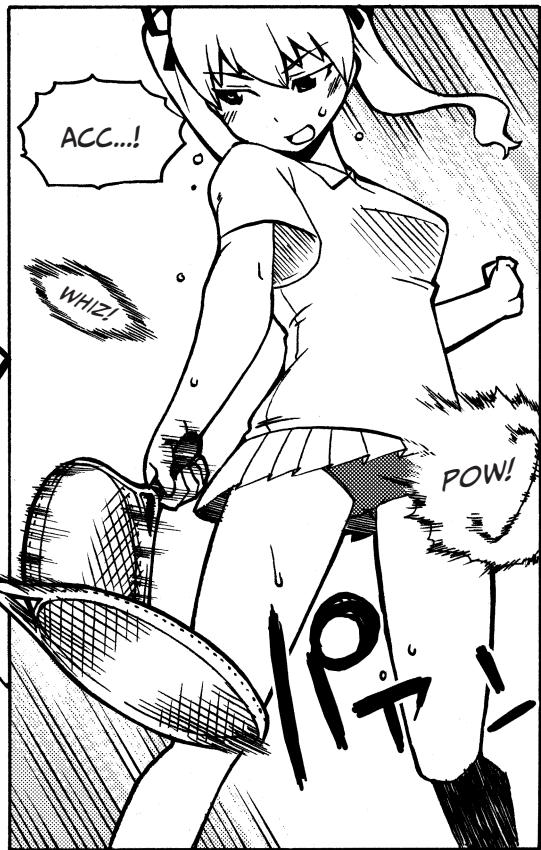
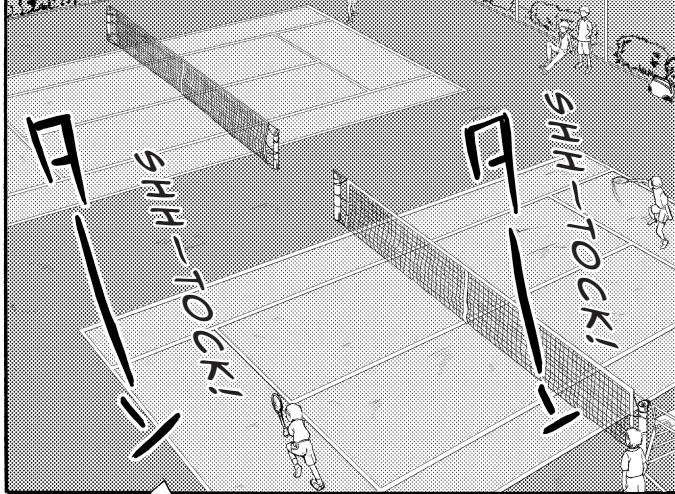
HIDEO NITTA

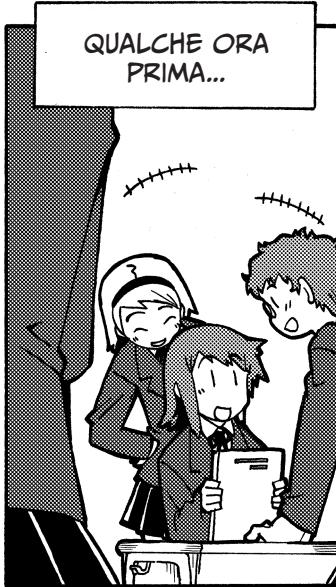


PROLOGO

LA FISICA TI PREOCCUPA?



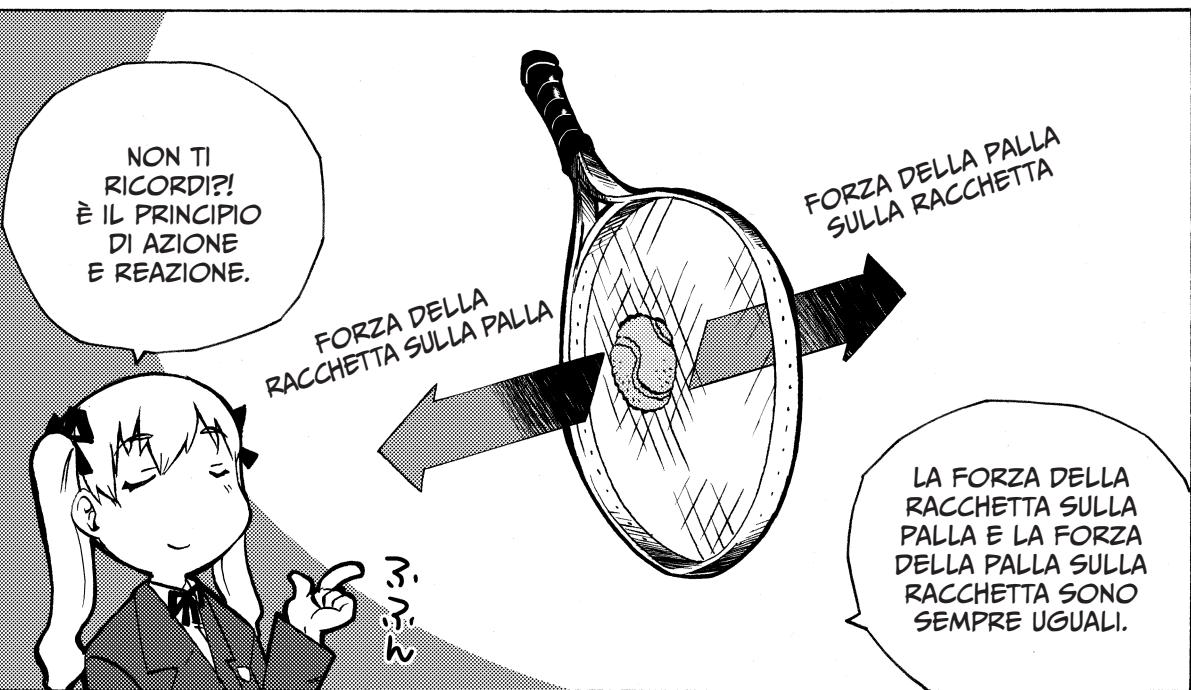




9) Supponiamo di colpire una palla da tennis con una racchetta. Quale forza è maggiore, quella con cui la palla spinge la racchetta o quella della racchetta sulla palla? Selezionare la risposta corretta.

- A. La forza con cui la racchetta spinge la palla è maggiore di quella della palla sulla racchetta.
- B. La forza con cui la palla spinge la racchetta è maggiore di quella della racchetta sulla palla.
- C. La forza con cui la palla spinge la racchetta è uguale a quella della racchetta sulla palla.
- D. Il rapporto tra la forza della palla sulla racchetta e la forza della racchetta sulla palla dipende dal peso della racchetta e dalla velocità della palla.





A PROPOSITO...
NON TI SARAI
DIMENTICATA
ANCHE

DELLA NOSTRA
PARTITA DOPO
LA SCUOLA?

EH,
BE'...

CE-CE...
CERTO
CHE NO!

UH-UH-UH

SU,
DAI.

AH, BENE...

CLICK

...MI
RACCO-
MANDO...

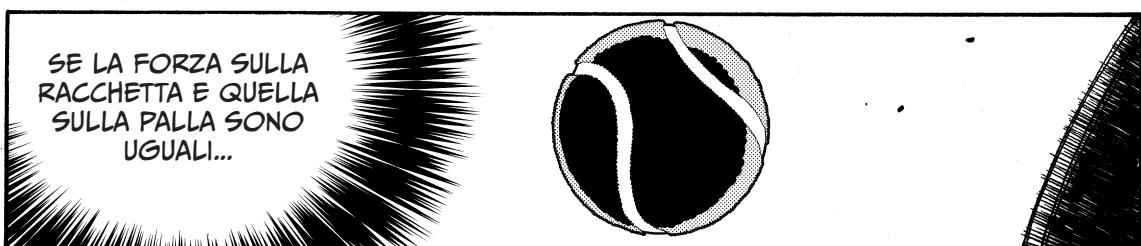
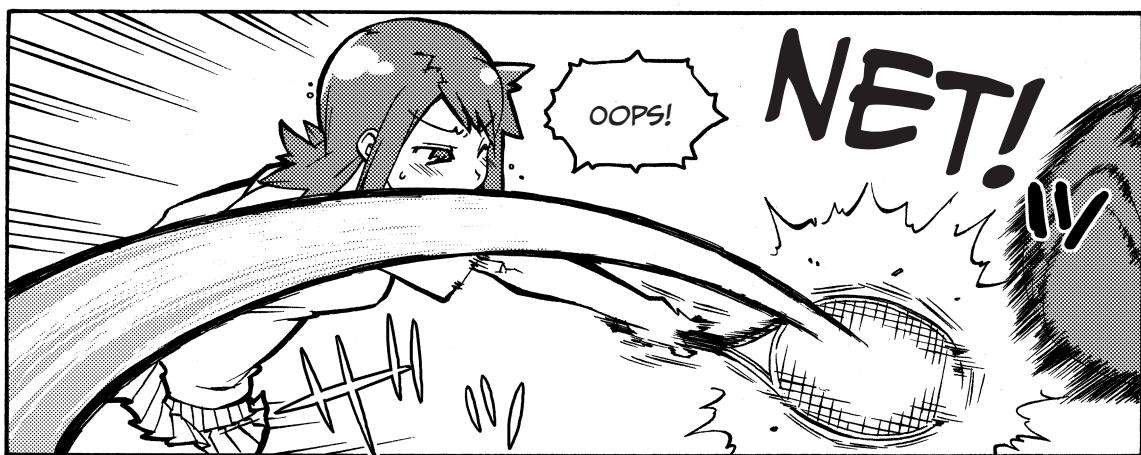
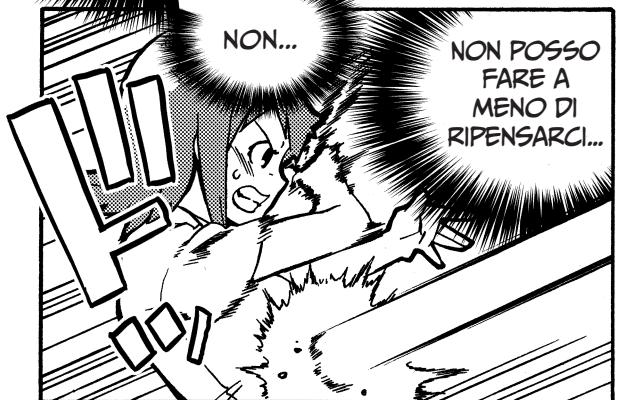
GRRRR...

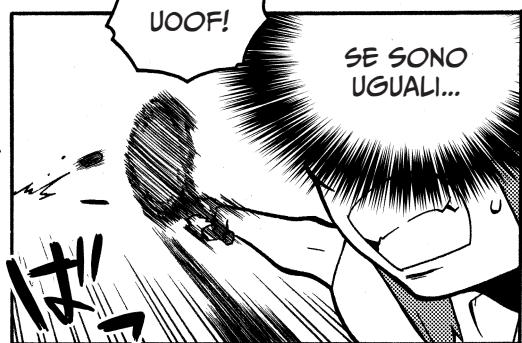
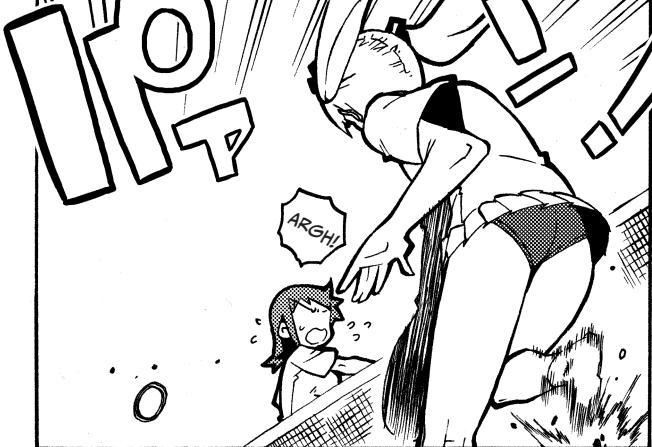
NON LA
SOPPORTO!

ACE!

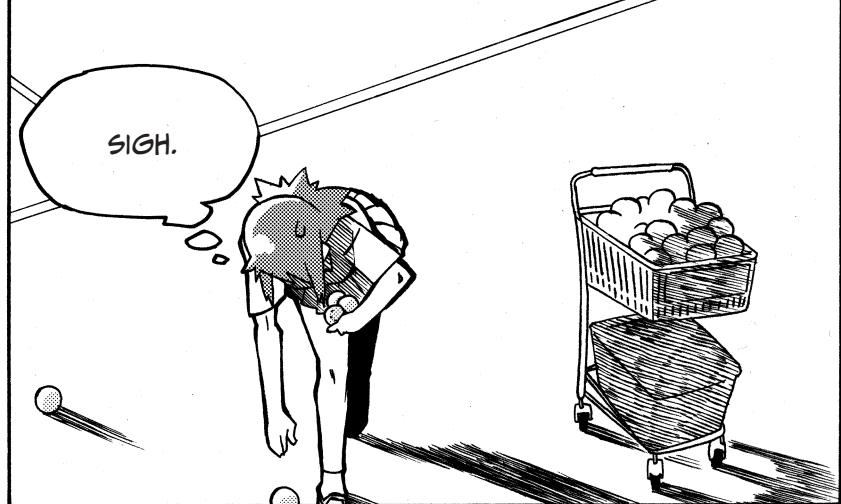
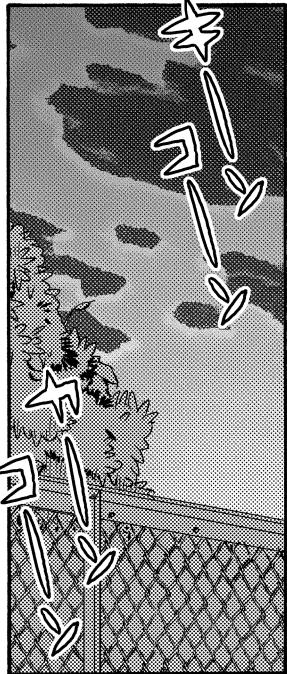
COME?

Wiiii





PIÙ TARDI...





NON C'È
PROBLEMA,
VISTO CHE NON
L'HA FATTO
APPOSTA.

MA CHE CI
FACEVI QUI?

CALCOLAVO
IL MOTO DELLA
PALLA MENTRE
GIOCATEVATE.

THUMP

THUMP

E COSÌ... MI HAI
ANCHE VISTO
PERDERE!

BE', SÌ.

STA' A SENTIRE!

ORA TI DICO
COM'È CHE HO
PERSONO.

IN CHE
SENSO?

MAGNUS.

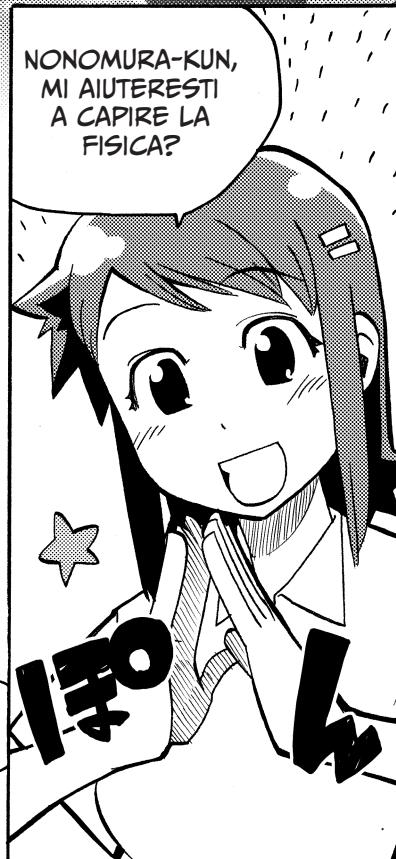
$$m \frac{dy}{dt} = -m g +$$

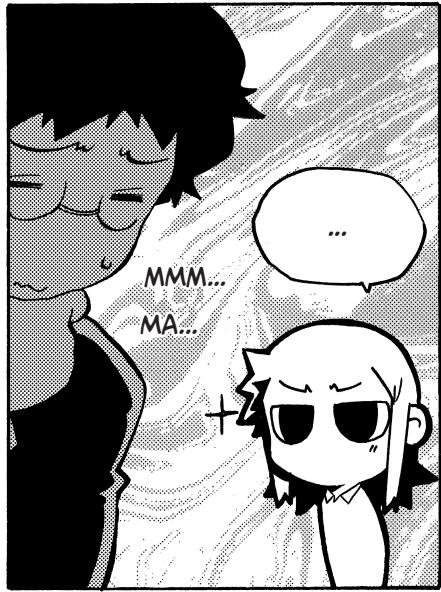
$$m \frac{dx}{dt}$$

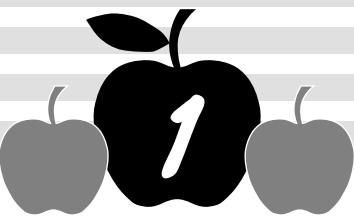
WOW! PROPRIO
UNA ROBA DA
VINCITORE DELLE
OLIMPIADI
DI FISICA!



MEGUMI SPIEGA CHE COSA LA IMPENSIERISCE...







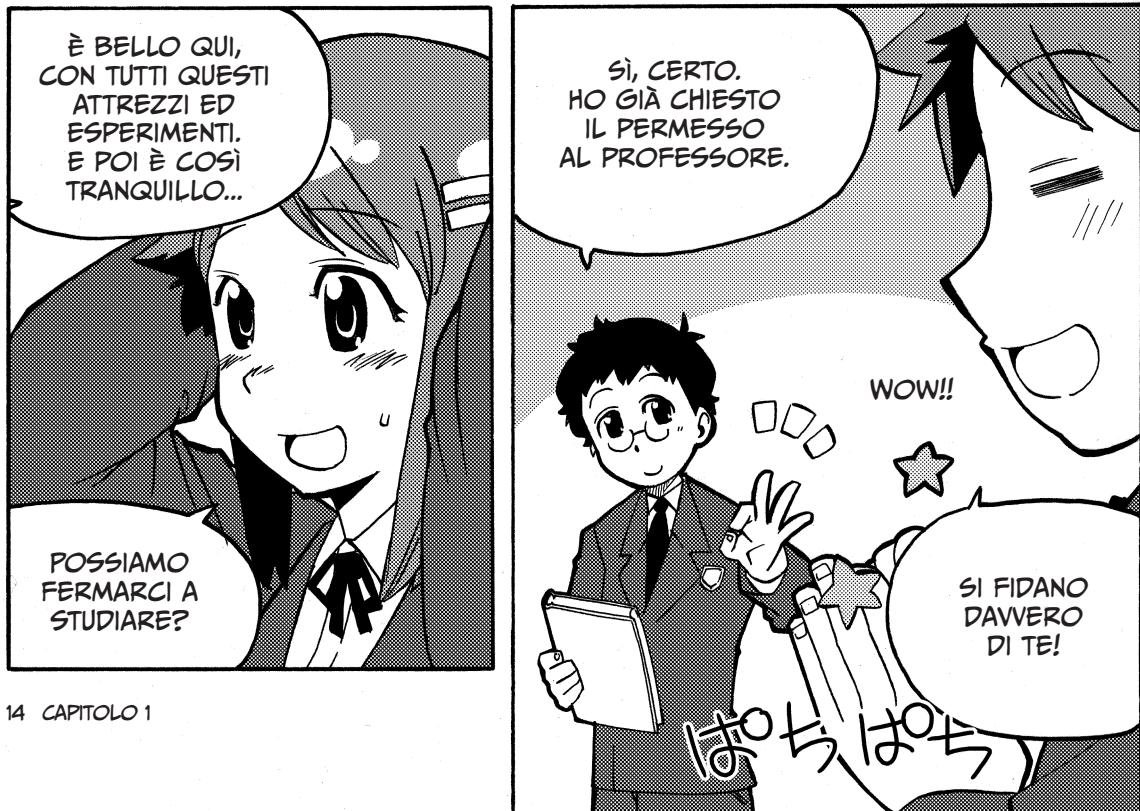
IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE



IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE



* LABORATORIO



ANCH'IO HO SENTITO PARLARE PARECCHIO DI TE, NINOMIYA-SAN: SEI UNA STELLA DELLO SPORT.

MA DAVVERO...? È SOLO CHE MI PIACE, SAI.

BE', ALLORA PROVA A DEDICARTI ALLA FISICA QUANTO ALLO SPORT.

SENZ'ALTRO! E GRAZIE PER L'AUTO!

COME FUNZIONA IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

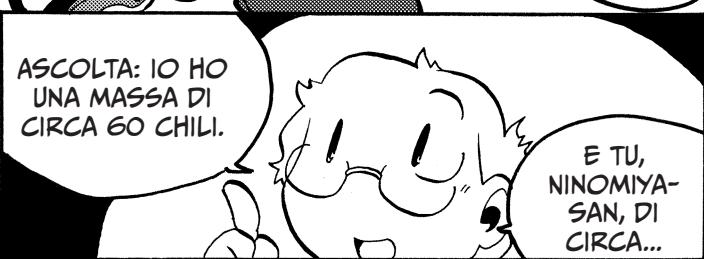
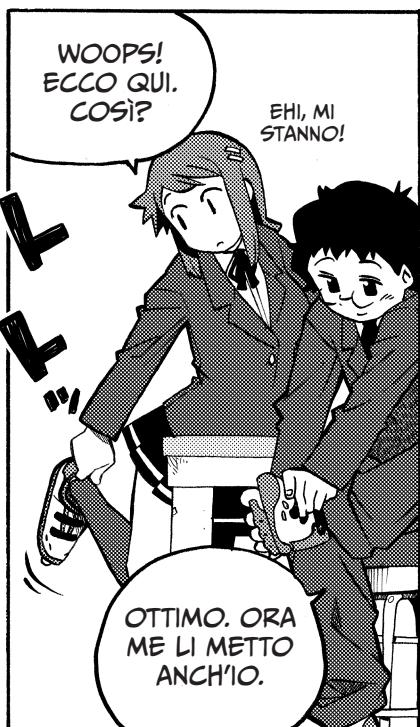
ALLORA, COMINCIAMO.

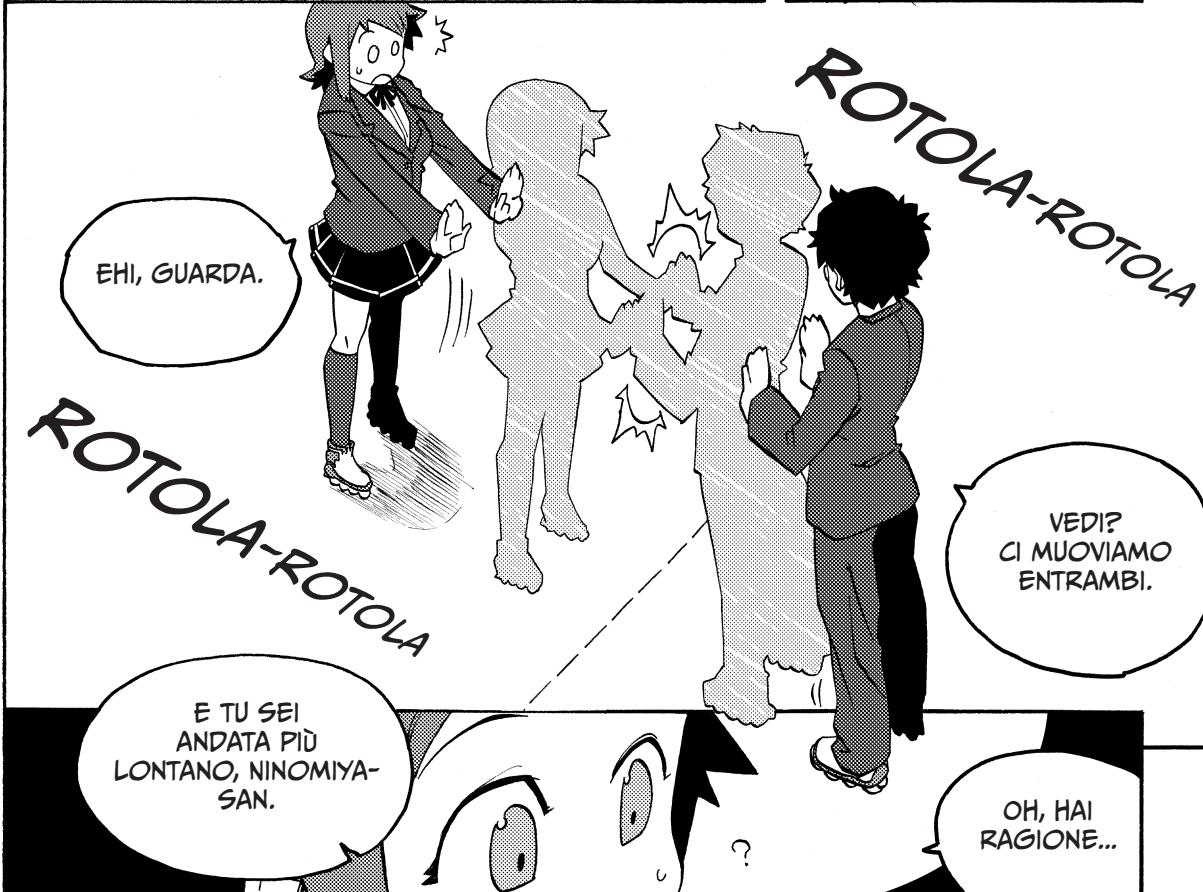
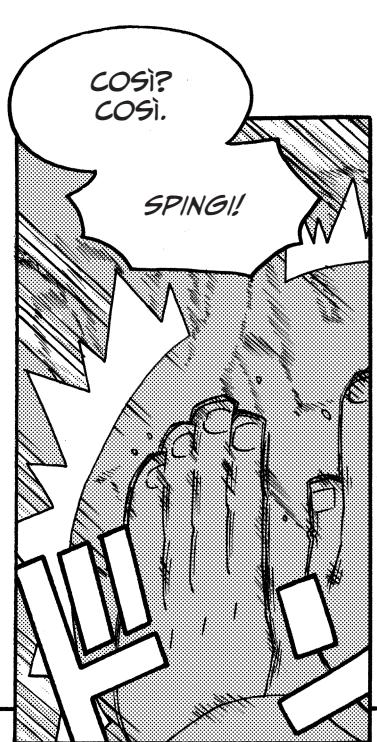
VUOI IMPARARE IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE, GIUSTO?

CERTO.

O ALMENO, È COSÌ CHE HA DETTO SAYAKA...

PRIMA DI VEDERLO APPLICATO A RACCHETTA E PALLINA...





PROVIAMO AL CONTRARIO.

SE SONO IO A SPINGERE, ANDIAMO DI NUOVO INDIETRO ENTRAMBI.

DAVVERO?

QUANDO CERCHI DI USARE UNA FORZA SU DI ME,

ANCHE SE IO NON REAGISCO DI PROPOSITO SPINGENDO,

PURE SUL TUO CORPO SI ESERCITERÀ UNA FORZA, NINOMIYA-SAN.

OGNI VOLTA CHE UNO DI NOI APPLICA UNA FORZA SULL'ALTRO,

SHAZAM!

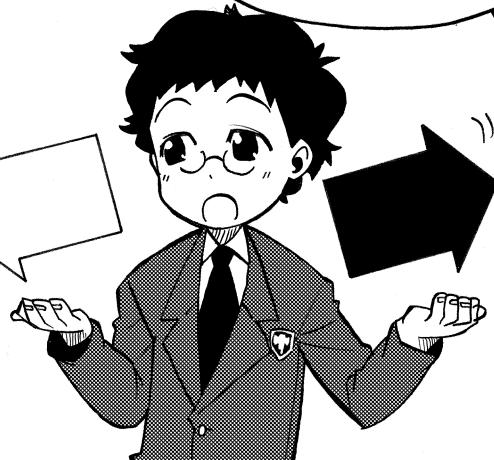
RICEVE LA STESSA FORZA NELLA DIREZIONE OPPosta.

A-AH!

QUINDI NON TI POSSO SPOSTARE SENZA SPOSTARMI ANCH'IO.

INOLTRE, IL MODULO DELLA FORZA È SEMPRE UGUALE DA ENTRAMBE LE PARTI.

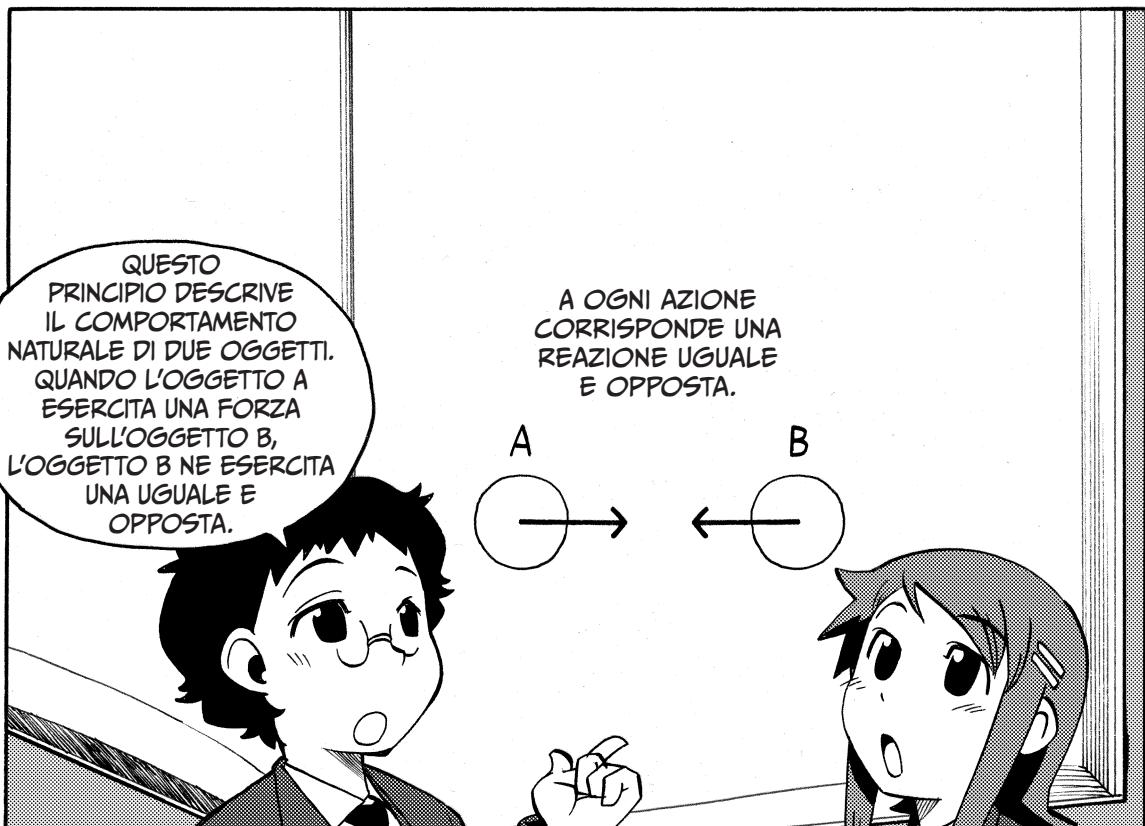
È QUESTO IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE, E SPIEGA COME SI GENERA UNA FORZA FRA DUE OGGETTI.



MI GIUNGE NUOVO.

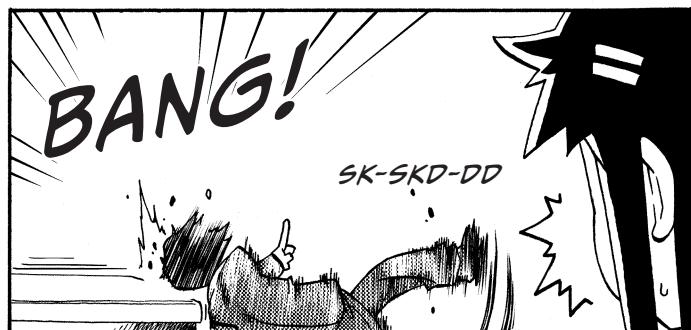
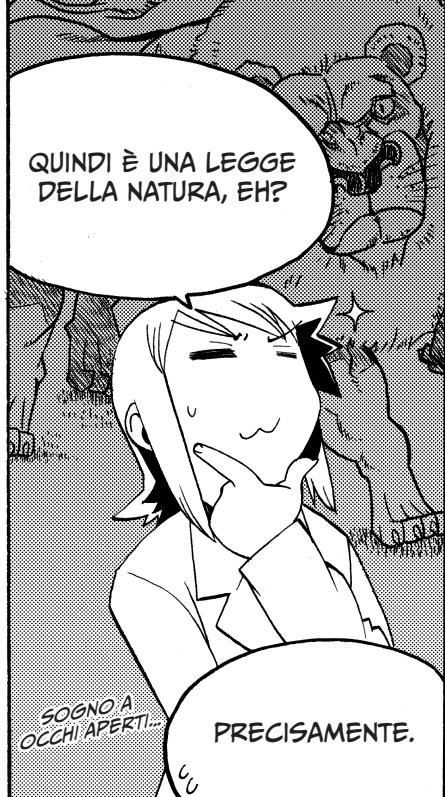
HMM...

LO POSSIAMO RIASSUMERE COSÌ:



QUESTO PRINCIPIO DESCRIVE IL COMPORTAMENTO NATURALE DI DUE OGGETTI. QUANDO L'OGGETTO A ESERCITA UNA FORZA SULL'OGGETTO B, L'OGGETTO B NE ESERCITA UNA UGUALE E OPPOSTA.

A OGNI AZIONE CORRISPONDE UNA REAZIONE UGUALE E OPPOSTA.



QUANDO GLI OGGETTI SONO IMMOBILI, È FACILE CONFONDERE



IL PRINCIPIO DI AZIONE E
REAZIONE CON L'EQUILIBRIO,
CIOÈ IL BILANCIAMENTO
TRA LE FORZE.

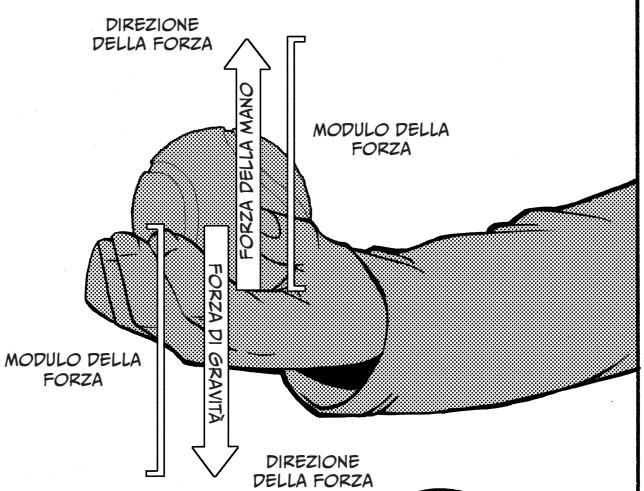
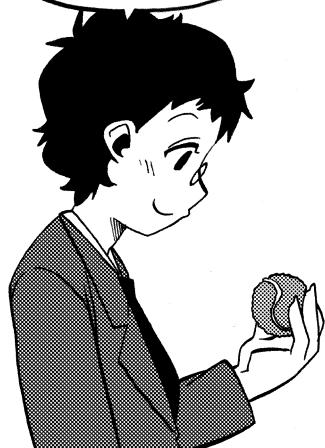
BILANCIAMENTO TRA LE FORZE?



TE LO SPIEGO CON
LE FORZE IN GIOCO
QUANDO TENGO IN
MANO UNA PALLA.

LA FORZA HA
UNA DIREZIONE,
OLTRE CHE UN
VALORE.

UNA GRANDEZZA
CHE HA SIA UN VALORE,
O MODULO, SIA UNA
DIREZIONE SI CHIAMA
VETTORE.

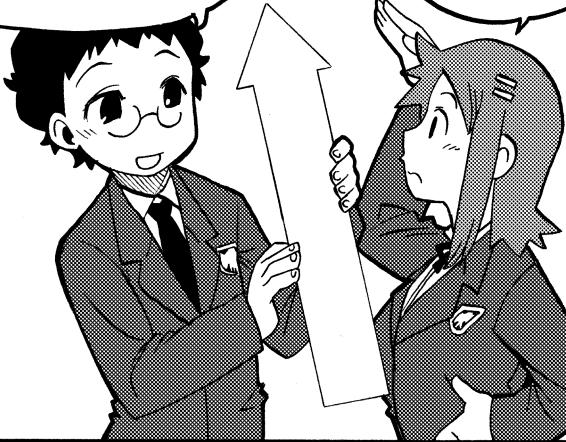


SONO QUELLI
RAPPRESENTATI
DALLE FRECCHE
NELLA TUA
ILLUSTRAZIONE,
NO?

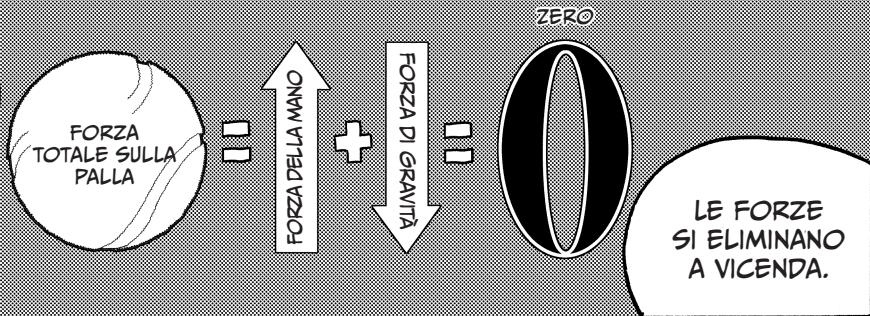


SI DISEGNA UNA FRECCIA NELLA DIREZIONE DELLA FORZA, E LA LUNGHEZZA RAPPRESENTA IL MODULO.

E QUINDI IL DISEGNO MOSTRA...



SÌ. L'EQUILIBRIO SI RIFERISCE A UNA RELAZIONE DI FORZE COME QUELLA DELLA FIGURA.



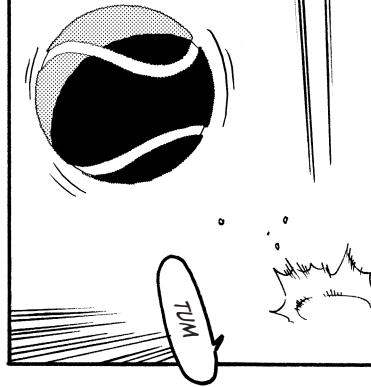
SE SPOSTO LA MANO RAPIDAMENTE PER SMETTERE DI REGGERE LA PALLA,

NON C'È PIÙ!



RESTA SOLO LA GRAVITÀ AD AGIRE SULLA PALLA, CHE QUINDI CADE.

WHIN



EQUILIBRIO E PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

ADESSO VEDIAMO LA DIFFERENZA TRA L'EQUILIBRIO E IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE.

ISSA!

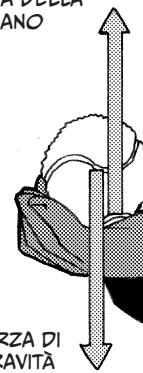
PER VEDERLO MEGLIO, CONFRONTIAMOLI USANDO DUE PALLE.

BENE.

QUANDO CONSIDERIAMO L'EQUILIBRIO, CI CONCENTRIAMO SOLO SULLA FORZA APPLICATA ALLA PALLA.

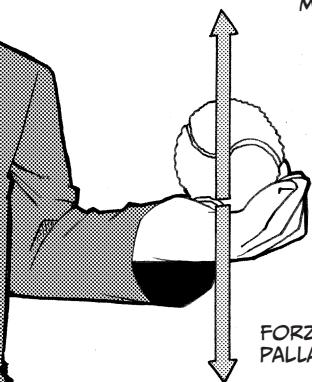
PER IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE, INVECE, DOBBIAMO PENSARE SIA ALLA PALLA CHE ALLA MANO.

FORZA DELLA MANO



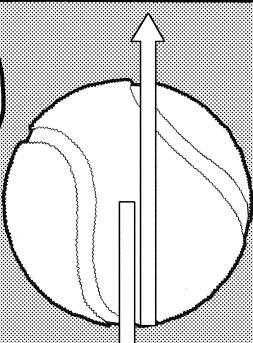
EQUILIBRIO

FORZA DELLA MANO



PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE

IL CONCETTO
DI EQUILIBRIO
RIGUARDA LA
FORZA APPLICATA
A UN SINGOLO
OGGETTO.



A-AH!

QUINDI È QUESTA
LA DIFFERENZA
TRA L'EQUILIBRIO
E IL PRINCIPIO
DI AZIONE E
REAZIONE.

INVECE
IL PRINCIPIO DI
AZIONE E REAZIONE
RIGUARDA LE FORZE
DI OGGETTI DIVERSI
COME LA PALLA
E LA MANO.

QUANDO TIENI
UNA PALLA NE
SENTI IL PESO,
NO?

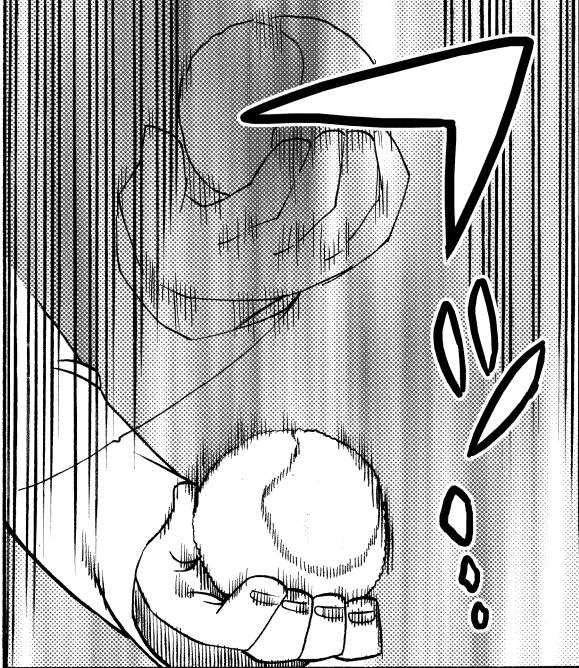
È LA PROVA
DEL FATTO CHE
ANCHE LA MANO
SPINGE LA PALLA
CON UNA FORZA
DELO STESSO
MODULO...

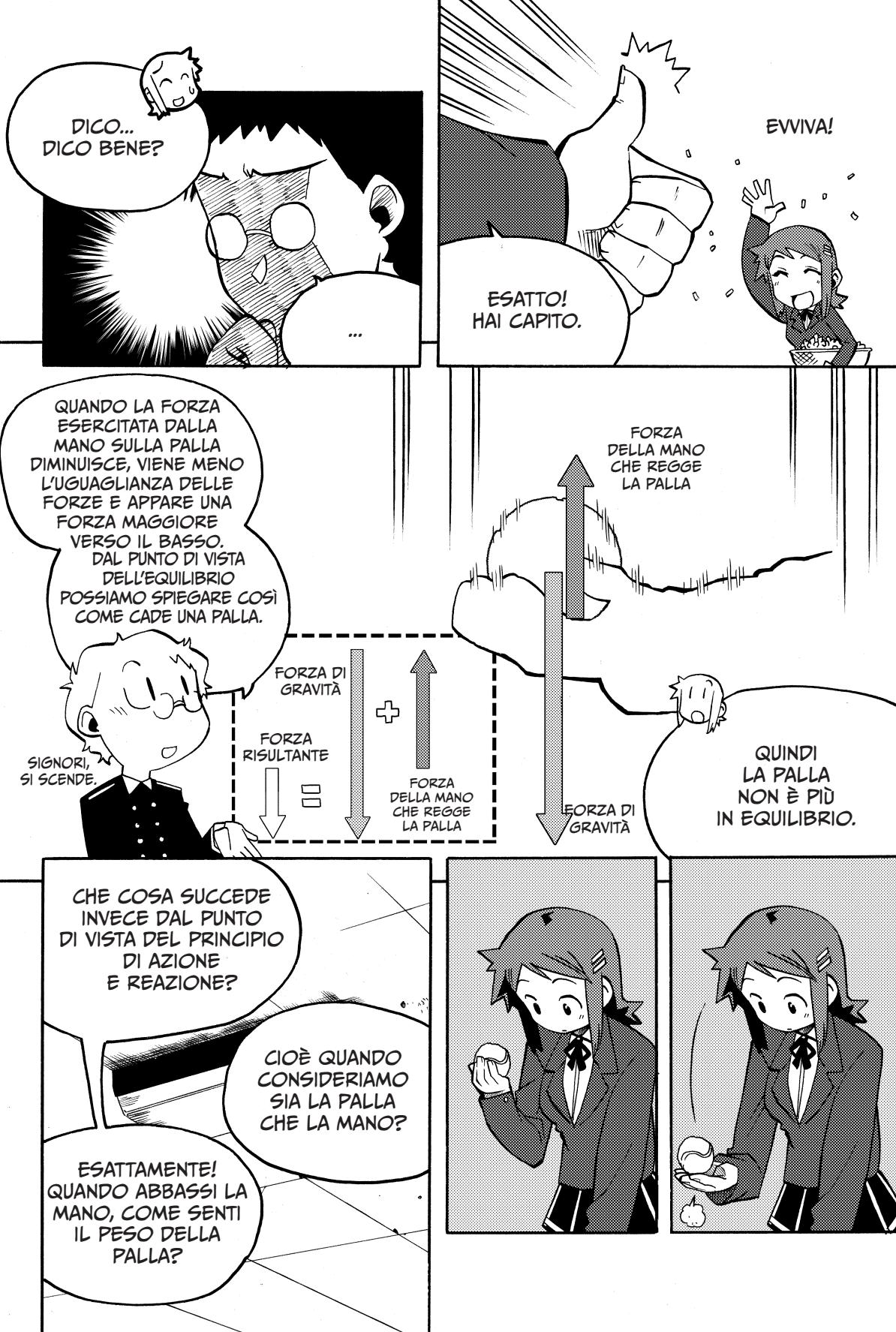
...DELLA FORZA CON
CUI LA PALLA SPINGE
LA MANO. È PROPRIO
IL PRINCIPIO
DI AZIONE E
REAZIONE.

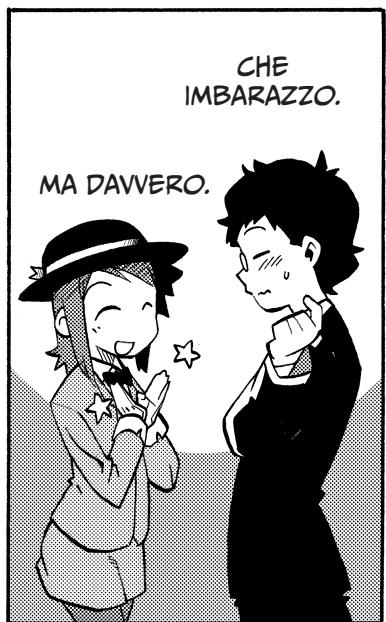
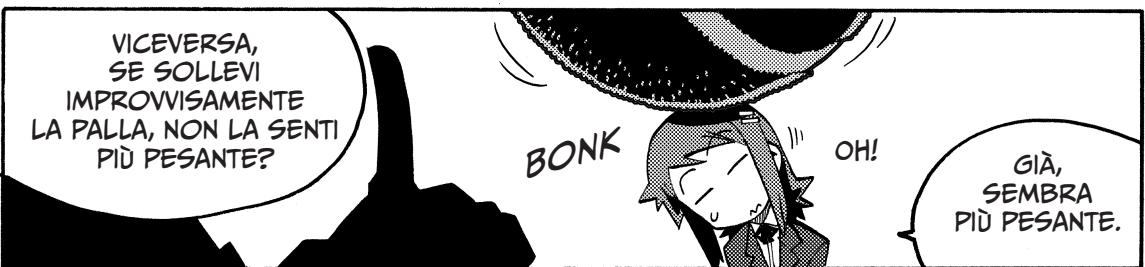
È UN PUNTO
DI VISTA DIVERSO
RISPETTO AL
CONCETTO DI
EQUILIBRIO.

ANZI, TE LO
MOSTRO IN
MODO ANCHE
PIÙ SEMPLICE.









QUINDI ANCHE LA FORZA DI REAZIONE AUMENTA: PER QUESTO LA SENTI PIÙ PESANTE.



VEDI, LA FORZA CHE LA PALLA ESERCITA SULLA MANO AUMENTA ESATTAMENTE QUANTO QUELLA CHE LA MANO ESERCITA SULLA PALLA.

ADESSO QUESTO TI AIUTA A CAPIRE LA DOMANDA DEL COMPITO SULLA RACCHETTA E LA PALLA?

FLASH-BACK

UMMM...



9) Supponiamo di colpire una palla da tennis con una racchetta. Quale forza è maggiore, quella con cui la palla spinge la racchetta o quella della racchetta sulla palla?

EHM, SCUSA.
MI PARE CHE
LA DOMANDA
FOSSE COSÌ.



QUINDI, SE GUARDIAMO
MOMENTO PER MOMENTO
COME SE IL TEMPO SI
FOSSE FERMATO, È PRO-
PRIO COME QUANDO LA
PALLA È POSATA
SULLA MANO.

ESATTO.

IL PRINCIPIO DI AZIONE
E REAZIONE LO TROVI
SEMPRE, SIA NELLE
SITUAZIONI DINAMICHE
CHE IN QUELLE
STATICHE.

CHIARO?

FINALMENTE È
TUTTO CHIARO.

GRAZIE.

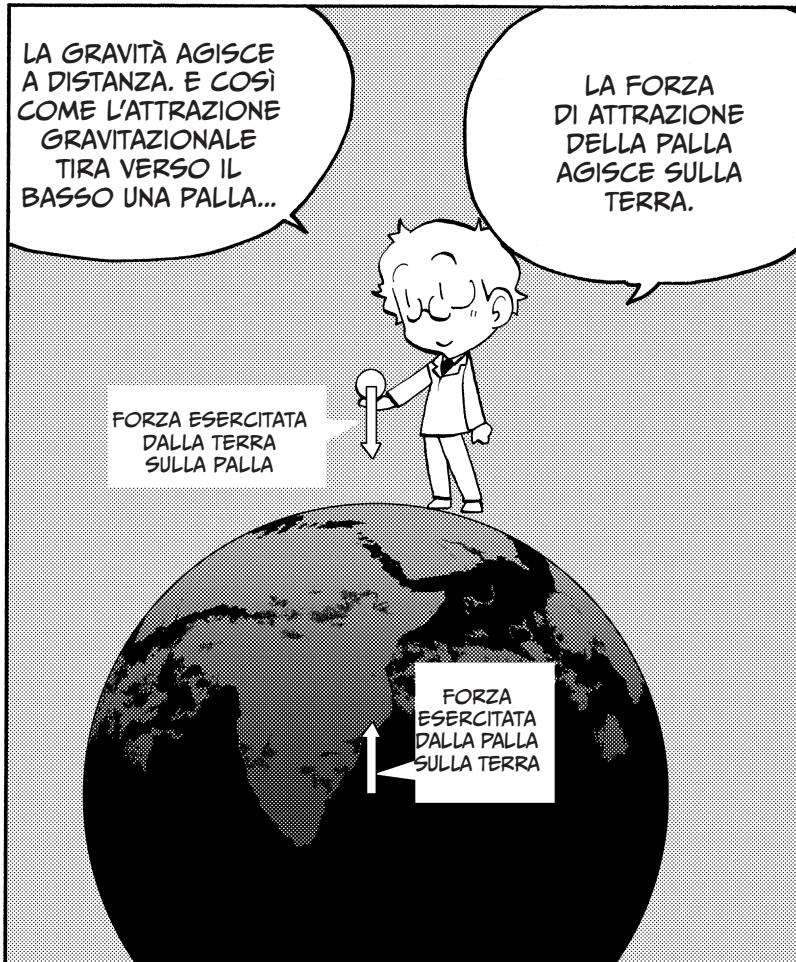
BENE.

UN
ATTIMO.

FORZA DI GRAVITÀ E PRINCI-
PIO DI AZIONE E REAZIONE

HAI DETTO CHE
PER IL PRINCIPIO
DI AZIONE E
REAZIONE LE FORZE
APPAIONO SEMPRE
A COPPIE.

SÌ, GIUSTO...



LA PALLA
ATTRAE
LA TERRA?

TUTTI GLI OGGETTI CHE
HANNO UNA MASSA
SI ATTRAGGONO
A VICENDA: È LA
GRAVITAZIONE
UNIVERSALE.

CERTO,
PERCHÉ
FORMANO
UNA COPPIA.

È DIFFICILE
IMMAGINARE
CHE UNA PALLA
ATTRAGGA...

BE', UNA PALLA
NON PUÒ SPOSTARE
LA TERRA, CHE HA
UNA MASSA ENORME.

CAPISCO.

QUINDI LA GRAVITAZIONE
UNIVERSALE DEVE
AGIRE ANCHE FRA TE,
NONOMURA-KUN E ME,
PER ATTRARCI.

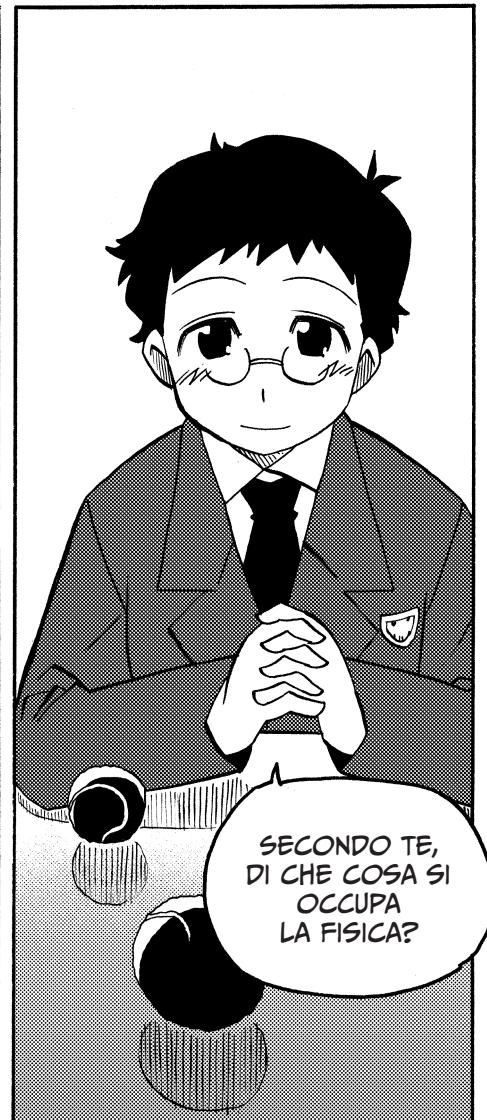
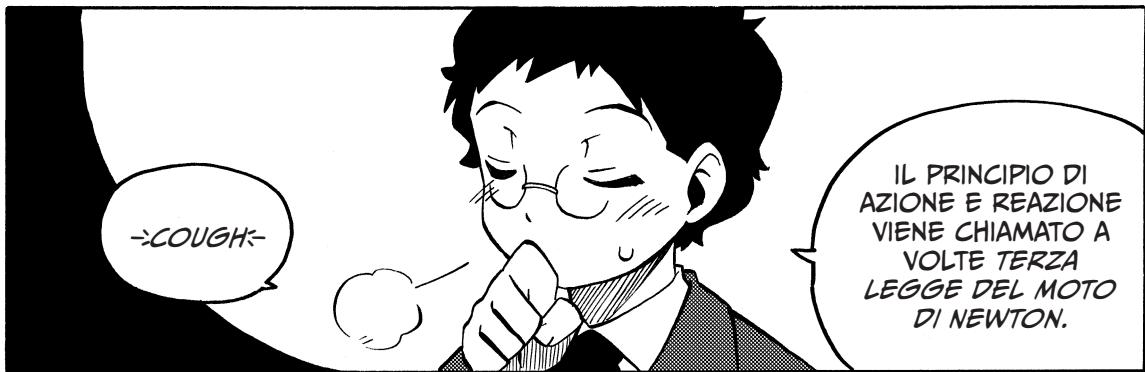
COS'È SUCCESSO ALLA
TUA PROMESSA DI
METTERTI D'IMPEGNO?

OOPS! CHE
IMBARAZZO!

...LA GRAVITAZIONE
UNIVERSALE È
PROPORTZIONALE
AL PRODOTTO
DELLE MASSE DEGLI
OGGETTI CHE
SI ATTRAGGONO.

LA MASSA
DI UN ESSERE UMANO
È PICCOLISSIMA, QUINDI
NON È POSSIBILE SENTIRE
LA GRAVITAZIONE
TRA LE PERSONE!

I TRE PRINCIPI DELLA DINAMICA



MEMORIZZARE UN SACCO DI FORMULE. PER ME È SEMPRE STATO QUESTO...



ALLORA FORSE SI OCCUPA DI CAPIRE COME FUNZIONANO I MOVIMENTI. GIUSTO?

OTTIMO.



MA ORA CHE TI SENTO SPIEGARE, NONOMURA-KUN, FORSE LA PENSO UN POCCHINO DIVERSAMENTE.

SECONDO ME LA FISICA È QUESTO: SPIEGARE I FENOMENI NATURALI USANDO LE LEGGI...

...O PREVEDERLI IN BASE AI DATI MATEMATICI.



WOW! SÌ, MI CONVINCHE.

E ALLA BASE DELLA FISICA C'È LA MECCANICA CLASSICA, QUELLA CHE STUDIAMO A LEZIONE.

LO SCOPO DELLA FISICA
È PREVEDERE IL MOTO
DI UN OGGETTO. IN ALTRE
PAROLE, APPRENDIAMO
LA FISICA PER POTER DIRE
QUANDO E DOVE
SI TROVERÀ
UN OGGETTO.

È DIVERSO
DA QUELLO
CHE PENSAVO.

È FACILE PRENDERE
UN FILMATO DI UNA
PALLA IN MOVIMENTO E
VEDERE DOVE STAVA
IN UN CERTO
MOMENTO, NO?

CERTO...

IMMAGINA, PERÒ,
DI DOVER PREVEDERE
DOVE SARÀ FRA UN
SECONDO LA PALLA CHE
STAI PER LANCIARE.

IN QUESTO CASO
DEVI CONOSCERE
LE REGOLE DEL
MOVIMENTO
DELLA PALLA.

CAPISCO.

IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE È UNA DI QUESTE.

I TRE PRINCIPI DELLA DINAMICA SONO LE REGOLE FONDAMENTALI DEL MOTO.

ACC....!

È DAVVERO COSÌ TARDI? DOBBIAMO ANDARE A CASA!

VA BENE.

CIAO CIAO.
GRAZIE MILLE.
ADESSO TROVO LA
FISICA MOLTO PIÙ
INTERESSANTE.

SPERO CHE MI FARAI PRESTO UN'ALTRA LEZIONE.

D'ACCORDO,
CI VEDIAMO.

ESCONO
INSIEME DAL
LABORATORIO
DI FISICA.
CURIOSO...

MA QUELLA
NON È MEGUMI...
CON NONOMURA,
IL SECCHIONE
DELLA FISICA?

GRANDEZZE SCALARI E GRANDEZZE VETTORIALI

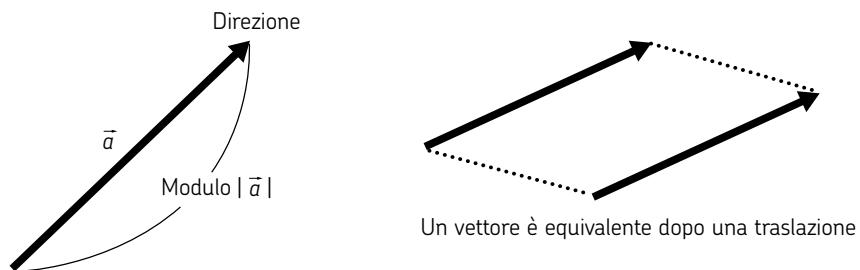


In fisica si misurano e si prevedono varie grandezze, tra cui la forza, la massa e la velocità. Queste grandezze si possono dividere tra quelle che hanno solo un valore (o modulo) e quelle che hanno un modulo e una direzione. Una grandezza che ha un valore senza una direzione si definisce grandezza *scalare*. La massa è una grandezza scalare, e così l'energia e il lavoro, di cui parleremo nel Capitolo 4.

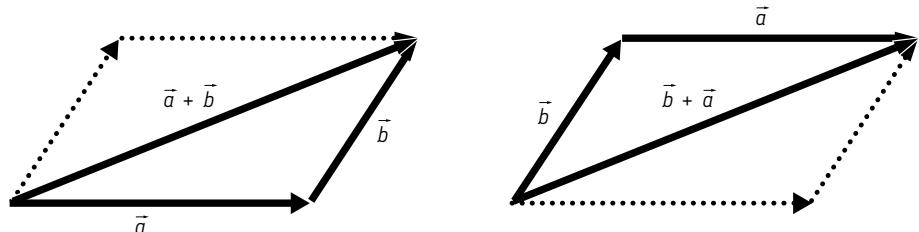
La forza, invece, è un valore con una direzione: lo capiamo dal fatto che il moto di un oggetto cambia se gli applichiamo una forza da una direzione diversa. Una grandezza che ha una direzione si dice *vettoriale*. Anche la velocità e l'accelerazione (che vedremo nel Capitolo 2) e la quantità di moto (Capitolo 3) sono grandezze vettoriali, dato che sono dotate di una direzione. Possiamo dimenticare i termini *scalare* e *vettoriale*, ma dobbiamo ricordare che in fisica ci sono due tipi di grandezze: quelle che hanno solo un valore e quelle che hanno un valore e una direzione.

FONDAMENTI SUI VETTORI

Un vettore si rappresenta con una freccia. La lunghezza della freccia rappresenta il modulo del vettore e la punta indica il verso della sua direzione. Due vettori con lo stesso modulo e la stessa direzione sono equivalenti, anche se non sono applicati nello stesso punto.



Osserviamo che il modulo di un vettore (rappresentato dalla lunghezza della freccia) si può indicare con il simbolo di valore assoluto, come $|\vec{a}|$, o semplicemente con a .



La somma di due vettori ($\vec{a} + \vec{b}$) si ottiene facendo coincidere il punto terminale di \vec{a} con quello iniziale di \vec{b} , e tracciando quindi una linea dall'inizio di \vec{a} alla fine di \vec{b} , come si vede nell'illustrazione a sinistra. Dato che questo vettore è una diagonale del parallelogramma

mostrato, è ovviamente equivalente anche a $\vec{b} + \vec{a}$. Sappiamo quindi che è vero il seguente fatto:

$$\text{PROPRIETÀ COMMUTATIVA: } \vec{a} + \vec{b} = \vec{b} + \vec{a}$$

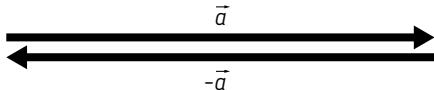
L'ordine in cui sommiamo i vettori non conta! Possiamo trovare nello stesso modo la somma di tre o più vettori.

VETTORI NEGATIVI

Il vettore $-\vec{a}$, cioè \vec{a} preceduto dal segno meno, è quello che, sommato ad \vec{a} , dà come risultato zero. Scritta come formula, questa relazione è:

$$\vec{a} + (-\vec{a}) = 0$$

In termini geometrici, $-\vec{a}$ è semplicemente un vettore con lo stesso modulo di \vec{a} , ma direzione esattamente opposta. Lo 0 al secondo membro di questa uguaglianza è uno zero vettoriale, detto *vettore nullo*. Quando i vettori si cancellano a vicenda in questo modo, si dice che l'oggetto è in equilibrio.

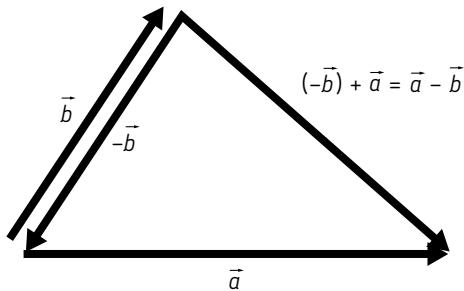


DIFFERENZA FRA DUE VETTORI

La differenza fra due vettori ($\vec{a} - \vec{b}$) si può definire così:

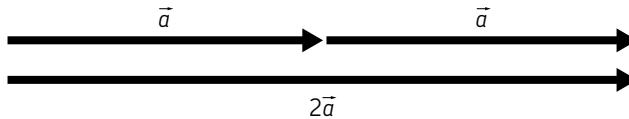
$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

Possiamo quindi trovare il risultato di questa operazione con lo stesso metodo che abbiamo usato per sommare i vettori.



MOLTIPLICARE VETTORI PER SCALARI

Raddoppiare il vettore \vec{a} significa raddoppiarne il modulo senza modificarne la direzione. Il risultato si indica con $2\vec{a}$.



In generale, k moltiplicato per \vec{a} ($k\vec{a}$) rappresenta un vettore il cui modulo è k volte quello di \vec{a} , ma con la stessa direzione.

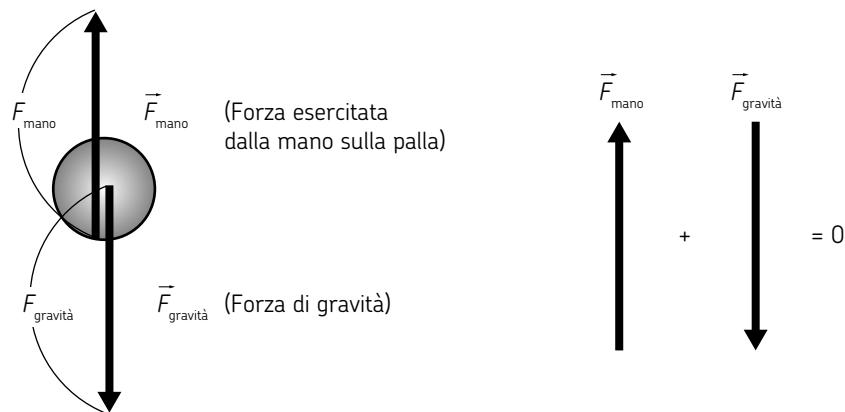
EQUILIBRIO E FORZE VETTORIALI



Ricordate le forze complessive che agiscono sulla palla da tennis (pagina 22)?

$$\text{forza totale sulla palla} = \text{forza di gravità} + \text{forza della mano} = 0$$

Pensate che il segno più sia un errore e che in realtà ci dovrebbe essere un segno meno? No, non è un errore! Ricordiamoci che le forze sono vettori: l'equazione è corretta così. Considerata come vettore, la forza totale che agisce su un oggetto dev'essere uguale alla



somma di tutte le forze.

Facciamo il bilancio delle forze in gioco. Chiamiamo la forza esercitata dalla mano sulla palla \vec{F}_{mano} e quella esercitata dalla gravità sulla palla $\vec{F}_{\text{gravità}}$. La forza risultante ($\vec{F}_{\text{risultante}}$) che agisce sulla palla si esprime come segue:

$$\vec{F}_{\text{risultante}} = \vec{F}_{\text{mano}} + \vec{F}_{\text{gravità}}$$

Se le forze sulla palla sono in equilibrio, vuol dire che la forza risultante è nulla:

$$\vec{F}_{\text{risultante}} = 0 \text{ o, in altre parole, } \vec{F}_{\text{mano}} + \vec{F}_{\text{gravità}} = 0$$

Sì, proprio così. Ricapitolando, \vec{F}_{mano} e $\vec{F}_{\text{gravità}}$ sono vettori con lo stesso modulo e direzioni opposte, cosicché la loro somma è zero:

$$\text{forza esercitata dalla mano sulla palla} + \text{forza di gravità sulla palla} = \text{zero}$$

Consideriamo adesso solo i moduli delle forze, e non la loro direzione come vettori. Come spiegato a pagina 37, il modulo di una forza si indica con $|\vec{F}_{\text{mano}}|$ o $|\vec{F}_{\text{gravità}}|$, usando il simbolo di valore assoluto. Sviluppando ulteriormente questa notazione, otteniamo uguaglianze come $|\vec{F}_{\text{mano}}| = F_{\text{mano}}$ e $|\vec{F}_{\text{gravità}}| = F_{\text{gravità}}$. Adesso sappiamo che le due forze hanno modulo uguale, il che si può esprimere come segue:

$$F_{\text{mano}} = F_{\text{gravità}} \quad \text{cioè} \quad F_{\text{mano}} - F_{\text{gravità}} = 0$$

Notiamo che qui le forze sono rappresentate senza frecce, il che significa che sono moduli. Quando scriviamo le uguaglianze relative a forze in equilibrio dobbiamo distinguere chiaramente i casi in cui le forze sono considerate come vettori da quelli in cui sono considerate come semplici moduli senza direzione (scalari).

I TRE PRINCIPI DELLA DINAMICA



Il fisico inglese Isaac Newton nacque nel 1643. Basandosi sulle sue osservazioni sul moto, formulò i seguenti principi.

Il primo principio (o di inerzia): Un corpo in quiete tende a rimanere in quiete a meno che non agisca su di esso una forza esterna. Un corpo in moto tende a rimanere in moto a velocità costante a meno che non agisca su di esso una forza esterna.

Il secondo principio (o legge fondamentale della dinamica): La forza complessiva agente su un corpo è uguale alla sua massa moltiplicata per la sua accelerazione.

Il terzo principio (o di azione e reazione): A ogni azione corrisponde una reazione uguale e opposta.

Vediamoli a proposito della palla tenuta in mano, come in questo capitolo. (Ci torneremo su nel Capitolo 2.)

Il primo principio ci dice che le forze che agiscono su un corpo immobile sono nel complesso nulle. Dato che la palla è in uno stato di equilibrio, è immobile e rimane così: è un esempio del primo principio della dinamica. Dato che la palla non si muove, vuol dire che la risultante delle forze esercitate dalla mia mano e dalla gravità è nulla.

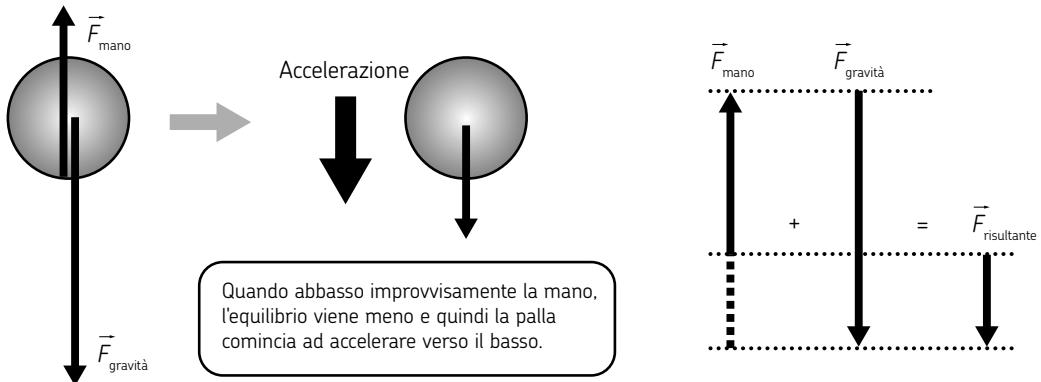
Come abbiamo visto, il principio di azione e reazione è il terzo principio della dinamica. Questa legge ci dice che la forza che la mano esercita sulla palla e quella che la palla esercita sulla mano sono uguali in modulo e opposte come direzione. Il principio di azione e reazione è sempre presente; è all'opera anche quando manteniamo in movimento una palla muovendo la mano.

Il secondo principio ci dice che un oggetto su cui agisce una forza comincia a muoversi accelerando. Se abbassiamo improvvisamente la mano mentre reggiamo una palla, la forza della mano sulla palla (F_{mano}) diminuisce improvvisamente di intensità, mentre la forza di

gravità sulla palla ($F_{\text{gravità}}$) rimane uguale. Quindi viene meno l'equilibrio tra le forze e la somma di $F_{\text{gravità}}$ e F_{mano} sulla palla ha un valore diverso da zero fintanto che la palla si muove. Scrivendo i moduli:

$$F_{\text{risultante}} = F_{\text{gravità}} - F_{\text{mano}} > 0$$

Questa relazione dà il modulo della forza che agisce verso il basso. Nel nostro caso, dato il secondo principio della dinamica (un oggetto su cui agisce una forza accelera in misura proporzionale a questa forza), la palla comincia a muoversi accelerando. È così che la meccanica spiega il moto di una palla quando la mano che la tratteneva si abbassa improvvisamente. La stessa idea si applica al caso in cui la palla viene alzata all'improvviso.



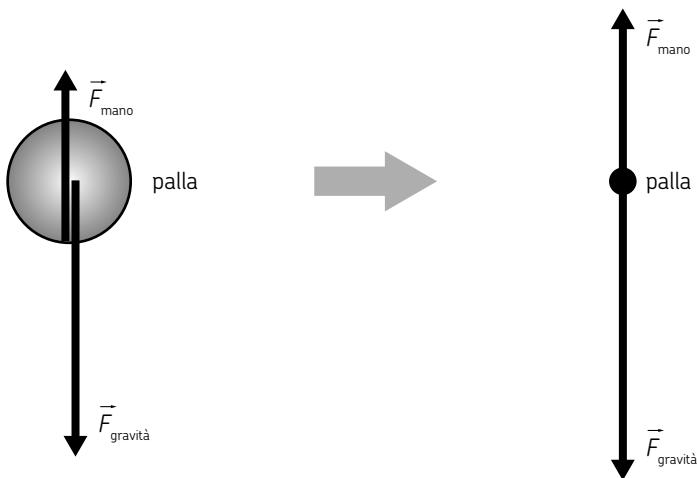
C'è una cosa da tenere a mente. Quando una palla si muove a velocità costante, vediamo che la forza risultante sulla palla rimane nulla, perché le forze sono bilanciate; la palla non accelera. È quello che dice il primo principio della dinamica. Quando la velocità della palla varia, in modulo o in direzione, vuol dire che sull'oggetto agisce una forza complessiva non nulla. Quando si sposta a velocità costante, invece, l'accelerazione è zero, così come la forza complessiva che ci agisce: in altre parole, le forze applicate si controbilanciano, anche se la palla si muove.

Perché un oggetto in quiete cominci a muoversi, bisogna applicargli una forza. Per iniziare un movimento l'oggetto deve passare da uno stato di velocità nulla a uno con una velocità maggiore di zero. Quando succede, l'oggetto ha accelerato.

TRACCIAMO UN DIAGRAMMA DI CORPO LIBERO

Nella figura che, nella sezione precedente, mostra i vettori delle forze che agiscono sulla palla, \vec{F}_{mano} e $\vec{F}_{\text{gravità}}$ hanno punti di applicazione diversi. I fisici chiamano disegni di questo tipo *diagrammi di corpo libero*. Il vettore che rappresenta la forza della mano sulla palla partirà dal punto in cui la mano e la palla sono in contatto, questo è chiaro. Ma, secondo voi, perché il punto di partenza della forza di gravità è messo al centro della palla?

Nella fisica elementare gli oggetti sono trattati come masse puntiformi senza volume; non importa dove cominciano i vettori. Disegniamo questo punto dotato di massa come se fosse un oggetto con un certo volume solo perché così è più facile rappresentarlo.



Consideriamo un oggetto esteso, e il modo in cui rappresentiamo le forze che vi agiscono. Nel caso della palla sulla mano, la forza di gravità è applicata al centro della massa della palla (detto anche centro di gravità). Nel diagramma qui sopra vediamo che è qui che agisce il vettore forza. Invece la forza verso l'alto della mano agisce sull'esterno della palla, dove c'è il punto di contatto: nel diagramma tracciamo a partire da lì il vettore forza.

Ma per semplificare i calcoli, tratteremo questo oggetto come una massa senza volume, cioè come un singolo punto dotato di massa. Semplificheremo nello stesso modo ogni oggetto esteso in tutti gli esempi di questo libro, anche se i diagrammi saranno più complessi, perché i calcoli relativi agli oggetti dotati di volume possono diventare molto complicati. Sulla destra vediamo un diagramma di corpo libero così semplificato.

ESPRIMIAMO IL TERZO PRINCIPIO CON UN'EQUAZIONE

Per formulare correttamente il principio di azione e reazione serve una frase abbastanza lunga: "Quando un oggetto urta un altro oggetto, entrambi subiscono una forza con lo stesso modulo ma in direzioni opposte". Cerchiamo di esprimere invece il terzo principio con una semplice uguaglianza. Quando l'oggetto A esercita una forza $\vec{F}_{A \rightarrow B}$ sull'oggetto B e l'oggetto B esercita una forza $\vec{F}_{B \rightarrow A}$ sull'oggetto A, il principio di azione e reazione si può esprimere così:

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

Possiamo quindi esprimere il principio con una singola uguaglianza. A questo punto, confrontando i valori assoluti dei due membri dell'uguaglianza, otteniamo:

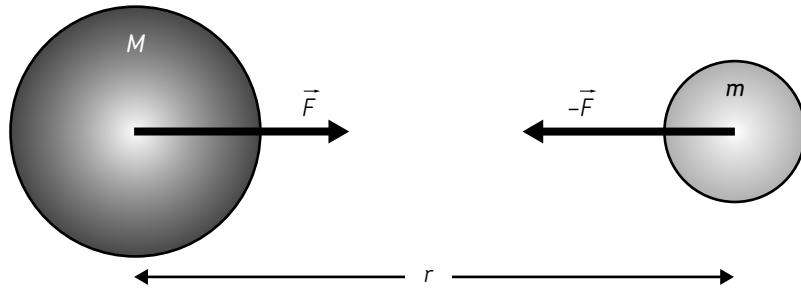
$$|\vec{F}_{A \rightarrow B}| = |-\vec{F}_{B \rightarrow A}|$$

Vediamo quindi che l'azione e la reazione hanno lo stesso modulo, e il segno meno dice che le direzioni sono opposte. Usando le formule possiamo esprimere i principi della dinamica in modo più semplice e preciso che a parole.

LA GRAVITÀ E LA GRAVITAZIONE UNIVERSALE



Potremmo dire in modo restrittivo che la gravità è la forza con cui la Terra attrae verso di sé gli oggetti. Ma la forza della Terra deriva dalla gravitazione universale fra tutti gli oggetti dotati di massa, non solo la Terra. Fra due oggetti c'è sempre una forza attrattiva proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale alla distanza tra di loro elevata al quadrato. Questa forza attrattiva è la *gravitazione universale*, e fu scoperta da Newton. È detta "universale" perché agisce su tutti gli oggetti che hanno una massa, indipendentemente dal tipo di oggetto. Il suo valore dipende solo dalla massa degli oggetti coinvolti e dalla distanza che li separa.



Come mostra la figura, quando due oggetti di massa rispettivamente M e m sono separati da una distanza r , vengono attratti da una forza F , che è data dalla formula:

$$F = G \frac{mM}{r^2}$$

G è una costante universale detta *costante di gravitazione universale*:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} (\text{N} \times \text{m}^2/\text{kg}^2)$$

A pagina 92 vedremo la spiegazione del newton (N), l'unità di misura della forza.

La gravitazione universale soddisfa il principio di azione e reazione, dato che esercita una forza sia sulla massa M che su quella m . La relazione che abbiamo visto permette di calcolarle entrambe; visto che le direzioni sono ovviamente opposte, soddisfano il principio. Possiamo quindi sottolineare che anche le forze che agiscono fra oggetti distanti fra loro (e quindi non solo su oggetti a contatto) soddisfano il principio di azione e reazione.

La forza di gravitazione universale è molto piccola a confronto di quella elettromagnetica. Mentre le forze elettromagnetiche possono essere attrattive o repulsive a seconda della presenza di cariche positive e negative, quella di gravità è sempre attrattiva, cioè gli oggetti sono sempre spinti l'uno verso l'altro.

È a causa della gravitazione universale che nello spazio la polvere cosmica si unisce col passare del tempo a formare masse gigantesche, come la Terra e gli altri pianeti.



FORZA E MOTO



VELOCITÀ E ACCELERAZIONE

MOTO RETTILINEO UNIFORME



PRIMA DI CAPIRE I PRINCIPI DELLA DINAMICA, DOBBIAMO SAPERE CHE COSA SONO LA VELOCITÀ E L'ACCELERAZIONE. PARLIAMO DELLA PRIMA: PER PENSARE ALLA VELOCITÀ NEL MODO PIÙ SEMPLICE,



PENSIAMO AL MOVIMENTO DI UN OGGETTO CHE SI MUOVE IN LINEA RETTA A VELOCITÀ COSTANTE.

UHMM...

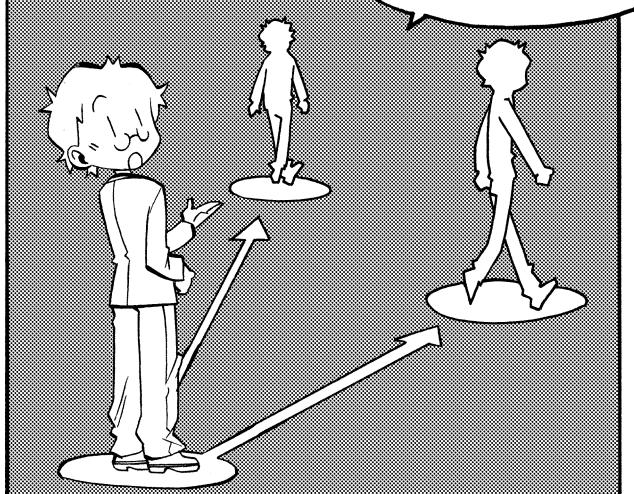
VEDIAMO... È IL COSIDDETTO MOTO RETTILINEO UNIFORME?

ESATTO! IN UN MOTO COSÌ, PUOI OTTENERE LA VELOCITÀ IN QUESTO MODO:

$$\text{VELOCITÀ} = \frac{\text{DISTANZA}}{\text{TEMPO}}$$

AH! È FACILE.

PERÒ, ANCHE CON LA STESSA VELOCITÀ POSSO RAGGIUNGERE DESTINAZIONI DIVERSE SE MI MUOVO IN DIREZIONI DIVERSE.



QUINDI PER TENERE CONTO ANCHE DELLA DIREZIONE, NELLA NOSTRA FORMULA SOSTITUIAMO LA VELOCITÀ (SCALARE) CON LA VELOCITÀ VETTORIALE E LA DISTANZA CON LO SPOSTAMENTO.



$$\text{VELOCITÀ VETTORIALE} = \frac{\text{SPOSTAMENTO}}{\text{TEMPO}}$$

CHIARO... ASPETTA!



FERMA TUTTO!

HO UNA DOMANDA!

LE DUE VELOCITÀ SONO VERAMENTE DIVERSE??



EH, EH!
TI HA PROPRIO PRESO, VEDO.

ALLORA: TI SPIEGO LA DIFFERENZA TRA VELOCITÀ SCALARE E VELOCITÀ VETTORIALE.

USIAMO QUESTO.

KHO KHO KHO

KHO KH

NONOMURA-KUN... TU PORTI PROPRIO QUALSIASI COSA A SCUOLA.

QUESTA AUTOMOBILE È, EHM...

DIDATTICA! SERVE SOLO PER IMPARARE, ECCO.

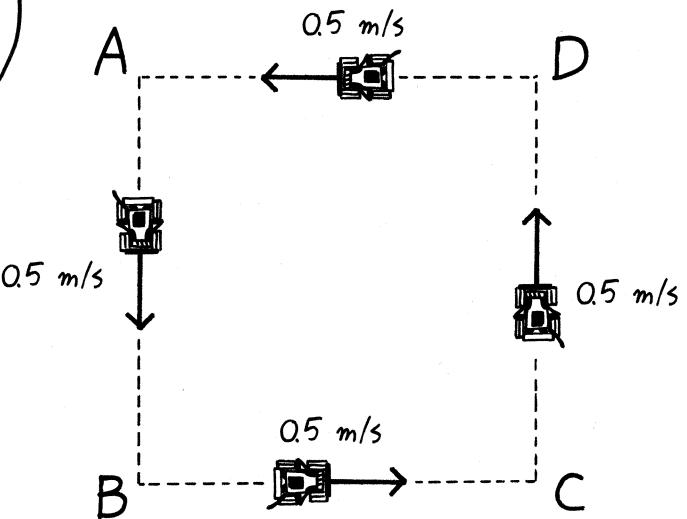
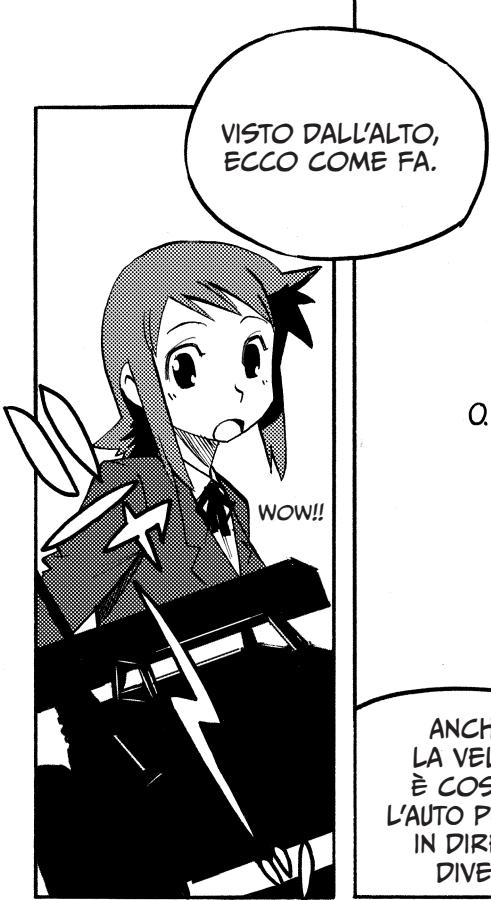
EHM

ALLORA... QUESTO VEICOLO RADIOCOMANDATO SI PUÒ PROGRAMMARE IN DIVERSI MODI.

SUL SERIO? MOLTO HI-TECH.

ORA È IMPOSTATO PER ANDARE A UNA VELOCITÀ DI 50 CM AL SECONDO (CIOÈ 0,5 M/S) E PERCORRERE UN QUADRATO.

FACCIAMOLO PARTIRE.



ANCHE SE
LA VELOCITÀ
È COSTANTE,
L'AUTO PROCEDE
IN DIREZIONI
DIVERSE.

UNITÀ DI MISURA DELLA VELOCITÀ:
M/S (METRI AL SECONDO)
U.D.M. DELLA DISTANZA: M (METRI)
U.D.M. DEL TEMPO: S (SECONDI)

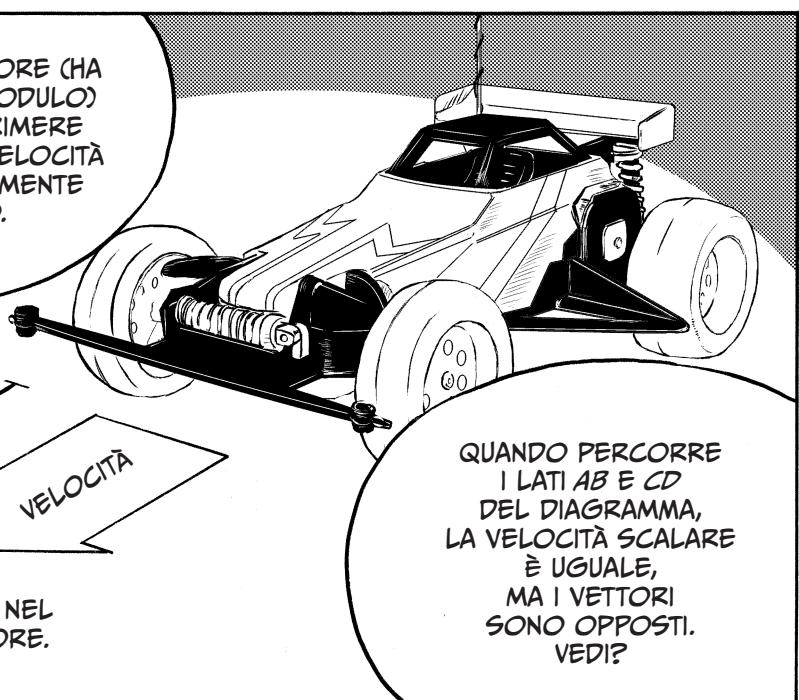
LA VELOCITÀ È UN VETTORE (HA
UNA DIREZIONE E UN MODULO)
E QUINDI SI PUÒ ESPRIMERE
CON UNA FRECCIA. LA VELOCITÀ
SCALARE È SEMPLICEMENTE
IL SUO MODULO.

LA LUNGHEZZA DELLA
FRECCIA È IL MODULO
DELLA VELOCITÀ
DELL'OGGETTO.

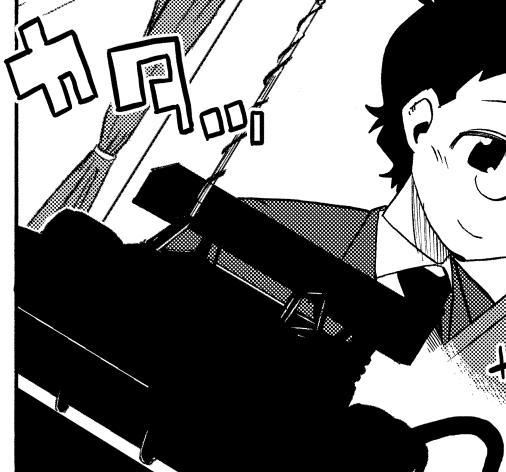


LA FRECCIA PUNTA NEL
VERSO DEL VETTORE.

QUANDO PERCORRE
I LATI AB E CD
DEL DIAGRAMMA,
LA VELOCITÀ SCALARE
È UGUALE,
MA I VETTORI
SONO OPPosti.
VEDI?



ACCELERAZIONE



MODIFICHIAMO
I SETTAGGI IN MODO
DA AUMENTARE
COSTANTEMENTE
LA VELOCITÀ
DA 0 A 0,5 M/S.

UN AUMENTO DELLA
VELOCITÀ SI CHIAMA
ACCELERAZIONE; LA SI PUÒ
CALCOLARE CON QUESTA
FORMULA:

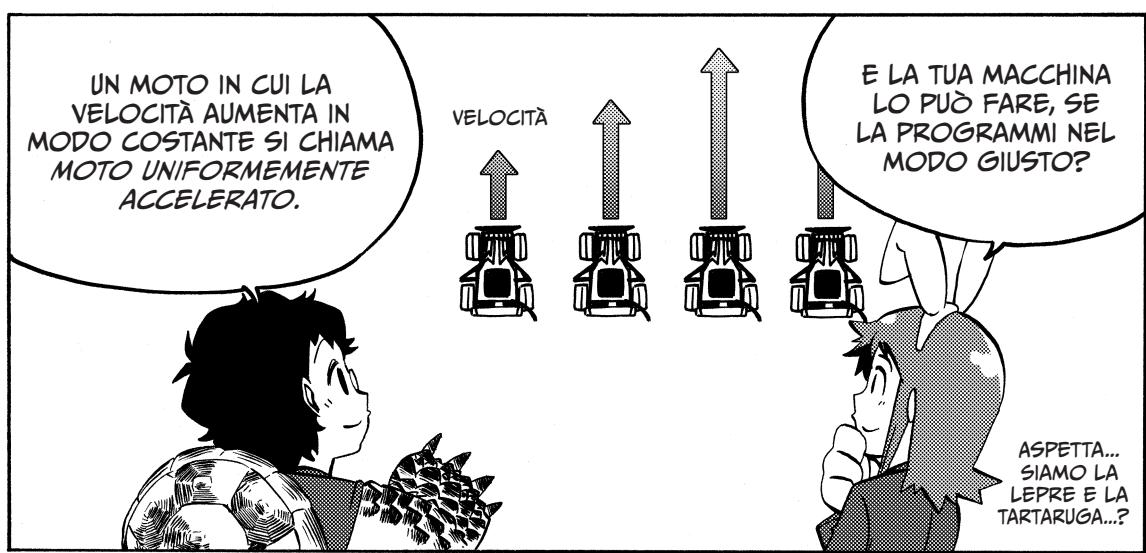
$$\text{ACCELERAZIONE} = \frac{\text{VARIAZIONE DI VELOCITÀ}}{\text{TEMPO}}$$

A-AH!

L'UNITÀ DI MISURA
DELL'ACCELERAZIONE È
IL METRO AL SECONDO AL
QUADRATO, CHE SI SCRIVE
 m/s^2 . RAPPRESENTA
QUANTO AUMENTA LA
VELOCITÀ (M/S) OGNI
SECONDO.

QUINDI DIVIDIAMO
LA VARIAZIONE
DELLA VELOCITÀ
PER IL TEMPO.

INFATTI, SE LA
VELOCITÀ RIMANE
UGUALE, NON
VARIA E QUINDI
L'ACCELERAZIONE
È ZERO.



CERTO! LA MIA AUTO FA QUESTO E ALTRO. ADESSO CALCOLIAMONE L'ACCELERAZIONE USANDO LA REGOLA.



VEDIAMO UN PO'...
LA MACCHINA
RADIOCOMANDATA
AUMENTA
LA VELOCITÀ
DA 0 A 0,5 M/S
IN 4 SECONDI

REGOLA:

ACCELERAZIONE =

VARIAZIONE DI
VELOCITÀ

TEMPO

INSEGNEREMO
QUESTI VALORI
NELLA REGOLA.

QUINDI
UNA VARIAZIONE
DI 0,5 M/S IN 4 S
CORRISPONDE
A 0,125 M/S!
GIUSTO?



PERFETTO!

DOVRESTI
AVERE PIÙ FIDUCIA
IN TE STessa.

QUESTO VALORE DICE
CHE LA VELOCITÀ
AUMENTA DI 0,125 M/S
PER OGNI SECONDO.

CHIARO.

APPLICANDO LA REGOLA
POSSIAMO CALCOLARE
LO SPOSTAMENTO DI
OGGETTI CHE HANNO
UNA VELOCITÀ VARIABILE.

LABORATORIO

TROVA LA DISTANZA PERCORSÀ QUANDO LA VELOCITÀ VARIA



Programmiamo la macchina in modo che aumenti la velocità costantemente fino a 0,5 m/s. Eccoti un quesito. Immaginando che raggiunga la velocità di 0,5 m/s in 4 secondi, che distanza ha percorso l'automobile?



Mmm... Parte a 0 m/s e il massimo è 0,5 m/s. Faccio il calcolo considerando la velocità media, 0,25 m/s e poi $0,25 \text{ m/s} \times 4 \text{ s} = 1 \text{ m}$!



Giusto! Sei in gamba. Ma sai spiegare perché il risultato si ottiene così?



Uhm... Ricorda che sei *tu* a insegnarmi le cose, Nonomura-kun!



Ah, ah, d'accordo. Prima di darti una risposta diretta, ti spiego come trovare la distanza percorsa quando la velocità varia. Quando è costante, sappiamo che la distanza si trova calcolando (velocità × tempo). Quindi, se d m (metri) rappresenta la distanza percorsa in t s (secondi) e la velocità costante è v m/s, allora $\text{distanza} = \text{velocità} \times \text{tempo}$ si può esprimere con questa formula:

$$d = vt$$

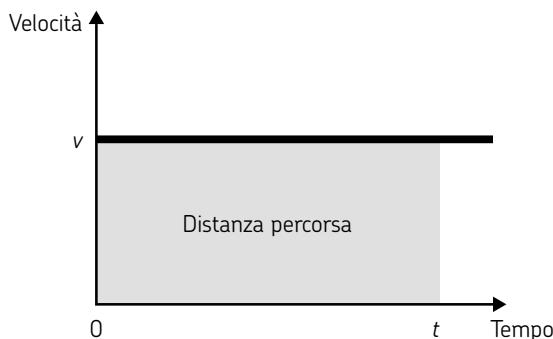


Benissimo!





Se riportiamo questa relazione con la velocità sull'asse verticale e il tempo su quello orizzontale, otteniamo il seguente grafico.



L'area in grigio rappresenta la distanza percorsa. Questo diagramma si può chiamare *grafico v-t*, visto che mette in relazione la velocità e il tempo. La distanza è data dall'area di un rettangolo con base pari a t e altezza a v .



Capisco, ma è un po' strano che un'area rappresenti una distanza.



Questa non è una tipica area geometrica: è più un grafico, come quelli che hai visto in matematica. In geometria, l'area di un rettangolo si misura in metri quadrati (m^2), mentre nel nostro esempio le unità di misura sono il tempo (secondi) per l'asse orizzontale e la velocità (m/s) per quello verticale. Quindi il prodotto dà $s \times m/s = m$, che è proprio l'unità di misura della distanza.



È facile trovare la distanza quando un oggetto si muove a velocità costante. Ma quando la velocità è variabile?



Abbiamo a disposizione solo questa uguaglianza:

$$\text{distanza} = \text{velocità} \times \text{tempo}$$



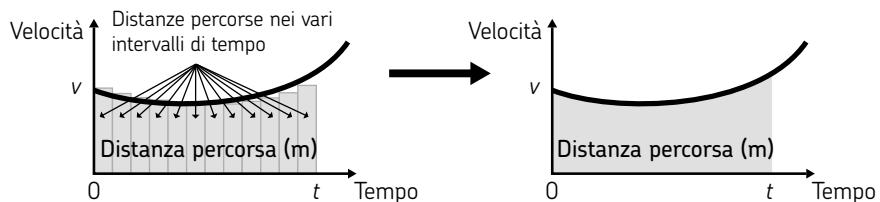
Quindi possiamo dividere il tempo in intervalli, per creare tanti rettangolini e calcolare la distanza corrispondente a ognuno, assumendo che all'interno di ogni intervallo di tempo la velocità sia costante.



Che vuol dire?



Guarda il grafico qui sotto a sinistra.



Così possiamo trovare l'area di ogni rettangolino stretto ottenuto dividendo il tempo in tanti brevi intervalli, e poi sommare le aree per trovare la distanza percorsa.



Però i rettangolini non combaciano esattamente con il grafico. Non commetteremo qualche errore?



Capisco il tuo dubbio. Possiamo allora suddividere i rettangoli lungo intervalli ancora più piccoli. Ripetendo la divisione più volte, finché tutto coincide come nel grafico a destra, otteniamo una distanza sempre più precisa.



Sì, in effetti... se facciamo così...



Se li dividessimo in rettangoli infinitamente stretti, troveremmo esattamente di quanto si è spostato l'oggetto. Il risultato a cui arriviamo dividendo la distanza = velocità \times tempo in intervalli di tempo minuscoli è l'area che si trova sotto il grafico v-t. Quindi per trovare la distanza percorsa calcoliamo l'area corrispondente. Ricapitolando:

$$\text{distanza percorsa} = \text{area sotto il grafico v-t}$$

Tutto qui.*

* Chi ha studiato calcolo infinitesimale noterà che questo modo di trovare un'area sotto un grafico corrisponde all'integrazione.



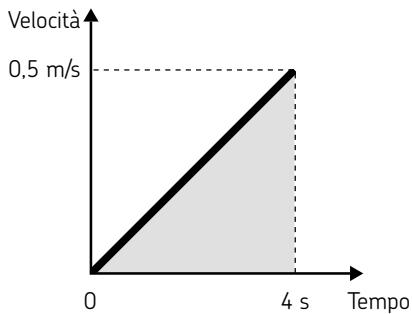
Adesso, tenendo presente quello che abbiamo visto finora, capiamo perché la distanza che hai trovato intuitivamente è giusta.



Bene!



Il calcolo che hai fatto corrisponde a calcolare un'area in un grafico velocità–tempo. L'esempio dell'automobile radiocomandata si può rappresentare così.



L'area sotto il grafico, calcolata con la regola per l'area del triangolo, è la seguente:

$$\frac{1}{2} \times \text{base} (\text{tempo}) \times \text{altezza} (\text{velocità massima}) = \frac{1}{2} \times 4 \text{ s} \times 0,5 \text{ m/s} = 1 \text{ m}$$

E questa è la distanza percorsa.



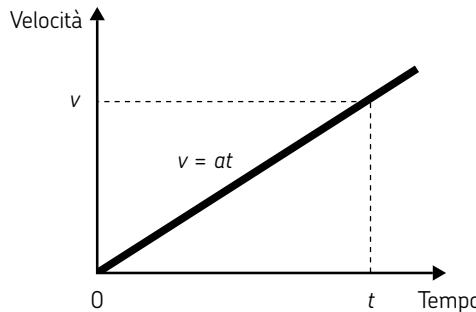
Quindi troviamo proprio un metro.



Cerchiamo un modo generale per esprimere la distanza percorsa, anziché usare valori numerici specifici. Chiamando la velocità v e l'accelerazione a , la relazione fra la velocità e il tempo nel moto uniformemente accelerato è $v = at$.

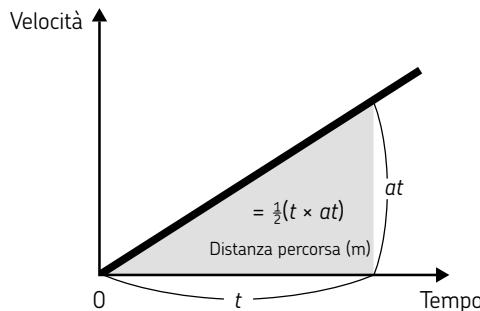


Lo si può tracciare in un grafico v-t così.



Chiamiamo d la distanza percorsa nel tempo t ; il suo valore sarà uguale all'area di un triangolo con base t e altezza at (cioè la velocità finale dell'oggetto).

$$d = \frac{1}{2}at^2$$



Chiaro?

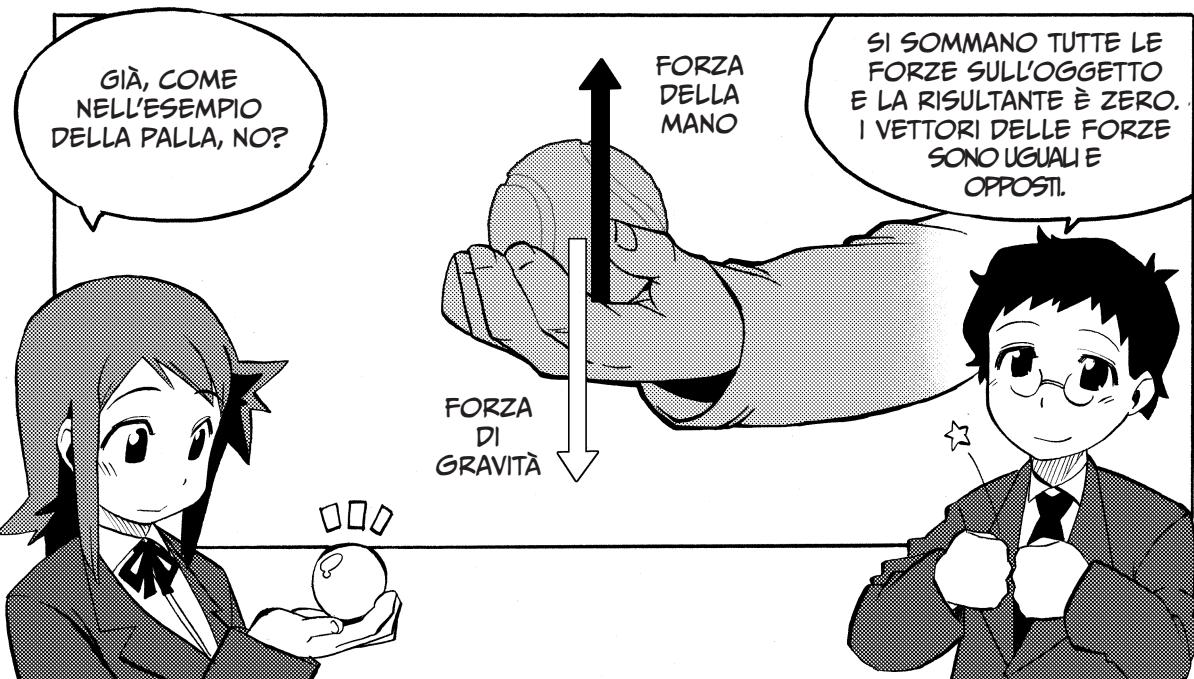
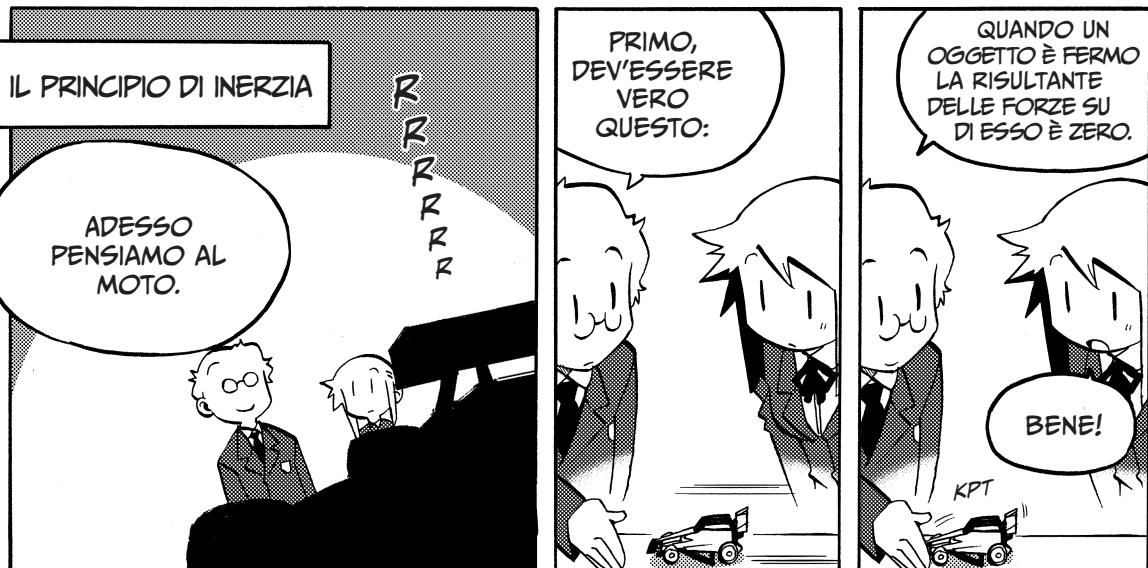


Hmmmm . . . ah, ho capito! Ritroviamo il risultato calcolando $\frac{1}{2} \times 0,125 \text{ m/s}^2 \times (4 \text{ s})^2 = 1 \text{ m}$. Proprio come dev'essere!



Adesso, Ninomiya-san, puoi calcolare una distanza percorsa in un moto uniformemente accelerato non usando l'intuito, ma col metodo corretto.

IL PRIMO E IL SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA



CHE
DIAVOLO
È?

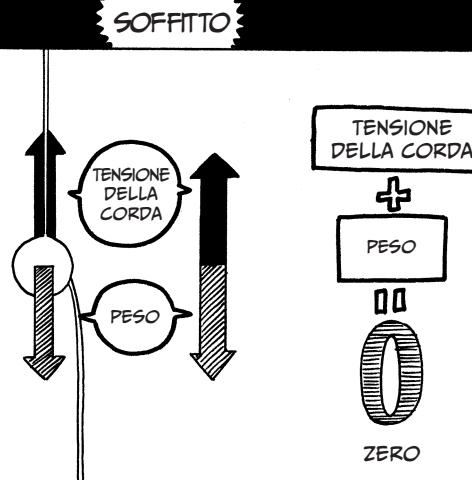
QUINDI SU UN OGGETTO IMMOBILE POSSONO AGIRE DELLE FORZE, PURCHÉ LA SOMMA DELLE FORZE SIA ZERO.

PER FARTI
CAPIRE
MEGLIO...

GUARDA CHE
COSA HO
PREPARATO!

NON FARE QUELLA
FACCIA. È SOLO
UNA PALLA CON
ATTACCAZ DUE
CORDICELLE.

SCUSA,
SONO
UN PO'
NERVOSA.



IN QUESTO
MOMENTO
LA PALLA È
IMMOBILE.

QUINDI È IN
AZIONE UNA FORZA CHE
CANCELLA LA FORZA DI
GRAVITÀ (IL PESO DELLA
PALLA), IN MODO DA
DARE UN RISULTATO DI
MODULO ZERO.

VUOI DIRE CHE LA
TENSIONE DELLA
CORDA È PROPRIO
UGUALE ALLA FORZA
DI GRAVITÀ?

COME FAI A
DIRLO SENZA
MISURARE
NIENTE?

È PROPRI
QUI IL PUNTO.

IN REALTÀ
UN OGGETTO A
RIPOSO, COME
QUESTA PALLA,
HA A CHE FARE CON
IL PRIMO PRINCIPIO
DELLA DINAMICA.

POTREMMO
VERIFICARE CON
UNO STRUMENTO
CHE LA TENSIONE
DELLA CORDA È
UGUALE AL PESO
DELLA PALLA.

MA IL PRIMO
PRINCIPIO DELLA
DINAMICA CI DICE
CHE LA RISULTANTE
DELLE FORZE SU UN
OGGETTO IMMOBILE
DEVE ESSERE
ZERO.

COME?!

CAPISCO.

E QUINDI... MI CHIEDO
SE LA RISULTANTE PUÒ
ESSERE ZERO ANCHE
SE L'OGGETTO VIENE
TIRATO CON L'ALTRA
CORDA.

PENSAVO DI
SPIEGARTELLO...

MA INVECE
FACCIAMO PRIMA
E TIRIAMO L'ALTRA
CORDA.

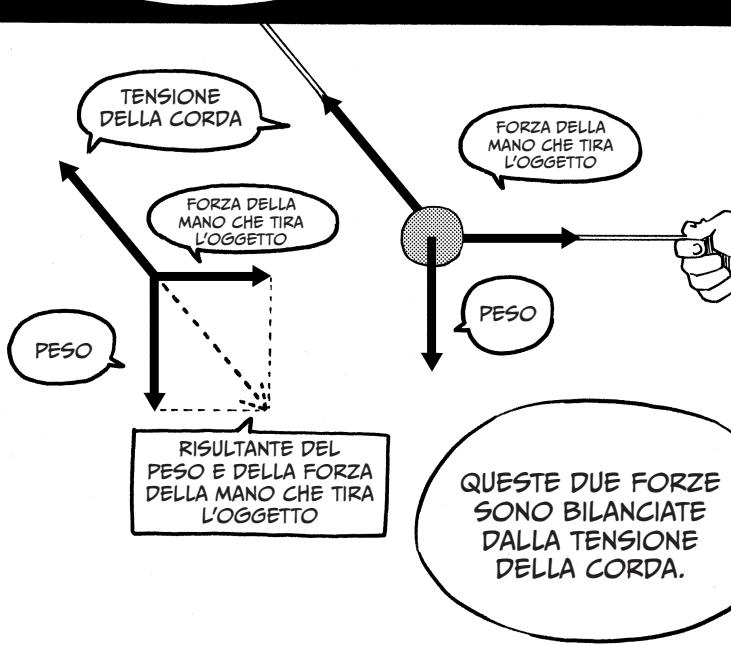
OPLÀ!



GUARDANDO LE TRE FORZE CHE AGISCONO SULLA PALLA, VEDIAMO CHE LA GRAVITÀ AGISCE VERTICAMENTE, MENTRE LA FORZA CHE VIENE DALLA MANO È ORIZZONTALE.

SOFFITTO

IN ALTRE PAROLE, IL PESO DELLA PALLA E LA FORZA DELLA MANO SI POSSONO UNIFICARE. OPPURE DIVIDIAMO IN DUE LA TENSIONE DELLA CORDA?

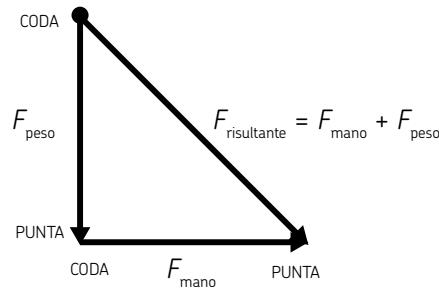
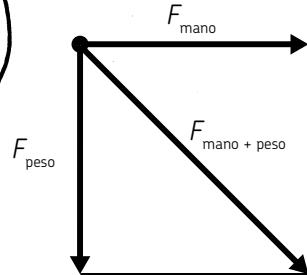


POSSIAMO FARE
ENTRAMBE LE COSE.

DAVVERO?

GUARDIAMO
QUESTA FIGURA.

UNIAMO I DUE VETTORI. PER SOMMARE DUE VETTORI, BASTA PORRE LA "CODA" DEL SECONDO VETTORE IN CORRISPONDENZA DELLA "PUNTA" DEL PRIMO. È IL METODO PUNTA-CODA.



DISEGNARE
UNA FIGURA
RENDE TUTTO
PIÙ FACILE.

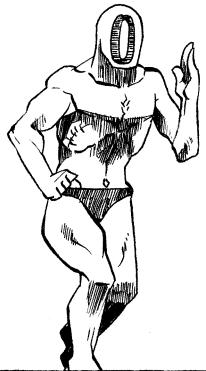
NEL NOSTRO ESEMPIO
DELL'OGGETTO SOSPESO,
LE FORZE MESSE INSIEME
DELLA MANO E DEL PESO
HANNO UN MODULO UGUALE
IN DIREZIONE ESATTAMENTE
OPPOSTA ALLA TENSIONE
DELLA CORDA. SAPPIAMO
CHE L'OGGETTO È IMMOBILE,
E QUINDI LA FORZA RISULTANTE
DEVE ESSERE ZERO.

A-AH! QUINDI
LA RISULTANTE AGISCE
NELLA DIREZIONE
IN CUI È INCLINATA
LA CORDA RISPETTO
AL SOFFITTO.

SÌ...
PROPRIO COSÌ.

SE, UNA VOLTA
DISPOSTE LE FORZE,
L'OGGETTO RIMANE
IMMOBILE,

LA SOMMA
DELLE FORZE
È NULLA.



GIÀ...

MA È POSSIBILE
CHE UN OGGETTO
SIA IN MOTO
ANCHE SE LE FORZE
SONO NULLE.



PENSIAMO PER
ESEMPIO ALLO
SPAZIO.

POW

POW

LO SPAZIO?

HAI MAI VISTO I
FILMATI ALL'INTERNO
DI UNO SPACE
SHUTTLE?

COME NO!
CI SONO SEMPRE
VARIE COSE
SOSPESSE
A MEZZ'ARIA.

NELLA COSIDDETTO
"ASSENZA DI GRAVITÀ",
UN OGGETTO CHE HA
COMINCIATO A MUOVERSI
CONTINUA AD ANDARE
DIRITTO A VELOCITÀ
RELATIVA COSTANTE.*



* IN ORBITA GLI OGGETTI SONO
COSTANTEMENTE IN CADUTA LIBERA,
IL CHE RENDE NULLO IL LORO PESO
APPARENTE.

NORMALMENTE LA RESISTENZA DELL'ARIA O LA COLLISIONE COL TERRENO FERMANO GLI OGGETTI (A MENO CHE NON SI CONTINUI AD APPLICARE UNA FORZA).

WHOOPEE!

MA NELLO SPAZIO È POSSIBILE TROVARSI IN ASSENZA DI FORZE, DATO CHE SI POSSONO IGNORARE LA GRAVITÀ E LA RESISTENZA DELL'ARIA.

È VERO! QUINDI VUOI DIRE CHE LÌ POTREMMO ANDARE AVANTI PER SEMPRE, ANCHE SENZA ESERCITARE ALCUNA FORZA?

ESATTO!

QUEL TIZIO STA BENE?

QUANDO LA FORZA RISULTANTE È NULLA SI HA UN MOTO A VELOCITÀ COSTANTE, CIOÈ UNIFORME.

MI SA CHE SE NE STA ANDANDO.

BE'...

TZZZ

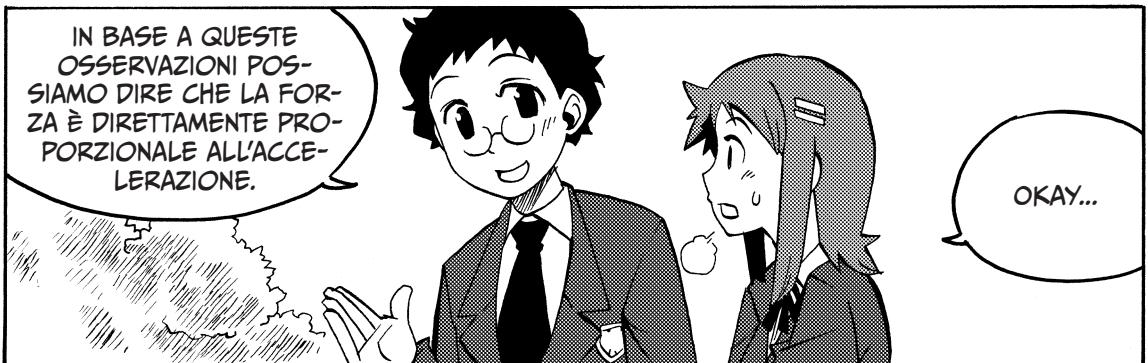
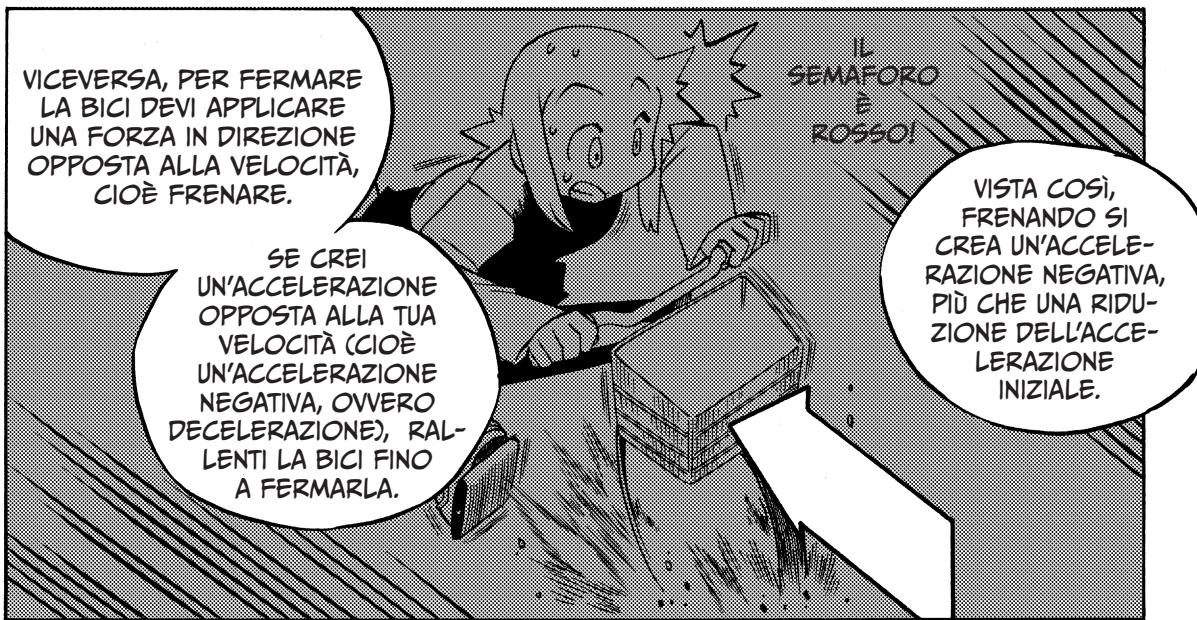


IL SECONDO PRINCIPIO
DELLA DINAMICA



IN ALTRE PAROLE,
LA SUA VELOCITÀ
DEVE CAMBIARE.





E ADESSO CONCENTRIAMOCI SULLA MASSA.

È ENORME! E PESANTE!

CON UN CARICO PESANTE NEL CESTINO DELLA BICI, DEVI ESERCITARE UNA FORZA ENORME QUANDO COMINCI A PEDALARE.

OH

OH

OH

CREEEAK

VEDI? IL CARICO RENDE PIÙ DIFFICILE ACCELERARE.

PUFF

PUFF

PUFF

WHEEEZ

POSSIAMO QUINDI IPOTEZZARE CHE LA MASSA SIA INVERSAMENTE PROPORZIONALE ALL'ACCELERAZIONE.

QUINDI, MAGGIORE È LA MASSA E MINORE È L'ACCELERAZIONE.

ASPETTA: CHE DIFFERENZA C'È TRA PESO E MASSA?

SEMPLIFICANDO, IL PESO È LA FORZA ESERCITATA SU UN OGGETTO DALLA GRAVITÀ.

QUINDI UN OGGETTO HA UN PESO DIVERSO SULLA TERRA E SULLA LUNA.

E LA MASSA?

NELLO SPAZIO,
UN OGGETTO
NON PESA
NIENTE.

PERÒ, PER
MUOVERLO,
SERVE LO
STESO UNA
FORZA.

CERTO!

LA MASSA È UNA
GRANDEZZA CHE DEFINISCE
L'INERZIA DI UN OGGETTO,
CIOÈ LA RESISTENZA
ALL'ACCELERAZIONE: È
UNA QUALITÀ INTRINSECA,
INDIPENDENTE DALLA
GRAVITÀ.

PESO E MASSA
SEMBRANO SIMILI,
MA SIGNIFICANO
COSE DIVERSE, NO?

RICAPITOLIAMO
QUELLO CHE
ABBIAVOM VISTO
FINORA!

UH, VA
BENE.

L'ACCELERAZIONE DI UN OGGETTO È
PROPORZIONALE ALLA FORZA CHE
GLI SI APPLICA E INVERSAMENTE
PROPORZIONALE ALLA SUA MASSA.

È IL SECONDO
PRINCIPIO DELLA
DINAMICA.

OOOH!
CAPISCO.

OH, SÌ.

PER CASO COMINCIA A
PIACERTI? A GIUDICARE
DALLA TUA POSA...

ADESSO
ESPRIMIAMOLO
CON UNA
FORMULA.

CHIAMIAMO a
L'ACCELERAZIONE
(IN M/S^2), F LA FORZA (IN
NEWTON, UN'UNITÀ PARI A
 $KG \times M/S^2$) E m LA MASSA
(IN KG). ALLORA,



OH NO, UNA
FORMULA!?

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

ECCO COSA
OTTEMIAMO.

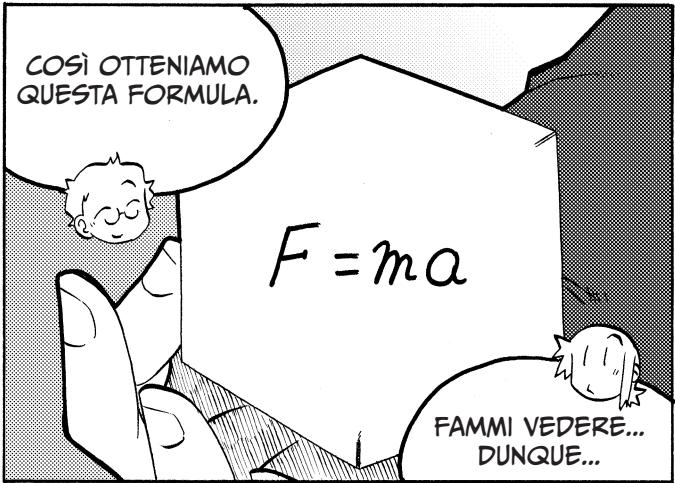
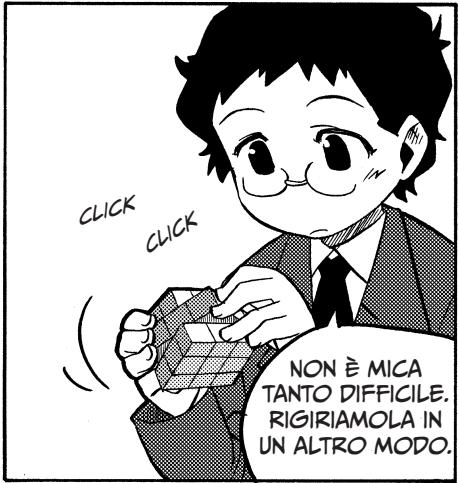
LA FORMULA DICE CHE QUANDO
LA FORZA F È RADDOPPIATA,
ANCHE L'ACCELERAZIONE
 a RADDOPPIA. E QUANDO
LA MASSA m RADDOPPIA,
L'ACCELERAZIONE a
SI DIMEZZA.

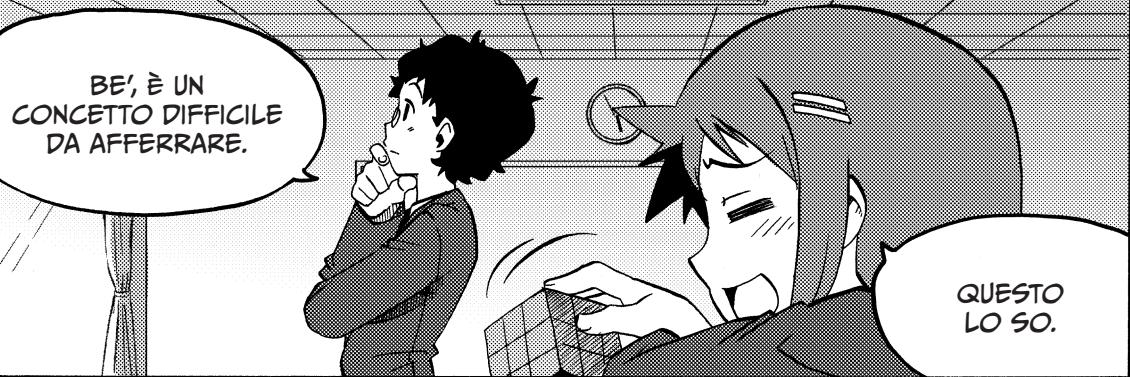
$$2a = \frac{2F}{1m}$$

$$1a = \frac{1F}{1m}$$

$$\frac{1}{2}a = \frac{1}{2}\frac{F}{m}$$

NON C'È NIENTE
COME UNA
FORMULA
PER ROVINARTI
LA GIORNATA.





LABORATORIO

TROVARE IL VALORE PRECISO DI UNA FORZA



L'altra volta ci siamo spinti mentre stavamo sui pattini. Supponiamo di avere un filmato dei nostri movimenti.



Non mi ero resa conto che ci stavi riprendendo!



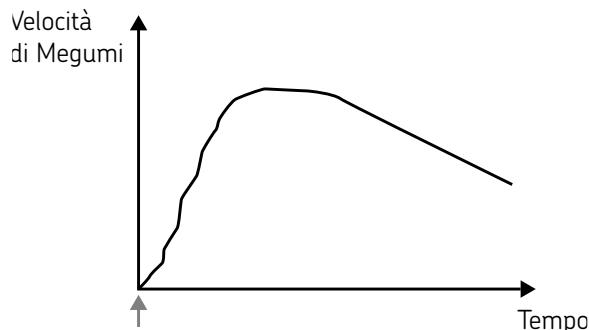
No, è solo uno scenario ipotetico.



Dai, mi avevi spaventato. Che c'entra con il secondo principio della dinamica?



Poniamo di analizzare il video e di creare un grafico v-t del movimento.



Momento in cui hanno cominciato a spingersi

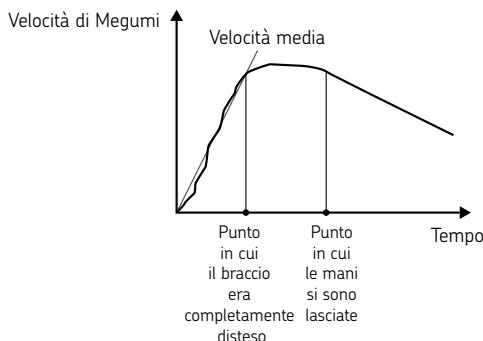


Si vede che la velocità aumenta rapidamente a partire da zero, che dev'essere il momento in cui ero ferma, dopo di che ridiscende gradualmente. Ma l'aumento iniziale di velocità è tremolante.





In un caso così, è una buona idea tracciare un segmento che rappresenta l'aumento medio di velocità. In altre parole, semplifichiamo la situazione immaginando che sia un caso di accelerazione uniforme.



Capisco.



Possiamo trovare l'accelerazione calcolando quanto cambia la velocità nel tempo: accelerazione = variazione di velocità/tempo. In questo caso, assumiamo che la tua accelerazione fosse di $0,6 \text{ m/s}^2$. Per trovare la forza che ho esercitato sulle tue mani, assumiamo anche che la tua massa sia di 40 kg.

$$F = ma = 40 \text{ kg} \times 0,6 \text{ m/s}^2 = 24 \text{ kg} \times \text{m/s}^2, \text{ cioè } 24 \text{ N}$$



Abbiamo trovato il valore preciso della forza! Quindi è importante! Possiamo misurare la forza esatta di un oggetto misurandone l'accelerazione e la massa.



Adesso, sapendo che ho una massa di 60 kg, puoi prevedere la mia accelerazione, data una forza uguale e opposta di 24 N?



Ah, vediamo. Stiamo mettendo insieme il secondo e il terzo principio. F_{Megumi} dev'essere uguale a F_{Ryota} . Dato che $F = ma$, sappiamo che $F / m = a$. Nel tuo caso significa $24 \text{ N} / 60 \text{ kg} = 0,4 \text{ m/s}^2$. Possiamo davvero usare queste leggi per prevedere i movimenti degli oggetti. Forte!

MOTO DI UNA PALLA LANCIATA

ADESSO VEDIAMO ALTRE APPLICAZIONI DELLA FORZA.

PRIMA PENSIAMO A UN OGGETTO CHE SI MUOVE IN UNA DIREZIONE SPECIFICA.

LA FORZA SULL'OGGETTO DOVREBBE ESSERE NELLA STESSA DIREZIONE DEL MOTO, NO?

SÌ, UNA PALLA SI MUOVE NELLA STESSA DIREZIONE DELLA FORZA INIZIALE CHE LE APPLICHIAMO.

IMMAGINA DI LANCIARE QUESTA PALLA IN ARIA. CONSIDERIAMOLA NEI PUNTI A, B E C. DISEGNA LA DIREZIONE DELLA FORZA ESERCITATA SULLA PALLA.

IGNORIAMO LA RESISTENZA DELL'ARIA.

DIREZIONE DELLA FORZA DI LANCIO

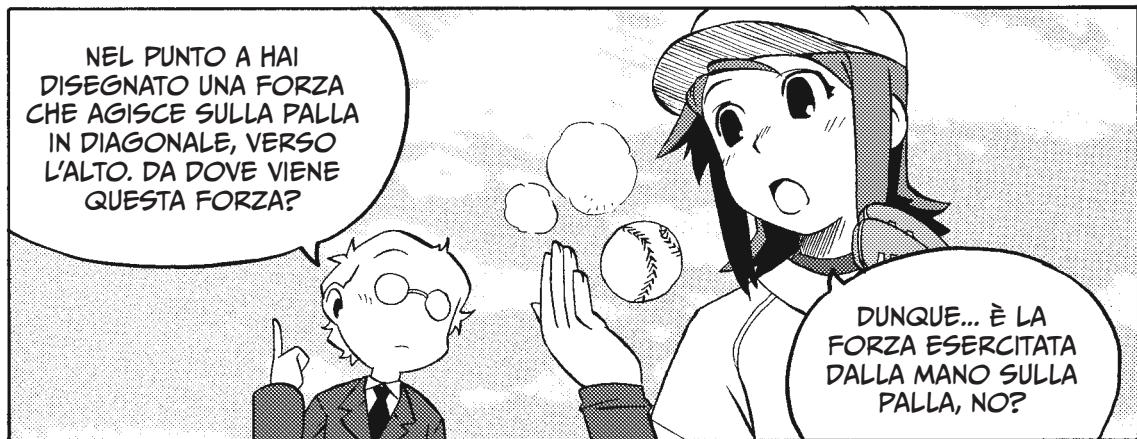
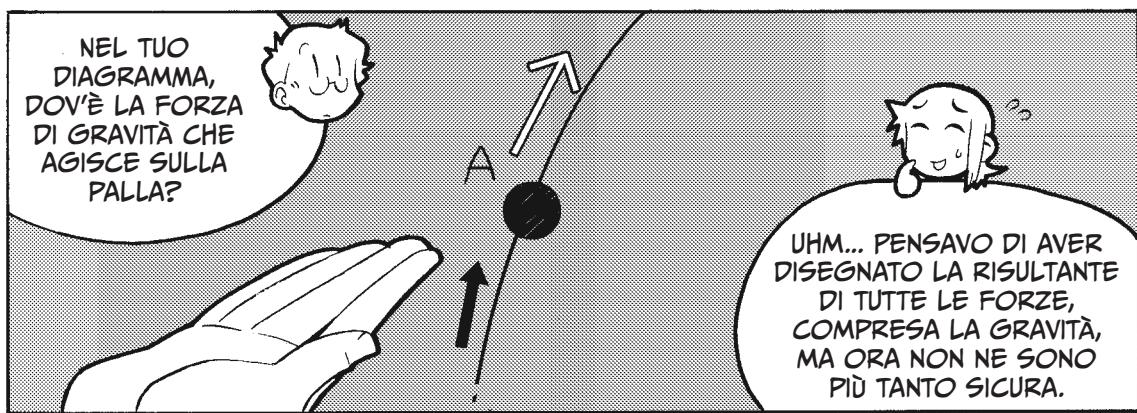
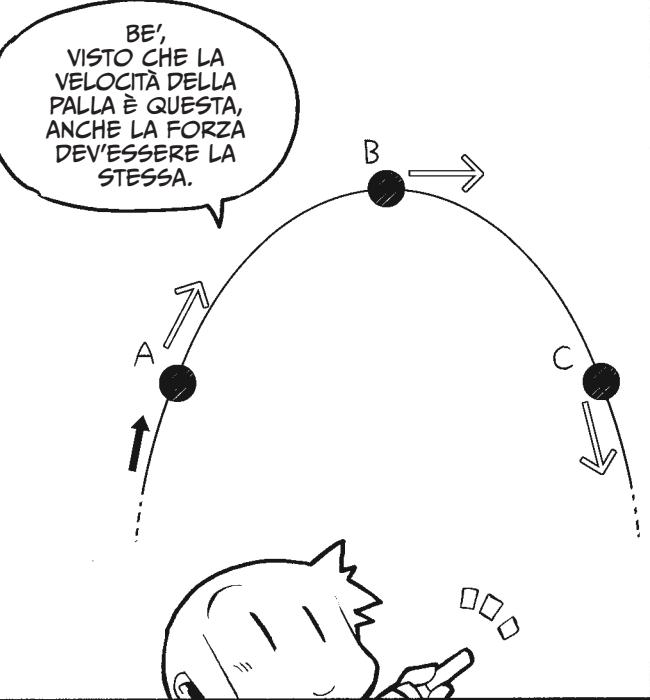
POSIZIONE DOPO 0,2 SECONDI DAL LANCIO

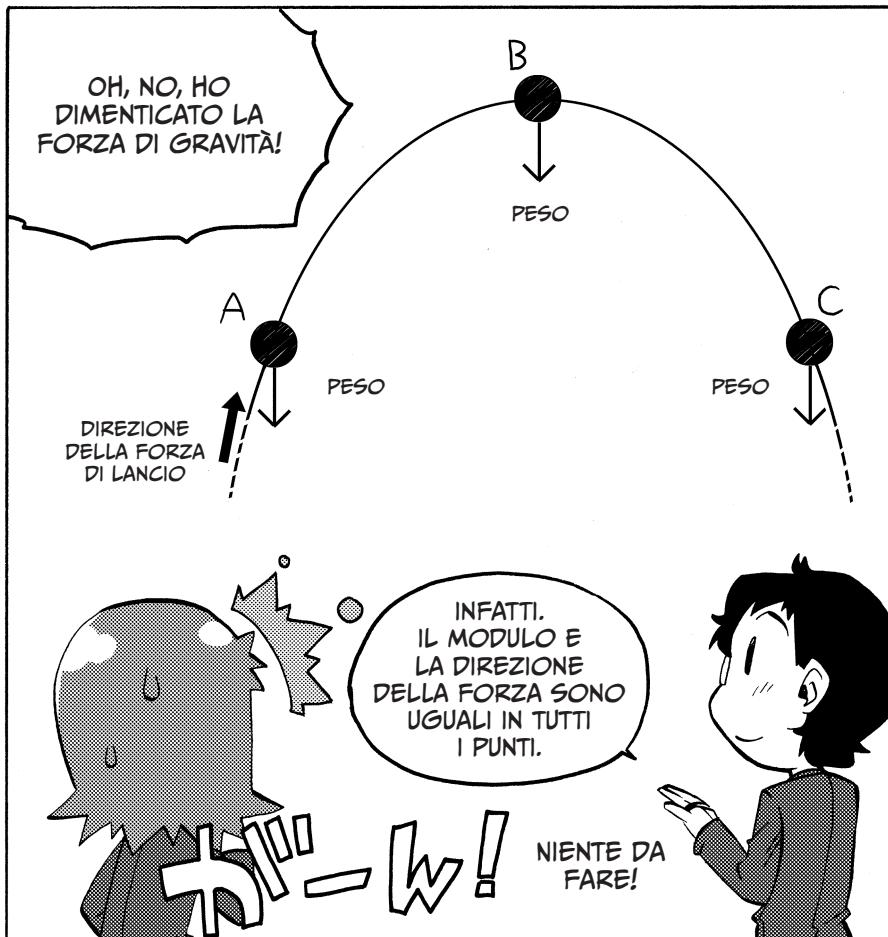
POSIZIONE DOPO 0,4 SECONDI

POSIZIONE DOPO 0,6 SECONDI

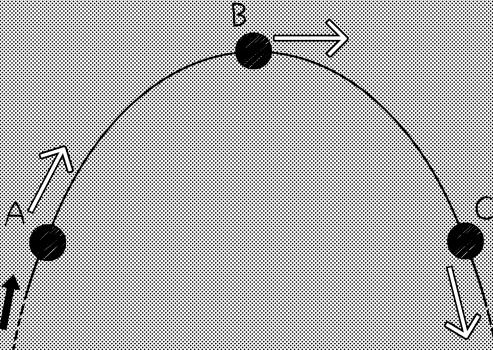
VEDIAMO...
LA PALLA PROCEDE COME SE CI AGISSE UNA FORZA.







MA LA PALLA NON
PERCORRE UNA
PARABOLA MENTRE
È IN ARIA?



SÌ, MA È DOVUTO AL
FATTO CHE CAMBIA
L'ORIENTAMENTO
DELLA VELOCITÀ,
NON DELLA FORZA.

INFATTI, IL DIAGRAMMA
CHE HAI DISEGNATO
DÀ LE DIREZIONI DELLA
VELOCITÀ, ANZICHÉ
DELLA FORZA.

L'ORIENTAMENTO
DELLA FORZA,
DICHI...

NON PENSARE
CHE LA VELOCITÀ
ABbia LO STESSO
ORIENTAMENTO
DELLA FORZA.

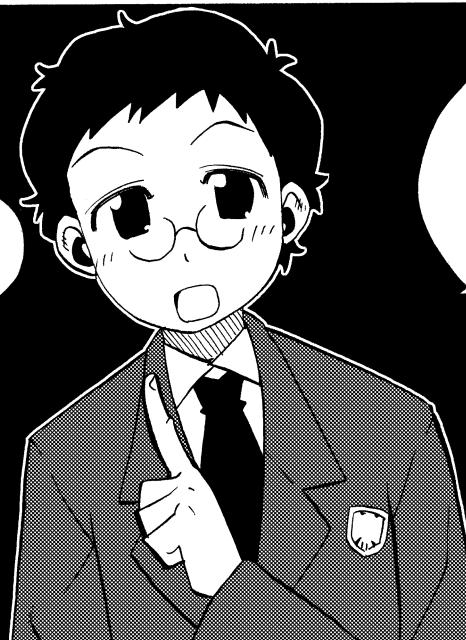
PER ESEMPIO,
UNA FORZA CHE FERMA
UN OGGETTO AGISCE
IN VERSO OPPOSTO
ALLA SUA VELOCITÀ,
GIUSTO?

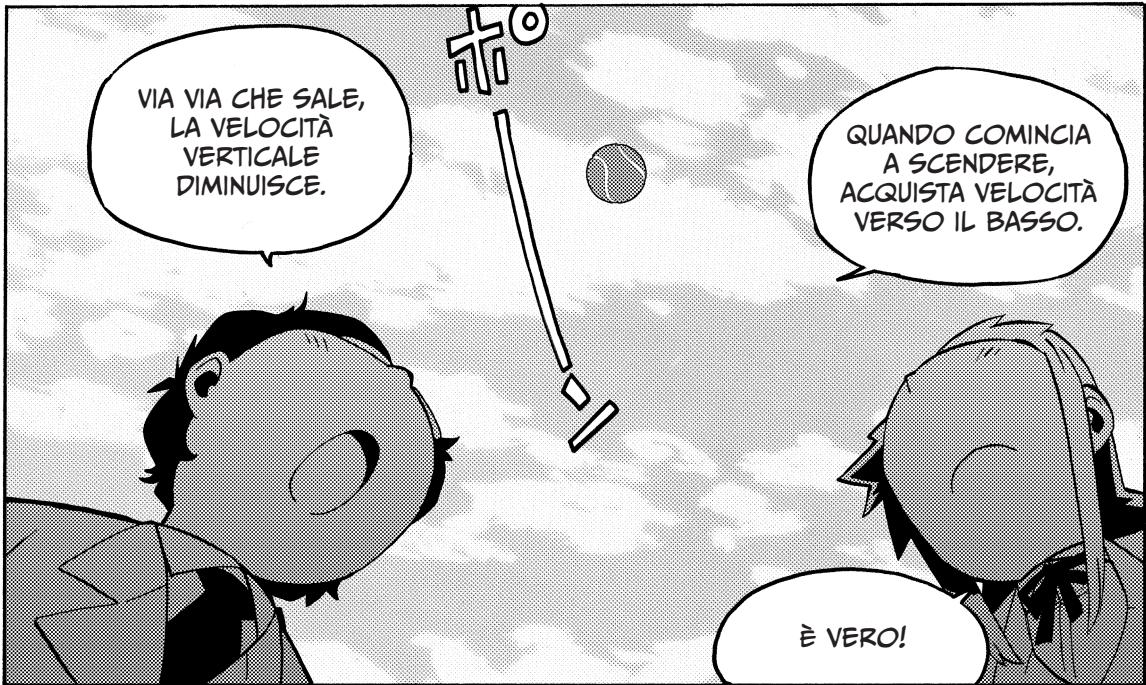
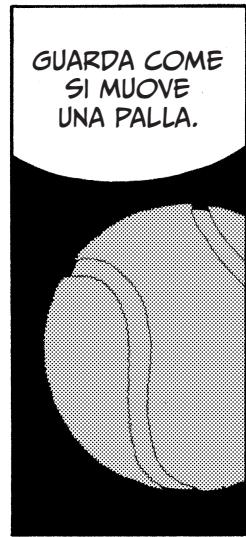
SÌ, CERTO,
PROPRIO COSÌ.

LA DIREZIONE DELLA
VELOCITÀ DI UN OGGETTO
NON CORRISPONDE
NECESSARIAMENTE
A QUELLA DELLA FORZA
CHE CI AGISCE.

INVECE,

LA DIREZIONE DELLA
FORZA È SEMPRE
UGUALE A QUELLA
DELL'ACCELERAZIONE.







SÌ. L'ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ È COSTANTE E SI INDICA CON g . È UGUALE A CIRCA $9,8 \text{ m/s}^2$.

QUINDI È SEMPRE FISSA?



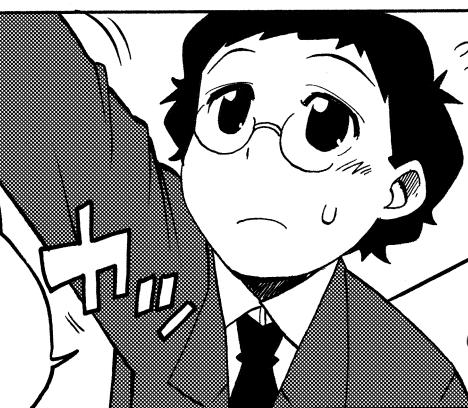
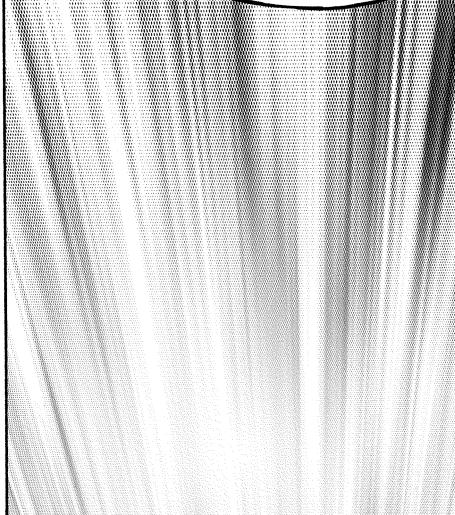
L'ACCELERAZIONE DOVUTA ALLA GRAVITÀ NON DIPENDE DALLA MASSA DELL'OGGETTO.

FINCHÉ SIAMO SULLA TERRA, ACCELERERÀ SEMPRE A $9,8 \text{ m/s}^2$!



HMM.

SÌ. SE MISURI L'ACCELERAZIONE DI QUALSIASI OGGETTO MENTRE CADE, TROVI CHE È SEMPRE $9,8 \text{ m/s}^2$.

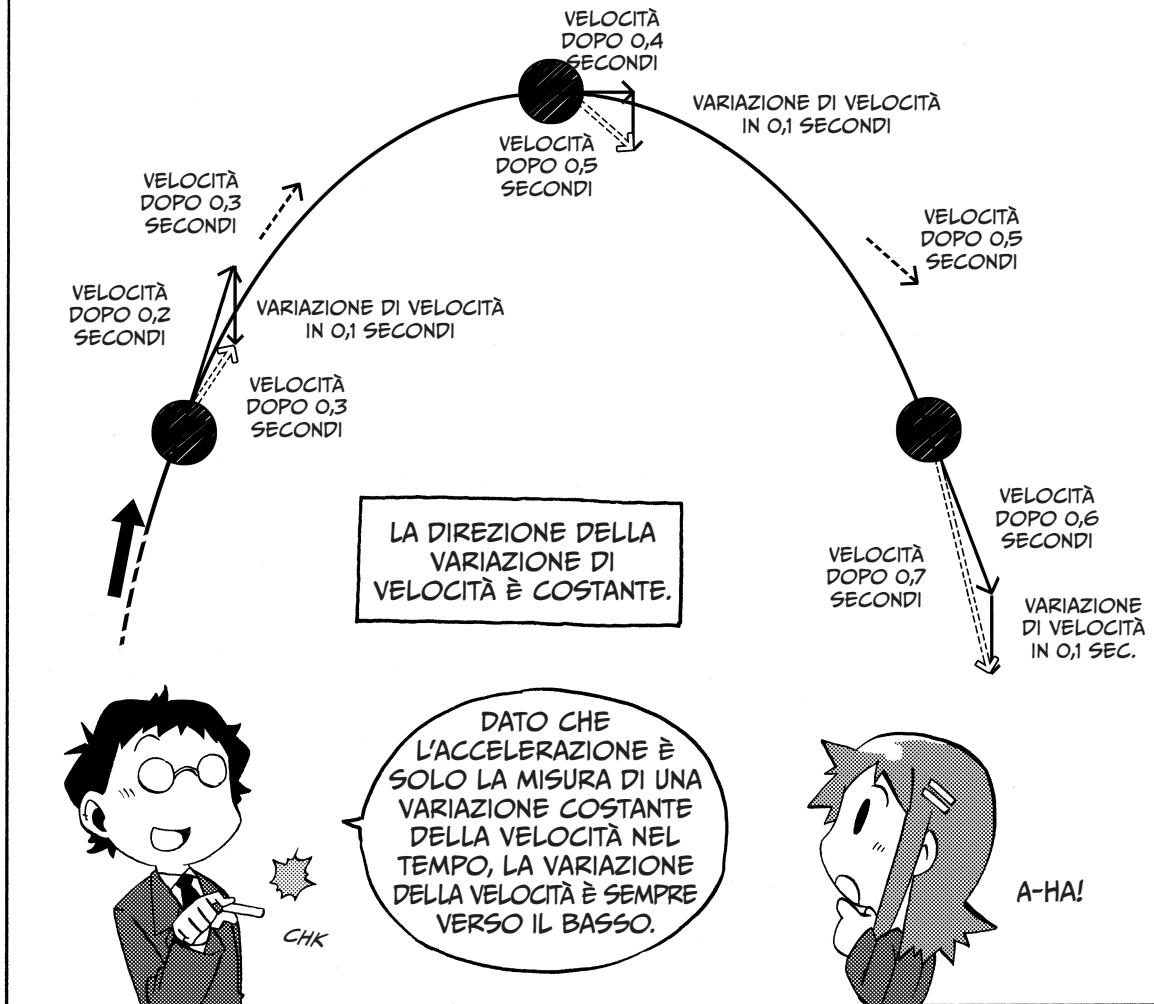


CLACK
CLACK

ORA TI DISEGNO UN DIAGRAMMA VETTORIALE CHE FA VEDERE COME CAMBIA LA VELOCITÀ GRAZIE A QUESTA ACCELERAZIONE VERSO IL BASSO.

CHK
CHK

SÌ!
SÌ!



FWP

DATO CHE
L'ACCELERAZIONE DOVUTA
ALLA GRAVITÀ È CIRCA
 $9,8 \text{ m/s}^2$,

IN 1 SECONDO LA
PALLA DIMINUISCE
LA COMPONENTE
VERTICALE
DELLA VELOCITÀ
DI $9,8 \text{ m/s}$;

IN 0,1
SECONDI, LA SUA
VELOCITÀ VERTI-
CALE DIMINUIRÀ
DI $0,98 \text{ m/s}$.

LA VELOCITÀ
VETTORIALE
SI SPOSTA
VERSO IL BASSO.

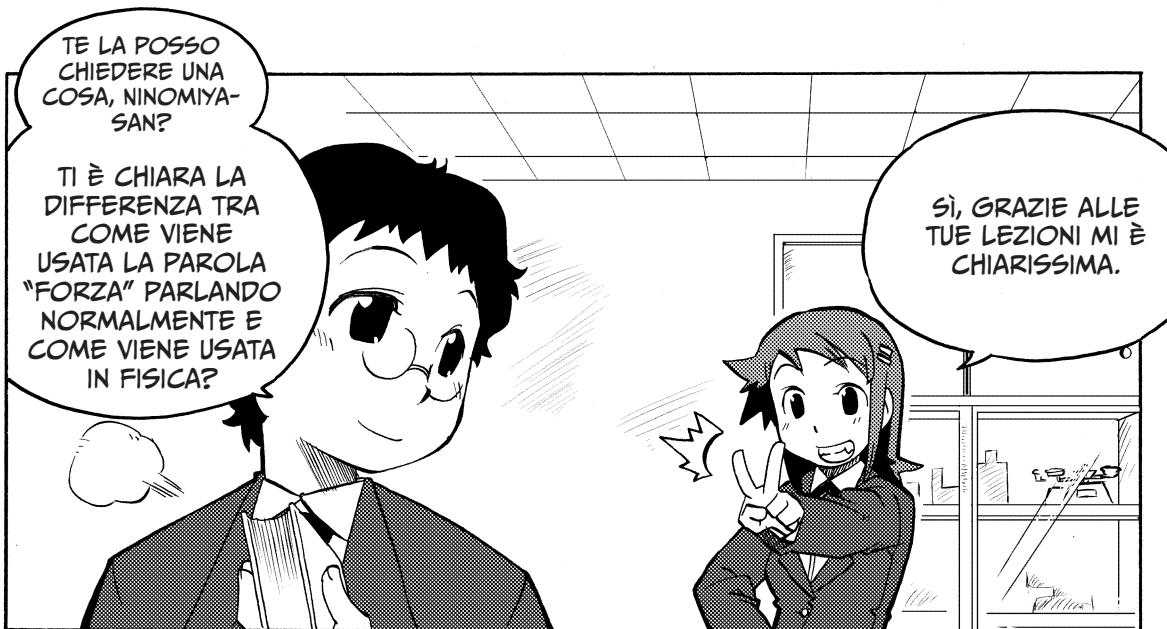
QUINDI LA DIREZIONE
DELLA FORZA SU UN
OGGETTO E LA VELOCITÀ
DELL'OGGETTO SONO COSE
COMPLETAMENTE DIVERSE.

PENSavo CHE UNA
PALLA NON
SI MUOVesse
SE NON CI AGIVA
UNA FORZA.

CI VUOLE UNA
FORZA PERCHÉ
L'OGGETTO COMIN-
CI A MUOVERSI,
MA QUANDO È IN
MOTO AGISCE IL
PRINCIPIO DI
INERZIA.

SE NON CI
FOSSE LA GRAVITÀ,
UNA PALLA LANCIATA IN
ARIA CONTINUEREbbe
A MUOVERSI IN LINEA
RETTA PER SEMPRE.

AH, HO
CAPITO.



LA FISICA DEL
MOTO È FATTA
DI TRE LEGGI,
QUELLE CHE
ABBIAVMO VISTO.
DAVVERO, TUTTO
QUI!

WOW, SUL SERIO?
SONO PROPRI
DELLE LEGGI
FORTISSIME!

LA PROSSIMA VOLTA
VEDIAMO LA QUANTITÀ
DI MOTO.

MAI FERMARSI!

GIUSTO!
AH, AH!

ABBIAMO
FATTO DI
NUOVO
TARDI!

QUEI DUE...

PERCHÉ
STUDIANO
SEMPRE
INSIEME NEL
LABORATORIO
DI FISICA?

LA COSA È
SOSPETTA...

TRE REGOLE DEL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO



Consideriamo il moto uniformemente accelerato di un oggetto che si muove in linea retta. Assumendo che la velocità iniziale sia v_1 , la velocità dopo il tempo t sia v_2 , la distanza percorsa nel tempo t sia d e l'accelerazione costante dell'oggetto sia a , sono vere le tre regole che seguono:

$$\textcircled{1} \quad v_2 = at + v_1$$

$$\textcircled{2} \quad d = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$\textcircled{3} \quad v_2^2 - v_1^2 = 2ad$$

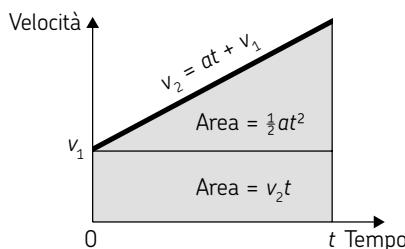
Ricaviamo queste regole. Consideriamo per prima la regola **1**. Se l'accelerazione è costante, è vero che:

$$\text{variazione di velocità} = \text{accelerazione} \times \text{tempo}$$

Dato che la variazione di velocità è uguale a $v_2 - v_1$, l'accelerazione è a e il tempo è t , sostituendo in quello che abbiamo appena scritto otteniamo la regola **1**:

$$v_2 = at + v_1$$

Adesso ricaviamo la regola **2**. A pagina 54 abbiamo visto che la distanza percorsa da un oggetto è data dall'area sotto un grafico v-t. In base alla regola **1**, il grafico v-t ha il seguente aspetto.



L'area sotto questo grafico è uguale alla distanza percorsa dall'oggetto.

Dato che l'area della parte in basso, quella rettangolare, è $v_1 t$, e quella della parte triangolare in alto è $\frac{1}{2} a t^2$, otteniamo la seguente uguaglianza:

$$d = v_1 t + \frac{1}{2} a t^2$$

NOTE Tecnicamente, *d* in questa equazione rappresenta lo spostamento. Che differenza c'è tra distanza e spostamento? La distanza è una grandezza scalare, mentre lo spostamento è una grandezza vettoriale, con una direzione determinata. Ogni tanto useremo in modo informale il termine "distanza" per riferirci a una distanza con una certa direzione (spostamento).

La regola ❸ si può ottenere eliminando la t dalle regole ❶ e ❷. Prima ricaviamo la t dalla ❶:

$$\frac{(v_2 - v_1)}{a} = t$$

Se inseriamo questo valore nella ❷, otteniamo la seguente uguaglianza:

$$d = v_1 \left(\frac{v_2 - v_1}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_2 - v_1}{a} \right)^2$$

$$d = \frac{v_1 v_2 - v_1^2}{a} + \frac{1}{2} a \left(\frac{v_2^2 - 2v_1 v_2 + v_1^2}{a^2} \right)$$

$$d = \frac{2v_1 v_2 - 2v_1^2 + v_2^2 - 2v_1 v_2 + v_1^2}{2a}$$

$$d = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

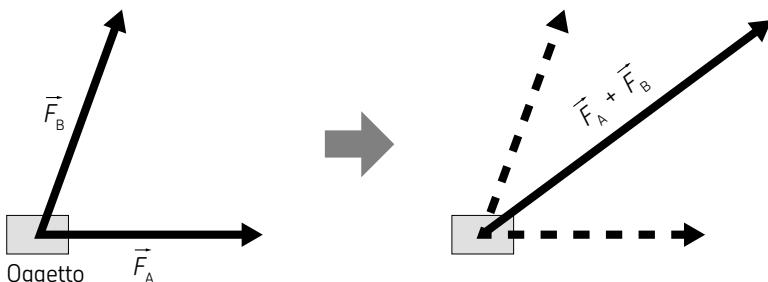
Ecco fatto! Basta moltiplicare entrambi i membri per $2a$ e otteniamo la regola ❸!

VETTORI: IL METODO PUNTA-CODA

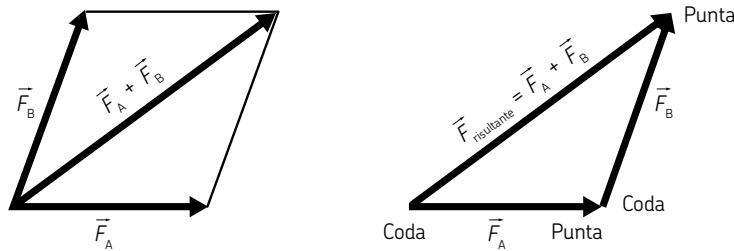


Dato che la forza è un vettore, dobbiamo svolgere i calcoli seguendo le regole sui vettori che abbiamo visto nel Capitolo 1. Se due vettori sono paralleli, è semplice sommarli: basta sommare i loro moduli, o sottrarli se i vettori sono in versi opposti.

Nella vita vera, però, dovremo sommare vettori che puntano in qualsiasi direzione: per farlo usiamo il metodo punta-coda. Per chiarirlo, immaginiamo che su un oggetto agiscano due forze, \vec{F}_A e \vec{F}_B , come mostrato qui sotto.



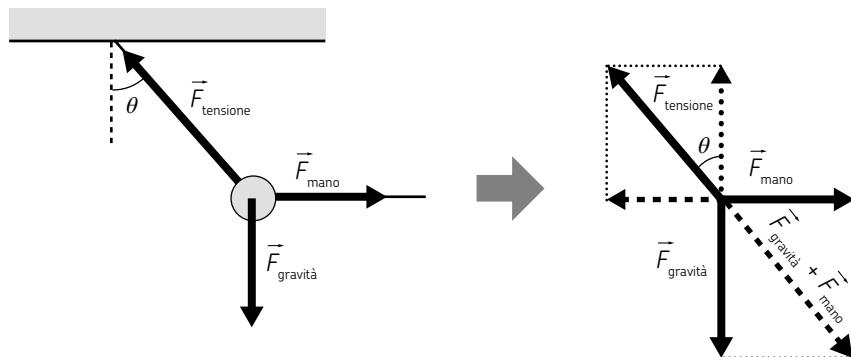
La forza complessiva sull'oggetto è uguale alla singola forza mostrata dalla freccia sulla destra; questa freccia è la somma delle forze $\vec{F}_A + \vec{F}_B$, e la chiameremo $\vec{F}_{\text{risultante}}$. Ma come facciamo a trovarne di preciso il modulo e la direzione?



Per determinare il modulo e la direzione di una risultante, possiamo semplicemente far coincidere la punta del primo vettore con la coda del secondo. La forza risultante è quella che va dalla coda del primo vettore alla punta del secondo. Il vettore somma $\vec{F}_{\text{risultante}}$ forma un triangolo con \vec{F}_A e \vec{F}_B , come si vede sulla destra. Si può usare il metodo punta-coda per tutti i vettori, non solo le forze, e si può trovare la risultante di tre o più forze applicando ripetutamente il metodo punta-coda.

COMPOSIZIONE E SCOMPOSIZIONE DI FORZE

Per capire e analizzare meglio le forze, spesso le scomporremo in una componente orizzontale e una verticale, visto che il metodo punta-coda funziona anche all'opposto: possiamo cioè suddividere un'unica forza diagonale nella somma delle sue componenti orizzontale e verticale. Vediamo un esempio.



Consideriamo l'equilibrio delle forze quando un oggetto sospeso al soffitto viene tirato orizzontalmente (si veda pagina 61). Come mostra la figura sulla destra chiamiamo $\vec{F}_{\text{gravità}}$ la forza di gravità, \vec{F}_{mano} la forza con cui la mano tira orizzontalmente e $\vec{F}_{\text{tensione}}$ la tensione della corda. Quando il peso è immobile, le tre forze sono in equilibrio. Quindi sommando i tre vettori otteniamo zero:

$$\vec{F}_{\text{gravità}} + \vec{F}_{\text{mano}} + \vec{F}_{\text{tensione}} = 0$$

Possiamo riscrivere questa uguaglianza come segue:

$$\vec{F}_{\text{gravità}} + \vec{F}_{\text{mano}} = -\vec{F}_{\text{tensione}}$$

Sapendo ciò, riguardiamo il nostro diagramma pensandolo in termini di forze orizzontali e verticali. Dato che l'oggetto è immobile, le forze in direzione orizzontale devono essere nulle, e lo stesso vale per quelle in direzione verticale.

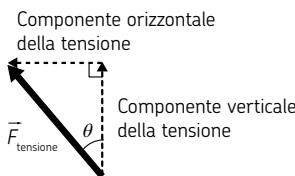
Quali sono le forze orizzontali in gioco? F_{mano} e la componente orizzontale della tensione della corda, F_{tensione} , che agiscono in versi opposti senza che l'oggetto si muova. Quindi le due forze devono essere uguali:

$$F_{\text{mano}} = \text{componente orizzontale di } F_{\text{tensione}}$$

Quali sono le forze verticali che agiscono sull'oggetto? La forza di gravità verso il basso e la componente verticale della tensione della corda, $F_{\text{gravità}}$. Agiscono in versi opposti e visto che l'oggetto è immobile, anch'esse devono essere uguali:

$$F_{\text{gravità}} = \text{componente verticale di } F_{\text{tensione}}$$

Ma come scomponiamo concretamente la forza della tensione in un addendo orizzontale e uno verticale? Usiamo qualche concetto della *trigonometria*, lo studio dei triangoli.



Ricordate il metodo di addizione punta-coda dei vettori? Qui scomponiamo la nostra forza diagonale, F_{tensione} , nelle sue componenti orizzontale e verticale formando un triangolo rettangolo. Se l'angolo indicato ha ampiezza θ , possiamo scrivere le due componenti in termini di questo angolo! Ricordando le due equazioni precedenti, otteniamo quello che segue:

$$\textcircled{1} \quad F_{\text{mano}} = \sin \theta \times F_{\text{tensione}}$$

$$\textcircled{2} \quad F_{\text{gravità}} = \cos \theta \times F_{\text{tensione}}$$

Adesso, se dividiamo semplicemente l'equazione **1** per la **2**, possiamo far scomparire la forza della tensione:

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{F_{\text{mano}}}{F_{\text{gravità}}}$$

La possiamo anche scrivere così:

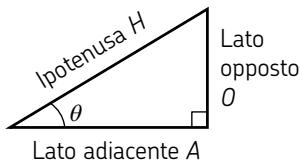
$$\tan \theta = \frac{F_{\text{mano}}}{F_{\text{gravità}}}$$

Quindi possiamo rappresentare la forza esercitata dalla mano in termini di quella di gravità e dell'angolo della corda!

$$F_{\text{mano}} = \tan \theta \times F_{\text{gravità}}$$

UN ATTIMO: COS'È QUESTA ROBA DI SENI E COSENI?

Se non avete mai studiato la trigonometria, non vi preoccupate: non c'è niente di difficile. La *trigonometria* è semplicemente lo studio delle relazioni fra le lunghezze dei lati di un triangolo e i suoi angoli, in particolare per i triangoli rettangoli. Dato che spesso scomponiamo forze e velocità in componenti orizzontali e verticali, la useremo spesso.



Consideriamo questo esempio: un triangolo rettangolo con un angolo di ampiezza θ . Il seno, il coseno e la tangente (le tre principali funzioni trigonometriche) sono semplicemente modi per esprimere i rapporti tra i tre lati di questo triangolo.

Il seno dell'angolo theta ($\sin \theta$) è uguale al rapporto tra il lato opposto all'angolo (O) e l'ipotenusa (H). Scritto come formula, abbiamo:

$$\sin \theta = \frac{O}{H}$$

Le altre funzioni trigonometriche sono semplicemente rappresentazioni di altri rapporti! Per esempio, il coseno di theta ($\cos \theta$) è uguale al rapporto tra il lato adiacente (A) e l'ipotenusa, mentre la tangente di theta ($\tan \theta$) è il rapporto tra il lato opposto e il lato adiacente. Le formule sono così:

$$\cos \theta = \frac{A}{H}$$

$$\tan \theta = \frac{O}{A}$$

Se avete difficoltà a ricordare questi diversi rapporti e a cosa corrispondono, provate a usare il termine mnemonico *SOHCAHTOA*.

$$\sin = O / H, \cos = A / H, \tan = O / A$$

Ogni volta che sarete in dubbio se usare il seno, il coseno o la tangente, vi basterà pensare a SOHCAHTOA, la magica isola triangolare della trigonometria.



IL PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA



Il primo principio della dinamica afferma: "Un oggetto continua a mantenere il suo stato di quiete o di moto uniforme a meno che non agisca su di esso una forza esterna". Un oggetto isolato sospeso nello spazio, dove non sia soggetto alla gravità, rimarrà eternamente immobile oppure si muoverà a velocità costante a meno che non ci agisca qualche forza. È possibile che su un oggetto fermo agiscano delle forze, ma la loro somma deve essere zero: per esempio, un oggetto immobile posato su una scrivania è soggetto all'attrazione della gravità verso il basso. Rimane immobile perché riceve una forza verso l'alto da parte della scrivania, il che porta a una risultante nulla.

Dopo aver capito le forze che agiscono su un oggetto immobile, possiamo passare a capire che cosa succede quando la risultante delle forze su un oggetto *non* è zero.

IL SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

Quando a un oggetto viene applicata una forza, comincia a muoversi con un'accelerazione uniforme proporzionale alla forza complessiva e inversamente proporzionale alla massa dell'oggetto. Se il vettore della forza applicata è F , l'accelerazione è a e la massa dell'oggetto è m , il secondo principio della dinamica si esprime con questa uguaglianza:

$$F = ma$$

La massa è una grandezza che ha solo un valore numerico, e quindi è una grandezza scalare. Ricordiamo però che forza e accelerazione sono vettori: quindi stiamo attenti all'accelerazione dell'oggetto e all'orientamento della forza. Avranno la stessa direzione!

L'automobile radiocomandata che abbiamo visto a pagina 49 percorre un quadrato e mantiene una velocità uniforme quando si muove in linea retta. In quei tratti la forza complessiva sulla macchina è nulla, ma quando svolta ci dev'essere una forza che fa cambiare la direzione della velocità. È una distinzione importante: l'accelerazione non deve necessariamente modificare il *modulo* della velocità! Ne può cambiare semplicemente la *direzione*!

LA DIREZIONE DI: VELOCITÀ, ACCELERAZIONE E FORZA

In base al secondo principio della dinamica la direzione dell'accelerazione è sempre uguale a quella della forza. La direzione della velocità, invece, non corrisponde direttamente a quelle della forza e dell'accelerazione. Dalle relazioni tra accelerazione e velocità (spiegate a pagina 52) deriva la seguente uguaglianza:

$$\text{variazione della velocità} = \text{accelerazione} \times \text{tempo}$$

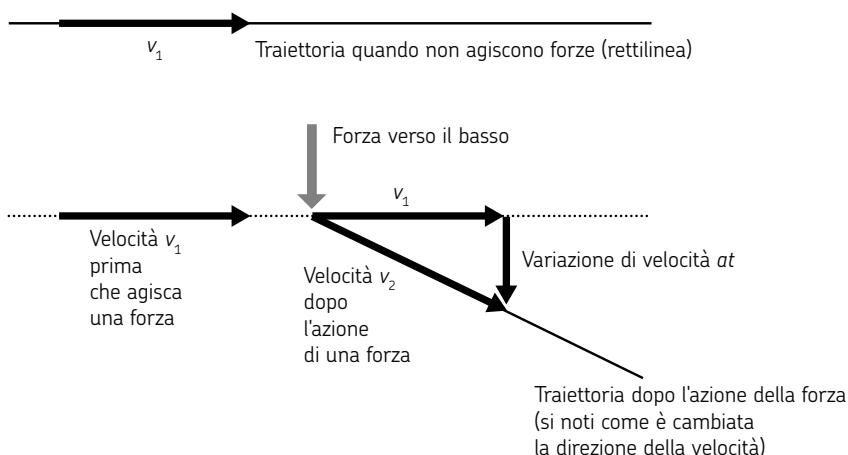
Quindi è la direzione della variazione della velocità a essere uguale alla direzione dell'accelerazione! È una distinzione sottile ma importante.

Vediamo un esempio. Supponiamo che ci sia un oggetto in moto a velocità costante v . Quando non ci agisce nessuna forza si muove in linea retta a velocità v_1 , in base al primo principio della dinamica. Se ci agisce per un tempo t una forza verticale, come cambia la velocità dell'oggetto? Chiamando a l'accelerazione generata dalla forza e v_2 la velocità dopo l'applicazione della forza, possiamo scrivere la seguente relazione:

$$v_2 - v_1 = at$$

cioè

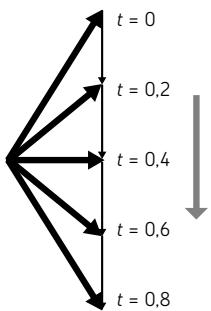
$$v_2 = v_1 + at$$



Quindi l'applicazione di una forza modifica la direzione del moto dell'oggetto. Possiamo prevedere facilmente il moto scomponendo v_2 nelle sue componenti orizzontale e verticale. La velocità orizzontale deve essere ancora uguale a v_1 , perché in direzione orizzontale non c'è stata alcuna forza. La variazione della velocità verticale è semplicemente at !

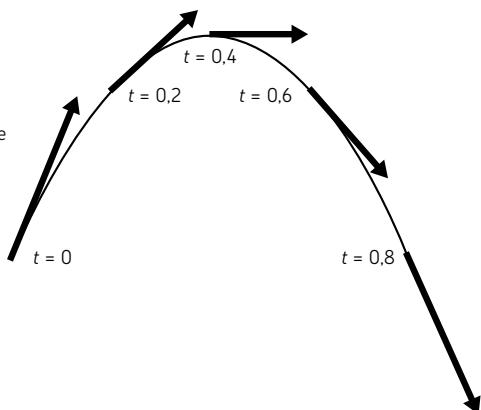
Nell'esempio della palla lanciata di pagina 75, la forza di gravità continua ad agire sulla palla anche mentre si muove verso l'alto. Quando la palla sale, la sua velocità verticale decresce per via della forza di gravità. Una volta che ha cominciato a scendere guadagna velocità verso il basso. La velocità orizzontale della palla non cambia: è solo quella verticale che varia. Il moto della palla ha una traiettoria a forma di parabola, come mostra la figura che segue.

Velocità della palla



Direzione della forza di gravità (che è anche la direzione dell'accelerazione)

Traiettoria della palla



Notiamo che la componente orizzontale del vettore non cambia!

UN OGGETTO NON HA UNA FORZA PROPRIA



Chi non ha studiato fisica tende a pensare: "un oggetto in moto ha una forza"; è un'idea diffusa ma sbagliata. Come abbiamo visto nel Capitolo 1, una forza si genera fra due elementi che interagiscono, i cui movimenti si influenzano a vicenda. Un oggetto in movimento non ha una forza interna che continua a farlo muovere; è solo l'effetto del primo principio della dinamica.

Pensiamo all'esempio della palla lanciata in aria. La palla riceve una forza dalla mano fino al momento in cui se ne distacca. (A sua volta, per il principio di azione e reazione, la mano riceve una forza dalla palla, ma questa forza non ha a che vedere con il movimento della palla.) Una volta lasciata la mano, sulla palla agisce solo la forza di gravità da parte della Terra. La forza esercitata sulla palla dalla mano non c'è più, una volta che la palla l'ha lasciata.

L'UNITÀ DI MISURA DELLA FORZA

Il secondo principio della dinamica ci dà l'unità di misura della forza:

$$\text{forza} = \text{massa} \times \text{accelerazione}$$

In questa uguaglianza l'unità di misura della massa è il chilogrammo (kg), mentre quella dell'accelerazione è il metro al secondo al quadrato (m/s^2). Quindi l'unità di misura della forza deve essere uguale a $\text{kg} \times \text{m/s}^2$. Per indicarla in modo più semplice, la chiamiamo *newton* (N):

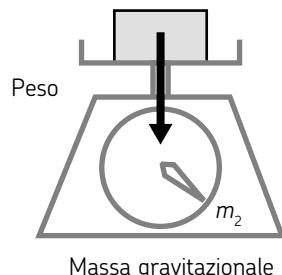
$$1 \text{ newton} = 1 (\text{kg} \times \text{m/s}^2)$$

Possiamo usare i newton per descrivere le forze; come potete immaginare, questa unità di misura prende il nome dal grande Isaac Newton, al quale si devono i fondamenti della fisica. Una forza di 1 N è proprio la forza necessaria per accelerare di 1 m/s^2 un oggetto con una massa di 1 kg.

MISURARE MASSE E FORZE

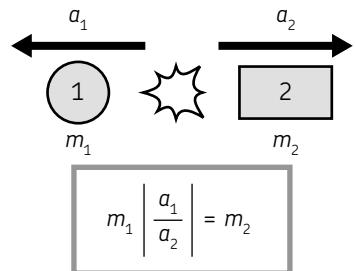
Come si fa a determinare la massa di un oggetto?

Si può misurare con una bilancia, che tiene conto del fatto che la forza di gravità che agisce su un oggetto (cioè il suo peso) è proporzionale alla sua massa. La massa misurata basandosi sulla gravità è detta *massa gravitazionale*.



Invece la massa calcolata usando il secondo principio della dinamica misura la resistenza di un oggetto all'accelerazione; questa massa non ha un rapporto diretto con la gravità. La massa calcolata in base alla teoria newtoniana (massa = forza / accelerazione) viene chiamata *massa inerziale*.

La massa inerziale si può misurare mettendo insieme il secondo principio della dinamica e il principio di azione e reazione. Per prima cosa, ci serve un oggetto di massa nota (lo chiameremo *oggetto di riferimento* e nel diagramma lo indicheremo con m_1). Poi posizioniamo l'oggetto di cui vogliamo misurare la massa (lo chiameremo *oggetto da misurare* e lo indicheremo con m_2) e l'oggetto di riferimento in modo che interagiscano collidendo. In questa collisione, sugli oggetti non agiscono forze esterne.



Massa inerziale

A questo punto le forze esercitate da ognuno dei due oggetti sull'altro sono soggette al principio di azione e reazione, e quindi devono essere uguali.

Se $F_1 = m_1 a_1$ e $F_2 = m_2 a_2$, sappiamo che $F_1 = F_2$, per via di questo principio; possiamo quindi scrivere:

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$

Dato che vogliamo trovare m_2 , la massa dell'oggetto da misurare, riscriviamo questa uguaglianza come segue:

$$m_2 = \frac{m_1 a_1}{a_2}$$

Ovviamente le accelerazioni sono in realtà in direzioni opposte, e quindi ne consideriamo solo il modulo.

L'accelerazione di un oggetto si può trovare misurando la distanza percorsa dall'oggetto e il tempo che impiega a percorrerla. Una volta svolte queste misurazioni, possiamo calcolare la massa dell'oggetto da misurare.

Anche se con gli esperimenti si è visto che la massa gravitazionale è uguale alla massa inerziale, i principi della dinamica non dicono che *debba* essere così. Quello che sappiamo su questa relazione viene da Einstein, che basò la relatività generale sul *principio di equivalenza*, cioè l'idea che le masse gravitazionale e inerziale siano uguali. È tuttora un'attiva area di ricerca.

Una volta che abbiamo determinato le masse degli oggetti che collidono, possiamo trovare la forza che hanno esercitato l'uno sull'altro. Dato che la forza fa accelerare gli oggetti, possiamo misurare questa accelerazione e inserirne il valore nell'espressione che segue per trovare il valore esatto della forza applicata:

$$\text{massa} \times \text{accelerazione} = \text{forza}$$

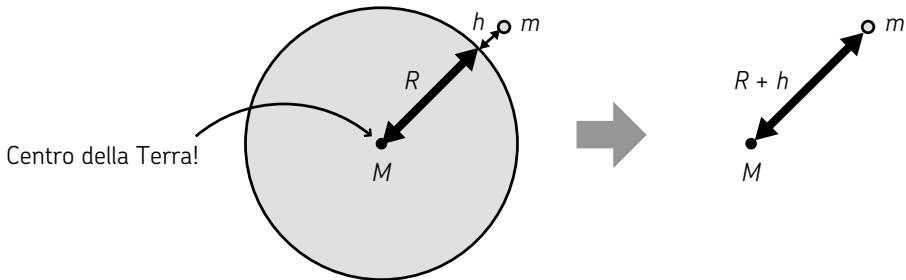
MISURARE I PESI



La forza di gravità terrestre agisce su un oggetto con massa m così:

$$\textcircled{1} \quad F = mg$$

In questa formula, g è il modulo dell'accelerazione di gravità, circa $9,8 \text{ m/s}^2$ se misurata vicino al suolo. È una relazione che si ricava da quella della gravitazione universale.



Consideriamo un oggetto di massa m che si trovi a un'altezza h sopra la Terra.

Assumiamo che la Terra sia una sfera perfetta di raggio R , massa M e densità uniforme. Così facendo, possiamo anche assumere che la gravità generata dall'intero globo in un punto esterno alla superficie terrestre sia uguale alla gravità di un punto di massa M . Usando la formula che descrive la gravitazione universale che abbiamo visto a pagina 43, possiamo calcolare la forza e l'accelerazione dovute all'attrazione gravitazionale della Terra.

Il modulo della gravità che la Terra esercita su un oggetto è dato da:

$$F = G \frac{Mm}{(R + h)^2}$$

Notiamo anche che la forza di gravità su un oggetto vicino alla superficie terrestre (cioè dove $h = 0$) è come segue:

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad \text{dove} \quad G \frac{M}{R^2} = g$$

Dato che sappiamo che la forza è anche uguale al prodotto della massa per l'accelerazione, possiamo uguagliare il secondo membro di questa formula a quello della ❶.

NOTE Ricordiamo da pagina 43 che G è la costante di gravitazione universale.

$$mg = G$$

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Il raggio della Terra è pari a circa $6,38 \times 10^6$ m e la sua massa a circa $5,98 \times 10^{24}$ kg. Usando questi valori possiamo calcolare il valore di g , l'accelerazione di un oggetto dovuta alla gravità:

$$g = G \frac{M}{R^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,98 \times 10^{24}}{(6,38 \times 10^6)^2} \approx 9,8 \text{ m/s}^2$$

Questa è l'accelerazione di gravità; notiamo che non dipende dalla massa dell'oggetto più piccolo (m). A rigore, dato che la Terra non è una sfera perfetta, l'accelerazione di gravità vicino alla superficie terrestre varia lievemente a seconda dei luoghi, ma in ogni caso si può tranquillamente approssimare con il valore di $9,8 \text{ m/s}^2$.

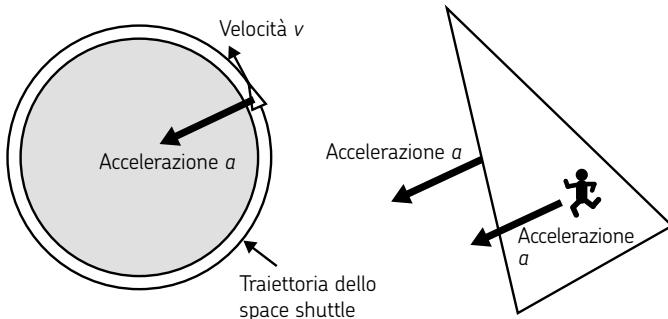
Cerchiamo ora di trovare il valore dell'accelerazione di gravità a bordo di uno space shuttle in un punto dell'orbita attorno alla Terra. La quota dello shuttle era tra i 300 e i 500 km sopra la superficie terrestre.

Assumiamo $h = 500$ km sopra la superficie. $R + h = (6,38 \times 10^6 \text{ m}) + (0,5 \times 10^6 \text{ m}) = 6,88 \times 10^6 \text{ m}$. Con questi dati possiamo trovare l'accelerazione di gravità a questa altitudine:

$$g = G \frac{M}{(R + h)^2} = 6,67 \times 10^{-11} \times \frac{5,98 \times 10^{24}}{(6,88 \times 10^6)^2} \approx 8,4 \text{ m/s}^2$$

In altre parole, sullo shuttle agisce una gravità che è circa l'86 per cento ($8,4/9,8 \approx 0,86$) di quella che agisce sulla superficie della Terra. Dato che la distanza fra la Terra e uno shuttle in orbita è circa un decimo del raggio terrestre, è ragionevole che la gravità del pianeta agisca sulla navetta ancora in modo significativo.

Ma allora, perché sembra che dentro uno shuttle non ci sia gravità? Succede perché tutto lo shuttle "cade" in continuazione, attratto dalla gravità terrestre. Einstein teorizzò che se si spezza il cavo che sorregge un ascensore, una persona all'interno dell'ascensore che precipita si troverebbe in un ambiente privo di peso, esattamente come nello spazio. Come per un ascensore con il cavo spezzato, l'accelerazione dello space shuttle è orientata verso il centro della Terra a causa della gravità, ma la velocità con cui cade è perpendicolare alla direzione della gravità; non si muove verso il basso.



Questo è il motivo per cui lo shuttle viaggia attorno alla Terra lungo una traiettoria circolare (o, più precisamente, ellittica). La sensazione della cosiddetta assenza di gravità è creata dal fatto che sia lo shuttle che tutto ciò che contiene, compresi gli astronauti, "cadono" con la stessa accelerazione di gravità.

CAPIAMO IL MOTO PARABOLICO



A pagina 75 abbiamo esaminato una palla in volo: il moto di quella palla è un cosiddetto *moto parabolico*. Qui esamineremo più approfonditamente la traiettoria della palla, svolgendo qualche vero calcolo.

Nella figura che segue, la distanza lungo la direzione orizzontale è indicata con x , lungo quella verticale con y e la massa della palla con m . La forza della gravità sulla palla agisce verso il basso lungo l'asse y , con modulo mg . Rappresentato in termini delle sue componenti, il vettore della forza agente sulla palla si può esprimere come segue:

$$F = (0, -mg)$$

↑ forza nella direzione y

Analogamente, possiamo rappresentare l'accelerazione in termini delle sue componenti con $a = (a_x, a_y)$. Sappiamo quanto segue:

L'accelerazione in direzione x è $a_x = 0$.

L'accelerazione in direzione y è $a_y = -g$.

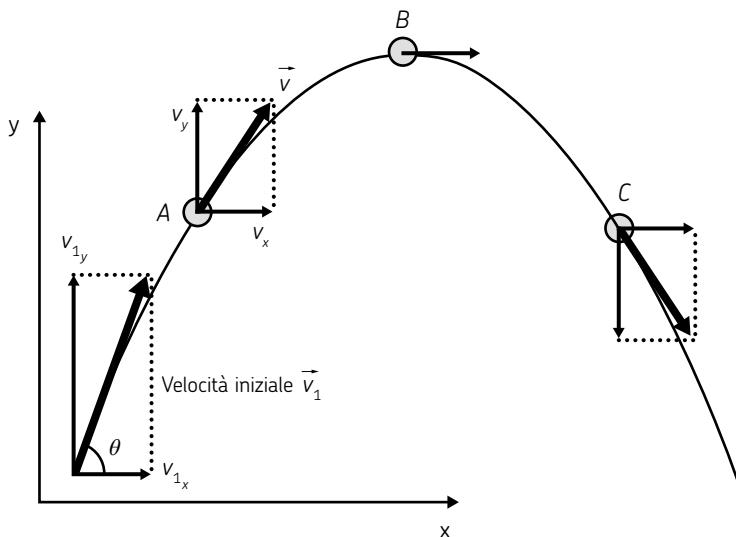
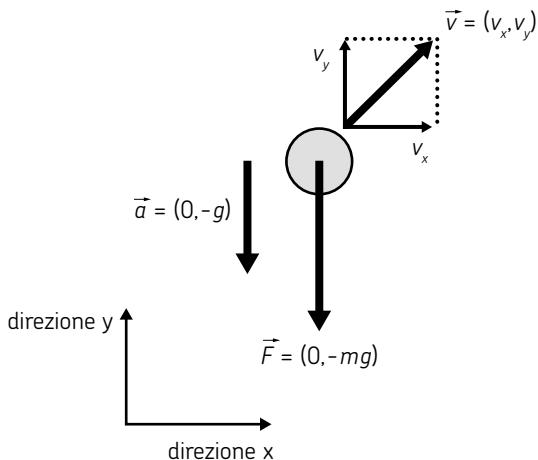
In breve, la palla ha una velocità costante in direzione x , mentre in direzione y si ha un moto uniformemente accelerato.

Se conosciamo questi valori, possiamo calcolare la velocità della palla in ogni istante. Nel momento in cui la palla viene lasciata andare, $t = 0$ e la velocità di lancio è $v_1 = (v_{1x}, v_{1y})$; grazie alla regola ❶ del moto uniformemente accelerato otteniamo:

$$v_{2x} = v_{1x}$$

$$v_{2y} = v_{1y} - gt$$

Queste relazioni indicano che nella direzione x la velocità non varia, mentre varia verso il basso nella direzione y di $-9,8 \text{ m/s}$ ogni secondo ($gt = -9,8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s} = -9,8 \text{ m/s}$).



Adesso troviamo la posizione della palla. Scomponiamola nelle sue componenti lungo le direzioni x e y:

$$x = v_{1_x} t$$

$$y = v_{1_y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

Adesso vorremmo un modo per eliminare la variabile t fra queste due equazioni. Proviamo a riscrivere la prima equazione!

$$t = \frac{x}{v_{1_x}}$$

Inserendo questo valore di t nella seconda equazione otteniamo:

$$y = v_{1_y} \left(\frac{x}{v_{1_x}} \right) - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_{1_x}} \right)^2$$

Questa funzione è un polinomio di secondo grado, e se ne tracciamo il grafico ottieniamo effettivamente una parabola. L'origine è nel punto in cui la palla lascia la mano.

Questa equazione ci permette di calcolare dove atterrerà la palla. Intanto, possiamo mettere in evidenza il termine $\left(\frac{x}{v_{1_x}} \right)$, così:

$$y = \frac{x}{v_{1_x}} \left(v_{1_y} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_{1_x}} \right) \right)$$

E dato che sappiamo che il punto in cui la palla toccherà terra sarà dove $y = 0$ e $x \neq 0$, poniamo y uguale a 0:

$$0 = \frac{x}{v_{1_x}} \left(v_{1_y} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_{1_x}} \right) \right)$$

$$v_{1_y} = \frac{1}{2} g \left(\frac{x}{v_{1_x}} \right)$$

Possiamo risolvere questa equazione rispetto alla x, e troviamo la distanza percorsa dalla palla!

$$\textcircled{1} \quad x = \frac{2 v_{1_x} v_{1_y}}{g}$$

Se chiamiamo θ l'angolo di lancio e riscriviamo questa espressione, possiamo trovare l'angolo che permette di lanciare più lontano possibile la palla a parità di velocità. La velocità iniziale si può esprimere come segue:

$$v_1 = (v_{1_x}, v_{1_y}) = (v_1 \cos \theta, v_1 \sin \theta)$$

Possiamo quindi esprimere in un altro modo il punto di atterraggio dato dalla formula ①:

$$x = \frac{2 \times v_1 \cos \theta \times v_1 \sin \theta}{g} = \frac{v_1^2 \sin 2\theta}{g}$$

Questo valore raggiunge un massimo quando $\sin(2\theta) = 1$.* Quindi, quando lanciamo una palla a una velocità data, la palla raggiunge la distanza maggiore possibile quando la lanciamo con un angolo di 45 gradi.

IL CALCOLO DIFFERENZIALE PER TROVARE ACCELERAZIONE E VELOCITÀ

**ATTENZIONE:
CALCOLO
DIFFERENZIALE!**



La velocità di un oggetto varia da un istante all'altro. Indichiamo con Δt un brevissimo intervallo di tempo durante il quale possiamo assumere che la velocità sia costante. Otteniamo allora la seguente approssimazione, in cui Δx rappresenta lo spostamento che si è avuto nel tempo Δt :

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

In questa uguaglianza, più piccolo è il valore che assegniamo a Δt e più precisa è l'approssimazione che otteniamo per la velocità. In un esperimento, Δt deve avere un valore ben preciso, e quindi possiamo solo trovare un valore medio per la velocità. Ma matematicamente possiamo pensare al caso in cui Δt tende indefinitamente a zero.

In altre parole, possiamo definire la velocità in un dato istante come segue:

$$\textcircled{1} \quad v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} \quad \text{Questa è la definizione della derivata.}$$

Lo stesso vale per l'accelerazione. Assegniamo Δv a un breve intervallo di tempo Δt , nel corso del quale possiamo assumere che l'accelerazione sia virtualmente costante. Allora l'accelerazione a si esprime come segue:

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

Quando l'accelerazione non è costante, possiamo rendere infinitamente piccola la variazione di t :

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

Così otteniamo l'accelerazione in un dato istante. Notiamo anche che sostituendo l'espressione ① in quest'ultima otteniamo:

$$a = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

* Se i calcoli vi lasciano perplessi, ricordate che $\sin(2\theta) = 2 \sin \theta \cos \theta$.

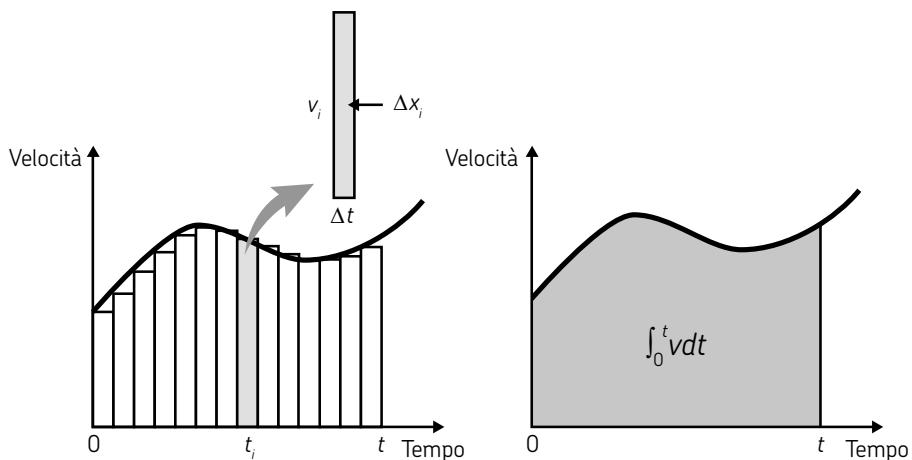
Quindi l'accelerazione si può esprimere come derivata seconda dello spostamento.
Il secondo principio della dinamica ($F = ma$) si può esprimere nel calcolo differenziale così:

$$m \frac{dv}{dt} = F \quad \text{ovvero} \quad m \frac{d^2x}{dt^2} = F$$

USIAMO L'AREA SOTTO UN GRAFICO V-T PER TROVARE LA DISTANZA PERCORSO DA UN OGGETTO



Adesso esaminiamo come si può trovare la distanza percorsa da un oggetto se conosciamo già la sua velocità (vedi pagina 54). Quando la velocità è costante, sappiamo scrivere facilmente la relazione tra la distanza percorsa (Δx) in un dato intervallo di tempo (Δt).



Per una velocità il cui valore invece varia, possiamo trovare un'approssimazione sommando le distanze percorse in intervalli di tempo lunghi Δt . In altre parole, dividiamo l'intervallo totale di tempo fra il momento 0 e il momento t in n segmenti, assegniamo t_i all' i -esimo segmento sull'asse del tempo, e assegniamo il valore v_i alla velocità in quel momento. Indicando il tempo con Δt e la velocità nell' i -esimo segmento con v_i , otteniamo la seguente relazione:

$$x = v_1 \Delta t + v_2 \Delta t + \dots + v_i \Delta t + \dots + v_n \Delta t$$

La distanza x percorsa tra il momento 0 e il momento t si può trovare con la seguente approssimazione:

$$x = \sum_{i=1}^n v_i \Delta t$$

Quando si divide l'intervallo in segmenti infinitamente piccoli, in modo da far tendere Δt a zero (quando n , il numero di segmenti, tende a infinito), il risultato sarà molto più preciso:

$$x = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=1}^n v_i \Delta t = \int_0^t v dt$$

Questa è proprio la definizione di un integrale. La formula mostra che possiamo trovare la distanza percorsa usando il calcolo integrale per rappresentare l'area sotto il grafico v-t.

Adesso, dato un moto uniformemente accelerato con accelerazione a , velocità v_1 nel momento $t = 0$, e velocità v_2 nel momento t , sappiamo che vale:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

Da questa relazione possiamo immediatamente dedurre che $v_2 = v_1 + at$, cioè la regola ① di pagina 85. Ora che abbiamo una formula che ci dà la velocità in funzione del tempo, la possiamo inserire nella formula in cui compare l'integrale per calcolare lo spostamento:

$$x = \int_0^t (v_1 + at) dt$$

Dato che v_1 e a sono costanti, è un integrale relativamente facile da calcolare:

$$x = [v_1 t + \frac{1}{2}at^2]_0^t$$

Poiché il primo estremo di integrazione è $t = 0$, è semplice trovare:

$$x = v_1 t + \frac{1}{2}at^2$$

Abbiamo appena ricavato una regola che dovrebbe avere un aspetto molto familiare!

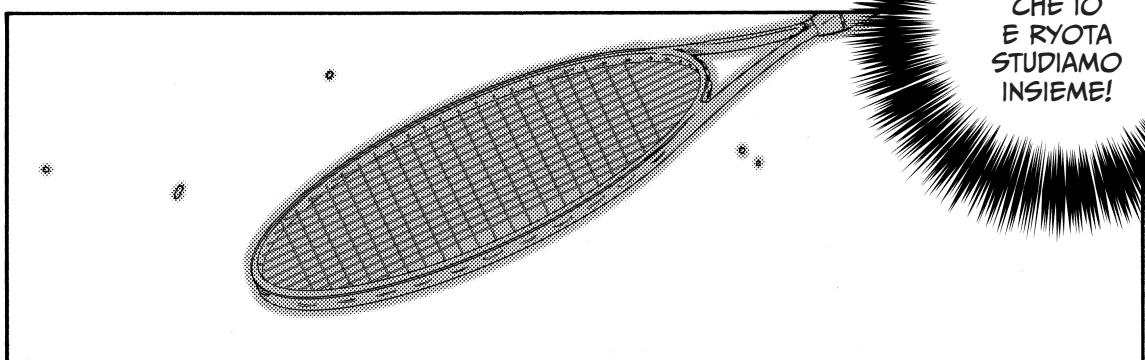
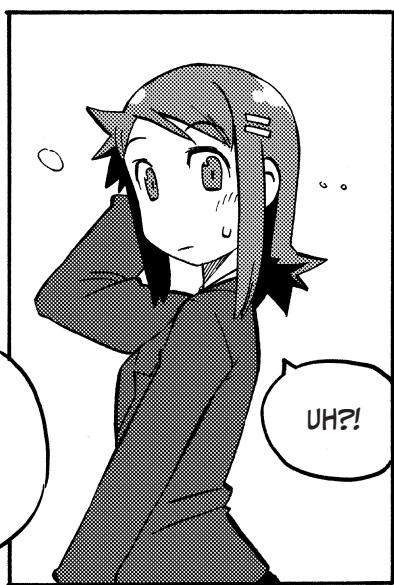


QUANTITÀ
DI MOTO



QUANTITÀ DI MOTO E IMPULSO





PARLIAMO DELLA QUANTITÀ DI MOTO



GIÀ!

QUESTA VOLTA SAYAKA LE PRENDERÀ, E DI BRUTTO.



A PROPOSITO, C'ERA UNA COSA CHE TI VOLEVO CHIEDERE.

SU UNA PALLA IN MOVIMENTO NON C'È NESSUNA FORZA, NO?

MA QUANDO IO LA COLPISCO, LA SENTO, UNA FORZA.

LA PALLA NON STA CREANDO UNA SPECIE DI FORZA CONTRO LA RACCHETTA?

BUONA OSSERVAZIONE.

LA SENTO NEL BRACCIO!

UNA PALLA IN MOVIMENTO HA UNA PROPRIETÀ CHE SI CHIAMA QUANTITÀ DI MOTO.

È QUESTA CHE CREA UNA FORZA CONTRO LA RACCHETTA?

QUANDO LA URTA UNA PALLA VELOCE, ADDOSSO ALLA RACCHETTA ARRIVA LA QUANTITÀ DI MOTO DELLA PALLA.

E, IN EFFETTI, CIÒ CREA UNA FORZA.

B
A
M

IMPATTO!

...QUANTITÀ DI MOTO

MA LA QUANTITÀ DI MOTO E LA VELOCITÀ SONO COSE DIVERSE, NO?

SÌ, LA QUANTITÀ DI MOTO È DEFINITA COME:

QUANTITÀ DI MOTO = MASSA X VELOCITÀ

$$p = mv$$

PENSAVO CHE PER CALCOLARE LA QUANTITÀ DI MOTO BASTASSE SAPERE LA VELOCITÀ.

NON MI ERO RESA CONTO CHE SERVISSE ANCHE LA MASSA!

BE', BASTA CHE CI PENSI UN ATTIMO.

ANCHE A PARITÀ DI VELOCITÀ, UNA PALLA DA TENNIS...

SHHTOCK

PING

E UNA PALLINA DA PING-PONG HANNO QUANTITÀ DI MOTO MOLTO DIVERSE.

...GIÀ, UNA PALLINA DA PING-PONG NON FA MOLTO MALE SE PRENDE QUALCUNO IN TESTA...

CHE?

TE LA PRENDI ANCORA PER QUELL'INCIDENTE?

SOGNO A OCCHI APERTI DI MEGUMI. DELITTO SUI CAMPI DA TENNIS: MISTERIOSO EMATOMA SULLA TESTA DELLA VITTIMA.

E ORA... INCASSERÒ LA SUA ASSICURAZIONE SULLA VITA.

HMM...

NO, NO, NON È ANDATA AFFATO COSÌ!

CERCavo SOLTANTO DI AIUTARTI, NINOMIYA-SAN. C'ERA UN SACCO DA FARE PER UNA PERSONA SOLA.

METTE IL BRONCIO...

SU, STO SCHERZANDO.

SAI UNA COSA, NOMURA-KUN? TENDI A PRENDERTELÀ PER UN NIENTE.

NON È VERO...

ECCOLA CHE RICOMINCIA...

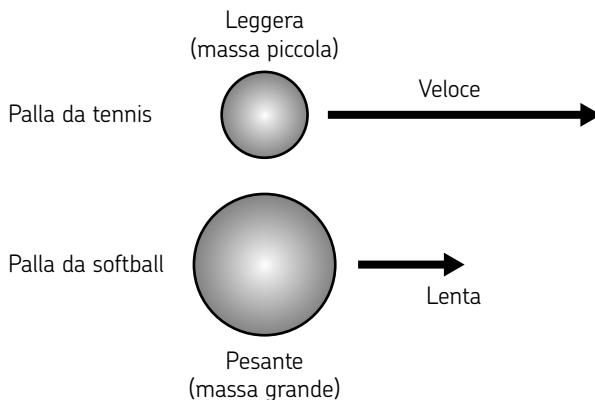
LABORATORIO

DIFFERENZA DI QUANTITÀ DI MOTO DOVUTA A UNA DIFFERENZA DI MASSA



Per farti capire meglio come funziona la quantità di moto ho portato una palla da softball e una da tennis.

Esaminiamo la quantità di moto della palla da softball quando si sposta lentamente e di quella da tennis quando si muove veloce.



Vediamo, la palla da softball è molto più pesante di quella da tennis, vero?



Sì, certo. Ecco cosa sappiamo sulle due palle:

$$m_{\text{palla da softball}} > m_{\text{palla da tennis}}$$

$$v_{\text{palla da softball}} < v_{\text{palla da tennis}}$$





Però non sappiamo quale delle due ha la quantità di moto maggiore. Ricorda che è data dal prodotto della massa per la velocità ($p = mv$). Dovremmo conoscere i valori numerici per determinare con precisione la differenza.



Be', io so che una palla da tennis ha una massa di circa 60 grammi.



E una da softball di circa 180 grammi.



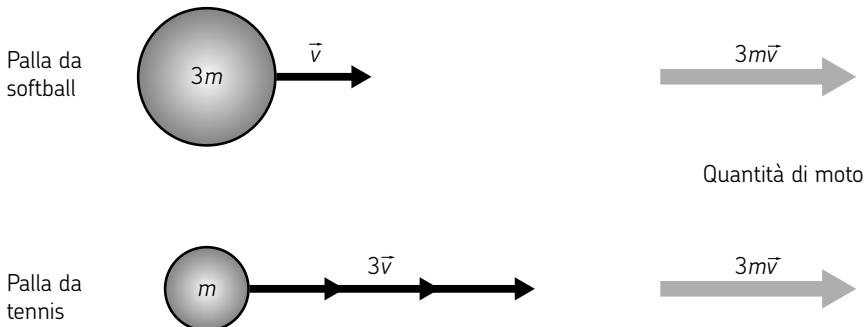
Allora sappiamo quasi tutto. Sono 60 grammi contro 180: la massa di quella da softball è circa tre volte quella della palla da tennis.



Con questi nuovi dati e la relazione $p = mv$, per avere la stessa quantità di moto, la palla da tennis deve avere una velocità tripla rispetto alla palla da softball.



Ah, ho capito.



VARIAZIONI DI QUANTITÀ DI MOTO E IMPULSO

HAI CAPITO CHE L'IMPATTO DI UNA PALLA SULLA RACCHETTA È DATO

DALLA SUA QUANTITÀ DI MOTO?

SÌ, È CHIARISSIMO.

BENE: ADESSO VEDIAMOLO IN MODO PIÙ DETTAGLIATO. DOPO AVER COLPITO LA RACCHETTA, LA PALLA RIPARTE A UNA VELOCITÀ DIVERSA DA QUELLA CHE AVEVA PRIMA DELL'IMPATTO.

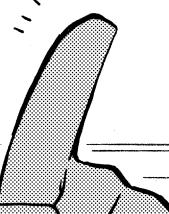
LA QUANTITÀ DI MOTO È CAMBIATA.

STUDIAMO LA VARIAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO USANDO IL SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA.

AH, MI SA
CHE ME LO
RICORDO.
DICE COSÌ:

$$F = ma$$

FORZA = MASSA × ACCELERAZIONE



GIUSTO, E SAI CHE
L'ACCELERAZIONE
È SEMPLICEMENTE
LA VARIAZIONE DI
VELOCITÀ DIVISA
PER IL TEMPO.
QUINDI...



SE
L'ACCELERAZIONE
È COSTANTE,
LA POSSIAMO
INSERIRE NEL
SECONDO PRINCIPIO,
OTTENENDO



$$\text{FORZA} = \text{MASSA} \times \frac{\text{VARIAZIONE DI VELOCITÀ}}{\text{TEMPO}}$$

CIOÈ

$$F = m \times \frac{(v_2 - v_1)}{t}$$

VEDIAMO...
QUINDI VUOL
DIRE...



FLIP

SE LO
MODIFICHIAMO LIEVE-
MENTE (MOLTIPLICANDO
I DUE MEMBRI PER t),
OTTENIAMO QUESTO.

VEDI LA
DIFFERENZA?

$$\text{MASSA} \times \text{VARIAZIONE DI VELOCITÀ} = \text{FORZA} \times \text{TEMPO}$$

$$m \times (v_2 - v_1) = Ft$$



E CHE CI
GUADAGNIAMO?

SAPPIAMO CHE
LA QUANTITÀ DI MOTO È
LA MASSA MOLTIPLICATA
PER LA VELOCITÀ.

QUINDI LA MASSA PER
LA VARIAZIONE DI VELOCITÀ
È SEMPLICEMENTE LA
VARIAZIONE DELLA QUANTITÀ
DI MOTO, SE LA MASSA m È
COSTANTE.

CAPISCO.

RIGUARDIAMO QUESTA
UGUAGLIANZA, E
QUESTA VOLTA
Sviluppiamo il
PRODOTTO AL PRIMO
MEMBRO.

VARIAZIONE
QUANTITÀ DI MOTO = FORZA X TEMPO
 $mv_2 - mv_1 = Ft$

CAPISCO:
LA VARIAZIONE DI
QUANTITÀ DI MOTO
È UGUALE ALLA FORZA
APPLICATA SULL'OGGETTO,
MOLTIPLICATA PER
IL TEMPO.

SÌ, E LA FORZA
MOLTIPLICATA
PER IL TEMPO
SI CHIAMA IMPULSO.

L'IMPULSO FA VARIARE
LA QUANTITÀ DI MOTO
DI UN OGGETTO.

NEL MOMENTO IN CUI LA
PALLA È IN CONTATTO CON
LA RACCHETTA, LA SUA
QUANTITÀ DI MOTO CAMBIA. È
QUESTA LA FORZA CHE SENTI
SUL BRACCIO.

A-HA!

ESAMINIAMO LA SITUAZIONE PIÙ NEL DETTAGLIO.

CHIAMIAMO LA MASSA DELLA PALLA m , LA VELOCITÀ DELLA PALLA PRIMA DI COLPIRE LA RACCHETTA v_1 , E DOPO AVERLA COLPITA v_2 .

QUANTITÀ DI MOTO PRIMA DEL COLPO: mv_1

LA FORZA ESERCITATA DALLA RACCHETTA È F E IL TEMPO PER CUI PALLA RACCHETTA SONO IN CONTATTO È t .

QUANTITÀ DI MOTO DOPO IL COLPO:
 mv_2

FORZA DALLA RACCHETTA: F

DURATA DEL CONTATTO: t

PRIMA DEL COLPO

MOMENTO DEL COLPO

DOPO IL COLPO

CALCOLIAMO LA QUANTITÀ DI MOTO DELLA PALLA PRIMA E DOPO CHE HA COLPITO LA RACCHETTA.

LA FOLLA ESULTA!

HHHHHAAAAAAA/
HHHHHAAAAAAA/

EHI, MI STAI ASCOLTANDO, NINOMIYA-SAN?

CHE...? SÌ, TI ASCOLTO. LA QUANTITÀ DI MOTO DELLA PALLA, CERTO.

$p = mv$, COME
SAPPIAMO,
E QUINDI

UHM...

LA QUANTITÀ DI MOTO
(p) DELLA PALLA
PRIMA DI COLPIRE LA
RACCHETTA È mv_1 .

E QUELLA DOPO
AVERLA COLPITA
È mv_2 ... QUINDI
LA VARIAZIONE È
UGUALE A $mv_2 - mv_1$,
GIUSTO?

PERFETTO!

L'IMPULSO
È DATO DA Ft .

$$mv_2 - mv_1 = Ft$$

E OTTENIAMO
QUESTA
UGUAGLIANZA
PERCHÉ SAPPIAMO
CHE...

LA VARIAZIONE
DELLA QUANTITÀ DI
MOTO È UGUALE
ALL'IMPULSO.

IN REALTÀ QUESTA
ESPRESSIONE NON È ALTRO
CHE UN DIVERSO MODO
DI SCRIVERE IL SECONDO
PRINCIPIO DELLA DINAMICA,
 $F = ma$.

AH SÌ?

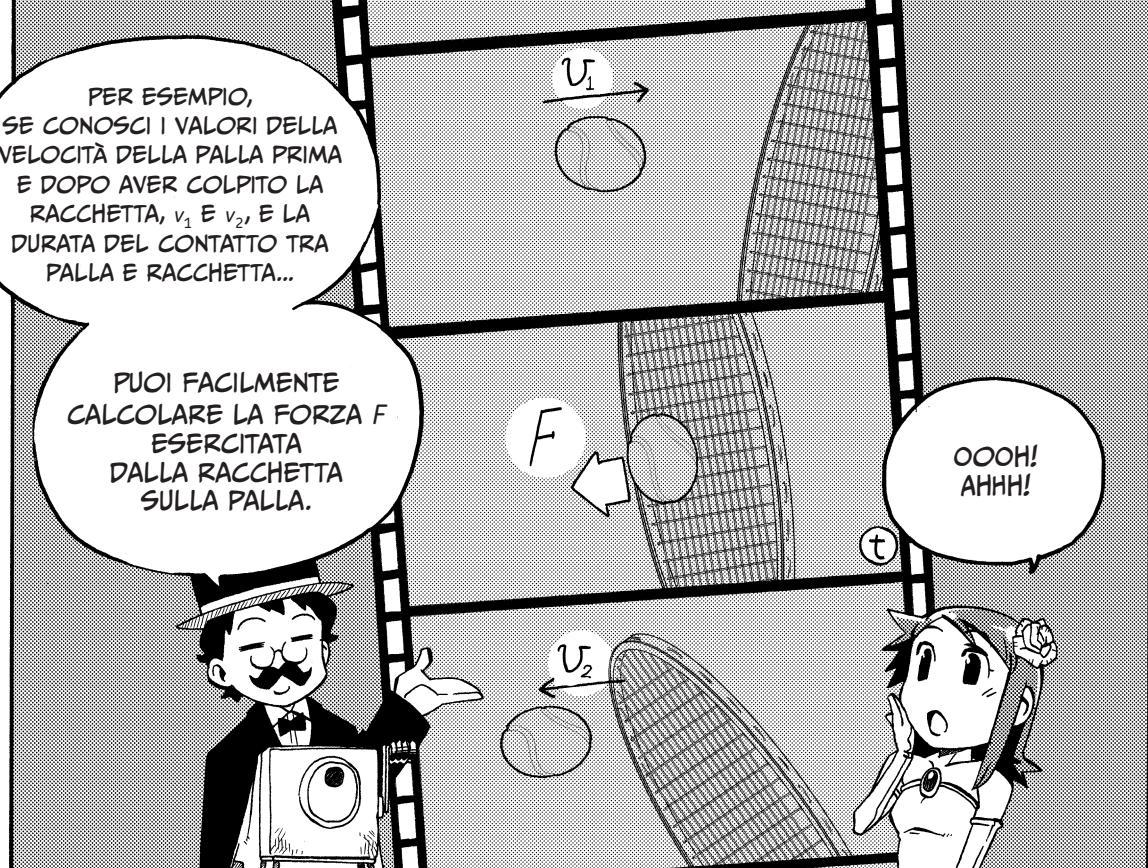
$$F = ma$$

$$mv_2 - mv_1 = Ft$$

MA È MOLTO UTILE
QUANDO VOGLIAMO
TROVARE LA VARIAZIONE
DELLA QUANTITÀ DI MOTO
PROVOCATA DA UNA FORZA
NOTA, OPPURE TROVARE LA
FORZA CORRISPONDENTE
A UNA VARIAZIONE NOTA
DI QUANTITÀ DI MOTO.

PER ESEMPIO,
SE CONOSCI I VALORI DELLA
VELOCITÀ DELLA PALLA PRIMA
E DOPO AVER COLPITO LA
RACCHETTA, v_1 E v_2 , E LA
DURATA DEL CONTATTO TRA
PALLA E RACCHETTA...

PUOI FACILMENTE
CALCOLARE LA FORZA F
ESERCITATA
DALLA RACCHETTA
SULLA PALLA.



LABORATORIO

TROVARE LA QUANTITÀ DI MOTO DI UN COLPO



Analizziamo concretamente questa situazione, Ninomiya-san, e calcoliamo la forza che eserciti sulla palla. Durante il tuo incontro con Sayaka ho filmato i tuoi movimenti con una telecamera ad alta velocità. Analizzeremo uno scambio in cui hai risposto a un suo smash.



Rieccoci. Un altro scenario ipotetico.



No, questa volta ho davvero filmato l'incontro.



Che diavolo...?



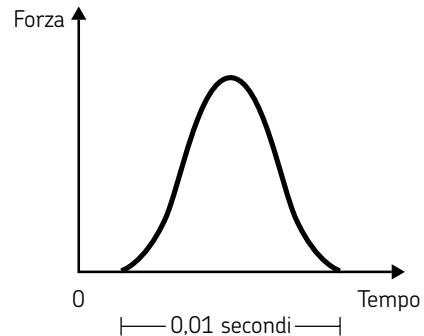
Solo in nome della scienza. Ho analizzato le immagini e ho scoperto che la velocità della palla quando ha colpito la racchetta era di circa 100 km/h, e che l'hai respinta a circa 80 km/h. E ho misurato la durata del contatto della palla con la tua racchetta: era di un centesimo di secondo.



E quindi abbiamo tutti i numeri che ci servono!



Usando questi valori possiamo trovare il modulo della forza che la tua racchetta ha esercitato sulla palla. Ma in realtà non è così semplice. Un grafico della forza nel corso del tempo ha questo aspetto.

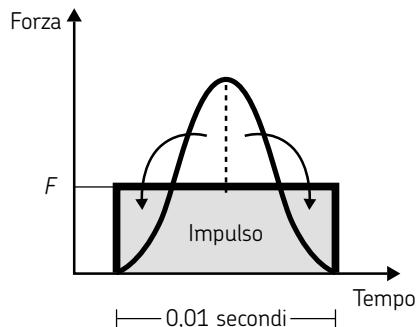




In questo esempio, però, prenderò un valore medio di F .



Così i calcoli sono molto più semplici.



Per prima cosa, calcoliamo la quantità di moto della palla prima che tu la colpisca. La massa della palla è 0,06 kg. La velocità è -100 km/h, vista nella direzione della risposta. Dato che 1 km = 1000 m e 1 ora = 3600 secondi, convertiamo la velocità in metri al secondo (m/s) come segue:

$1 \text{ km/h} = 1000 \text{ m} / 3600 \text{ s}$. Il calcolo ci dà:

$$\frac{-100 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = -27,8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p = mv$$

$$p = 0,06 \text{ kg} \times -27,8 \text{ m/s}$$

$$p = -1,7 \text{ kg} \times \text{m/s}$$



Adesso conosciamo la quantità di moto iniziale della palla. È un po' strano che il valore sia negativo, ma penso che serva solo a indicare la direzione rispetto al mio punto di vista.



Ora calcoliamo la quantità di moto della palla dopo che l'hai colpita. Dato che la velocità della palla in quel punto è 80 km/h, e il suo verso è positivo, il risultato è il seguente:

$$\frac{80 \text{ km}}{\text{h}} \times \frac{1000 \text{ m}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 22,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$p = mv$$

$$p = 0,06 \text{ kg} \times 22,2 \text{ m/s}$$

$$p = 1,3 \text{ kg} \times \text{m/s}$$



Adesso possiamo scoprire la differenza tra questi due valori.



La variazione della quantità di moto si può calcolare così:

$$1,3 \text{ kg} \times \text{m/s} - (-1,7 \text{ kg} \times \text{m/s}) = 3,0 \text{ kg} \times \text{m/s} = \Delta p$$

Questo, quindi, è di quanto varia la quantità di moto della palla. E dato che la forza ci agiva per 0,01 secondi possiamo calcolarla usando l'uguaglianza:

$$\Delta p = Ft \quad \text{cioè} \quad \frac{\Delta p}{t} = F$$



Nel nostro esempio significa $(3,0 \text{ kg} \times \text{m/s}) / 0,01 \text{ s} = 300 \text{ N}$. Scommetto che questa è la forza sulla mia racchetta.



Proprio così. Dato che probabilmente non sai che sensazione dà un newton, scopriamo a che cosa equivale in termini di forza generata da un peso di 1 kg, ponendo che 1 kg sia uguale circa a 9,8 N:

$$300\text{N} \times \frac{1 \text{ kg}}{9,8 \text{ N}} = 30,6 \text{ kg}$$

Ma perché la forza generata da un chilogrammo è 9,8 newton...? Aspetta, forse ho capito. L'abbiamo già visto... $F = ma$. E l'accelerazione dovuta alla gravità è $9,8 \text{ m/s}^2$.



È un bel po' di peso da sollevare!



Be', ricorda che la forza di gravità è costante, mentre questa è istantanea. E poi usi i muscoli in modo molto diverso, in un'altra direzione.



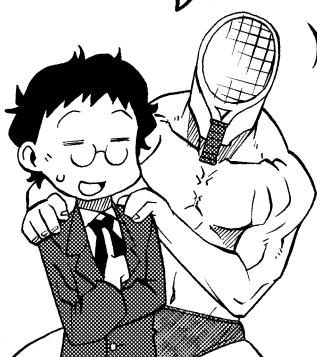
LA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO

IL TERZO PRINCIPIO DELLA DINAMICA È LA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO



CAPISCO CHE UNA PALLA HA UNA QUANTITÀ DI MOTO, MA NON MI È CHIARO... DOVE VA A FINIRE LA QUANTITÀ DI MOTO PERSA DALLA PALLA?

ESAMINIAMOLO NEL DETTAGLIO.



DI NUOVO QUEL TIZIO STRANO!

OGNI VOLTA CHE DUE OGGETTI ESERCITANO UNA FORZA L'UNO SULL'ALTRO SI SCAMBIANO QUANTITÀ DI MOTO! NON SOLO QUANDO COLPISCI UNA PALLA!

E INOLTRE LA SOMMA DEGLI SCAMBI DI QUANTITÀ DI MOTO È COSTANTE E PREVEDIBILE.

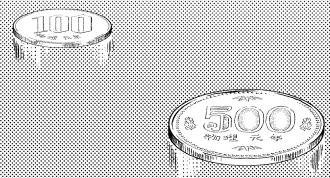
QUINDI...

ECCO COME FUNZIONA: TUTTA LA QUANTITÀ DI MOTO PERSA DALLA PALLA VIENE TRASFERITA ALLA RACCHETTA.

VUOI DIRE CHE LA QUANTITÀ DI MOTO COMPLESSIVA NON CAMBIA?

VEDIAMOLO
FACENDO
UN ESEMPIO
SEMPLICE.

ECCO UNA
MONETA DA 100
YEN E UNA DA
500 YEN.



PER PIACERE,
COLPISCI LA
MONETA DA 500
YEN CON QUELLA
DA 100.

BENE...
CI PROVO.

VAI!

CLINK

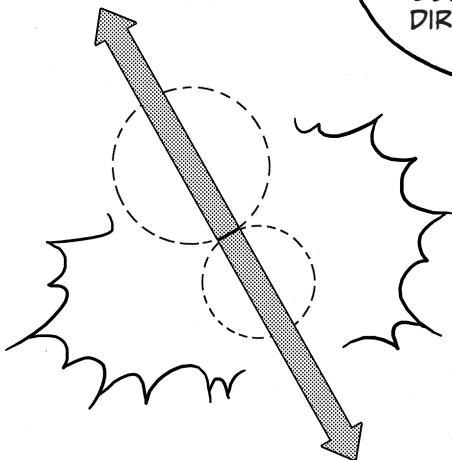
FICK

LA MONETA
DA 500 YEN SI È
SPOSTATA IN AVANTI,
MENTRE LA VELOCITÀ
DI QUELLA DA 100 YEN
HA INVERTITO
LA DIREZIONE.



SUCCEDE
PERCHÉ LA MONETA
DA 100 YEN HA PERSO
QUANTITÀ DI MOTO
QUANDO HA COLPITO
L'ALTRA, GIUSTO?

FORZA DALLA
MONETA DA 100 YEN
A QUELLA DA 500 YEN.



QUANDO UN OGGETTO
NE COLPISCE UN ALTRO,
SAPPiamo CHE LE DUE
FORZE IN GIOCO DEVONO
ESSERE UGUALI E IN
DIREZIONI OPPOSTE.
È IL TERZO PRINCIPIO
DELLA DINAMICA,
QUELLO
DI AZIONE E
REAZIONE.

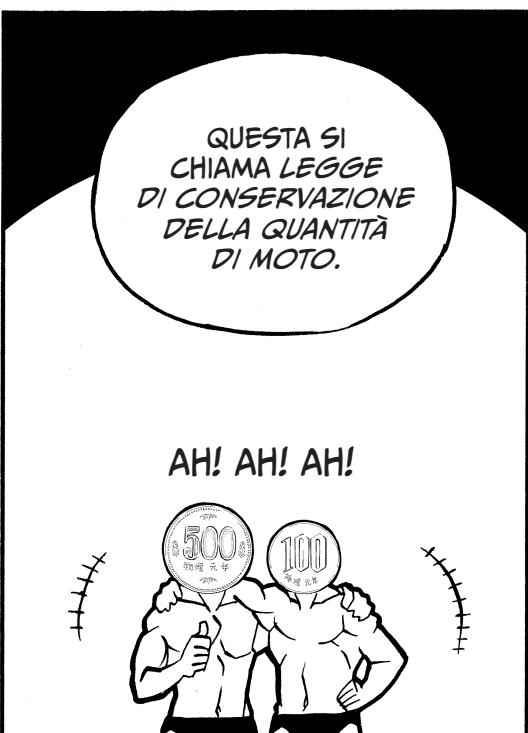
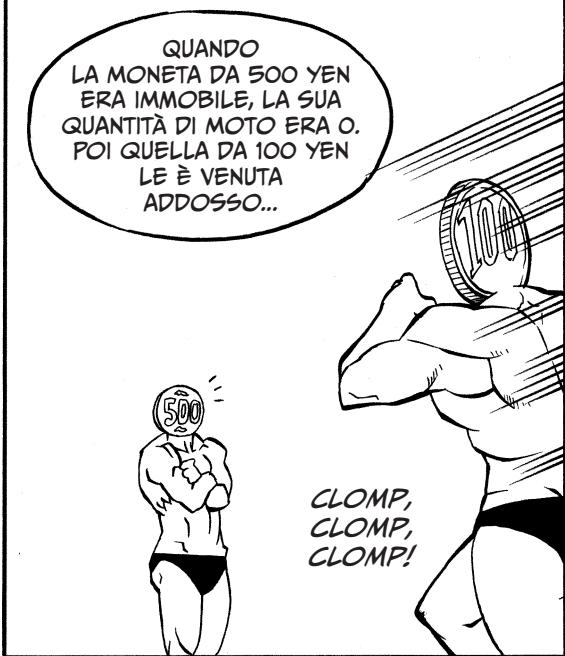
AH, ANCORA NEWTON!

DATO CHE LA VARIAZIONE
DI QUANTITÀ DI MOTO È
UGUALE ALLA FORZA
PER IL TEMPO ($\Delta p = Ft$), LA
VARIAZIONE DELLA QUANTITÀ
DI MOTO DEVE ESSERE
UGUALE PER ENTRAMBI
GLI OGGETTI.

IN ALTRE
PAROLE...

LA SOMMA DELLA
VARIAZIONE DI QUANTITÀ
DI MOTO DELLA
MONETA DA 100 YEN E
DI QUELLA DELLA MONETA
DA 500 YEN DEVE
ESSERE UGUALE A ZERO!
($\Delta p_{100} + \Delta p_{500} = 0$)

$$\uparrow + \downarrow = 0$$



BENE, PRENDIAMO LA REGOLA CHE DICE CHE LA QUANTITÀ DI MOTO SI CONSERVA.

PRIMA,
LEGGILA AD ALTA VOCE.

Variazione della quantità di moto della moneta da 100 yen
= Quantità di moto dopo la collisione - quantità di moto iniziale

Questo, a sua volta, deve controbilanciare:

Variazione della quantità di moto della moneta da 500 yen
= Quantità di moto dopo la collisione - quantità di moto iniziale

MM-HMM.

DATO CHE LA SOMMA DELLE VARIAZIONI DEVE ESSERE UGUALE A ZERO, VALE QUANTO SEGUE:

$$\Delta p_{100} + \Delta p_{500} = 0$$

$$(m\bar{v}_2 - m\bar{v}_1) + (M\bar{V}_2 - M\bar{V}_1) = 0$$

CAPISCO.

RISCRIVIAMO ANCORA IN UN ALTRO MODO, E OTTENIAMO

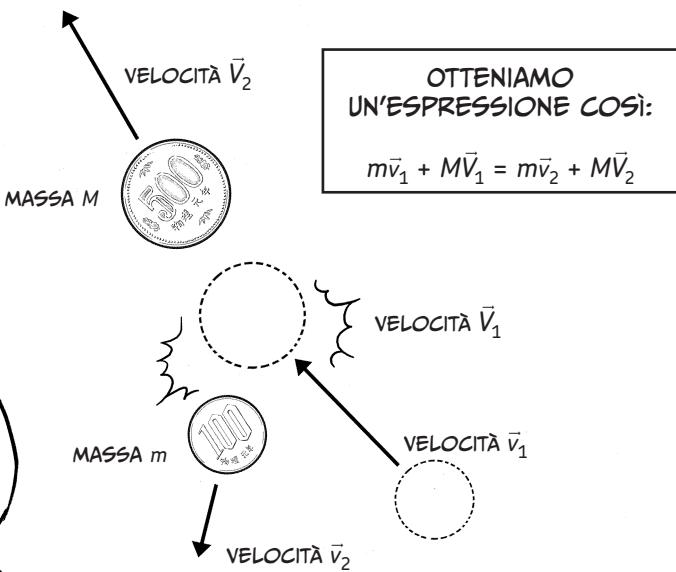
$$m\bar{v}_1 + M\bar{V}_1 = m\bar{v}_2 + M\bar{V}_2$$

Quantità di moto iniziale = Quantità di moto finale

SCRITTO A PAROLE CONFONDE UN PO'!

PONIAMO CHE LA MASSA DELLA MONETA DA 100 YEN SIA m E QUELLA DELLA MONETA DA 500 YEN SIA M . INDICHIAMO LA VELOCITÀ DELLA PRIMA MONETA CON v_1 E QUELLA DELLA SECONDA CON v .

COME PRIMA, INDICHEREMO LE VELOCITÀ INIZIALI E FINALI CON v_1 E v_2 E V_1 E V_2 , RISPECTIVAMENTE.



INOLTRE SAPPIAMO CHE $v_1 = 0$, PERCHÉ LA MONETA DA 500 YEN ERA IMMOBILE, E QUINDI POSSIAMO SEMPLIFICARE ULTERIORMENTE L'UGUAGLIANZA COSÌ:

$$m\vec{v}_1 = m\vec{v}_2 + M\vec{V}_2$$

AH,
È CHIARISSIMO!

LA QUANTITÀ DI MOTO COMPLESSIVA DEL SISTEMA È UGUALE PRIMA E DOPO LA COLLISIONE. NON AUMENTA NÉ DIMINUISCE!

QUANTITÀ DI MOTO COMPLESSIVA

INFATTI.

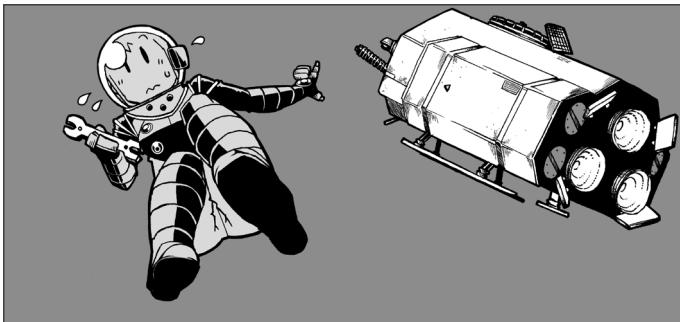
ADESSO CONOSCI UN'APPLICAZIONE SPECIFICA DEL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE.

È LA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO.



LABORATORIO

GLI ASTRONAUTI E LA CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO



Per vedere un altro esempio della conservazione della quantità di moto, pensiamo a quello che succede nello spazio.



Cos'è, una storia di fantascienza?



Ninomiya-san, immagina di essere un'astronauta. Mentre fai una riparazione fuori dal tuo veicolo spaziale, il cavo di sicurezza si stacca e tu cominci a fluttuare via dalla navetta. Hai in mano solo la chiave che stavi usando per la riparazione. Come fai a tornare indietro verso la navetta?



Magari nuotando.



Oh... Ah ah ah, è impossibile "nuotare" nel vuoto. Ricorda il primo principio della dinamica: un oggetto immobile rimane tale se non gli si applica una forza. Per quanto tu muova energicamente braccia e gambe, non hai niente contro cui spingerti. Ruoteresti attorno al tuo centro di gravità dimenando gli arti.



Oh no! Si mette veramente male!



Non ti disperare! Ti può salvare la tua conoscenza della fisica. Hai la chiave, ricordi? Lanciala nella direzione opposta a quella in cui si trova la navetta. Grazie alla conservazione della quantità di moto, ti sposterai.



Davvero? Ce la farò?



Per verificare che funziona, immaginiamo che tu sia immobile nello spazio. Chiamiamo m la massa della chiave e supponiamo che la scagli via da te a velocità v . La tua massa e la tua velocità dopo il lancio sono M e V .



Dato che all'inizio la mia quantità di moto è nulla, anche la somma delle due quantità di moto, dopo, dev'essere zero, no?



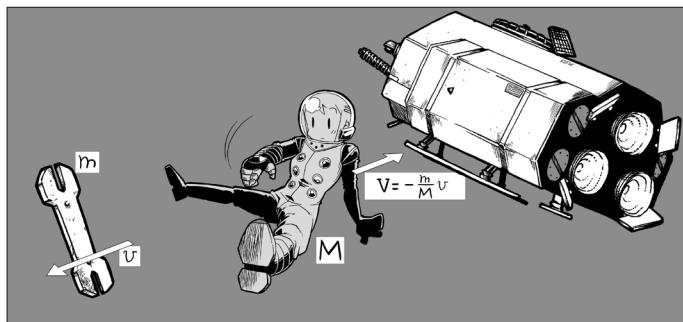
Precisamente! Data la legge di conservazione della quantità di moto, la somma delle quantità di moto dei due oggetti sarà zero. Se lo scriviamo in una formula, otteniamo:

$$mv + MV = 0$$

Per trovare V , cioè la velocità con cui torni verso la navetta, riscriviamola così:

$$V = -\frac{m}{M} \times v$$

Questo valore è negativo perché indica che il tuo movimento è in direzione opposta a quella della chiave.





Vedi perché ti conviene tirare la chiave più forte possibile? Maggiore è *v* e maggiore è anche *V*.



Già, ha senso.



Assegniamo dei valori numerici e proviamo a prevedere come vanno le cose. Diciamo che la chiave ha una massa di 1 kg e che tu, con addosso la pesante tuta spaziale, hai una massa di 60 kg. Assumendo che la chiave venga scagliata a una velocità di 30 m/h, otteniamo:

$$V = - \frac{1 \text{ kg}}{60 \text{ kg}} \times 30 \text{ km/h} = -0,5 \text{ km/h}$$

Ecco quindi la velocità con cui torni all'astronave.



Diciamo che ho un'intera cassetta di attrezzi. Se li lancio uno dopo l'altro, vado più veloce?



È un'ottima idea. Sì, in questo modo andresti via via più veloce. Anzi, in sostanza è proprio il modo in cui si muove un razzo: i gas di scarico che espelle dal fondo sono l'equivalente di un oggetto lanciato via.



Accipicchia, non l'avevo mai pensata così.



Un razzo può continuare ad accelerare emettendo in continuazione gas. Finché brucia carburante per alimentare i gas, il razzo accelera. Quando smette, la sua velocità diventa costante.

L'IMPULSO NELLA VITA DI TUTTI I GIORNI



LA VARIAZIONE DELLA TUA QUANTITÀ DI MOTO È FISSA: NON PUOI CAMBIARLA. PUOI PERÒ RIDURRE LA FORZA DEL SUOLO SUL TUO CORPO.

FAI IN MODO CHE IL TEMPO IN CUI RICEVI LA FORZA DAL SUOLO SIA PIÙ LUNGO POSSIBILE.

TIME
SEMPLE.
SEMPLE.

DAVERO?
E COME FACCIO?

APPLICANDO IL PRINCIPIO PER CUI $\Delta p =$ IMPULSO, OTTENIAMO CHE LA VARIAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO ($m \times \Delta v$) È UGUALE ALLA FORZA PER IL TEMPO. IN QUESTO CASO IL TEMPO È QUELLO DURANTE IL QUALE RICEVI LA FORZA.

POSSIAMO RISCRIVERE LA FORMULA COME:

$$F = \frac{m \times \Delta v}{t}$$

QUINDI PIÙ È GRANDE t E PIÙ È PICCOLA LA F CHE RICEVI.

HO CAPITO!



SUPPONIAMO CHE IL TEMPO NEL CORSO DEL QUALE RICEVI UNA FORZA CHE TI FERMA AUMENTI DA 0,1 A 1 SECONDO, GRAZIE AL MATERASSO.

GRAZIE A QUESTA PICCOLA DIFFERENZA, LA NUOVA FORZA È APPENA UN DECIMO DI QUELLA INIZIALE.

HAI STABILITO UN NUOVO RECORD!

I GATTI ATERRANO SENZA FARSI MALE QUANDO SALTANO DALL'ALTO. FORSE È IL LORO CORPO FLESSIBILE CHE AIUTA A PROLUNGARE LA DURATA DELL'IMPATTO.

GIUSTO. VISTO CHE IL GATTO FLETTE LE ZAMPE, IL TEMPO NEL CORSO DEL QUALE IL SUO CORPO RICEVE LA FORZA AUMENTA LIEVEMENTE. MA COSÌ LA FORZA DELL'IMPATTO CON IL SUOLO DIMINUISCE DI MOLTO.

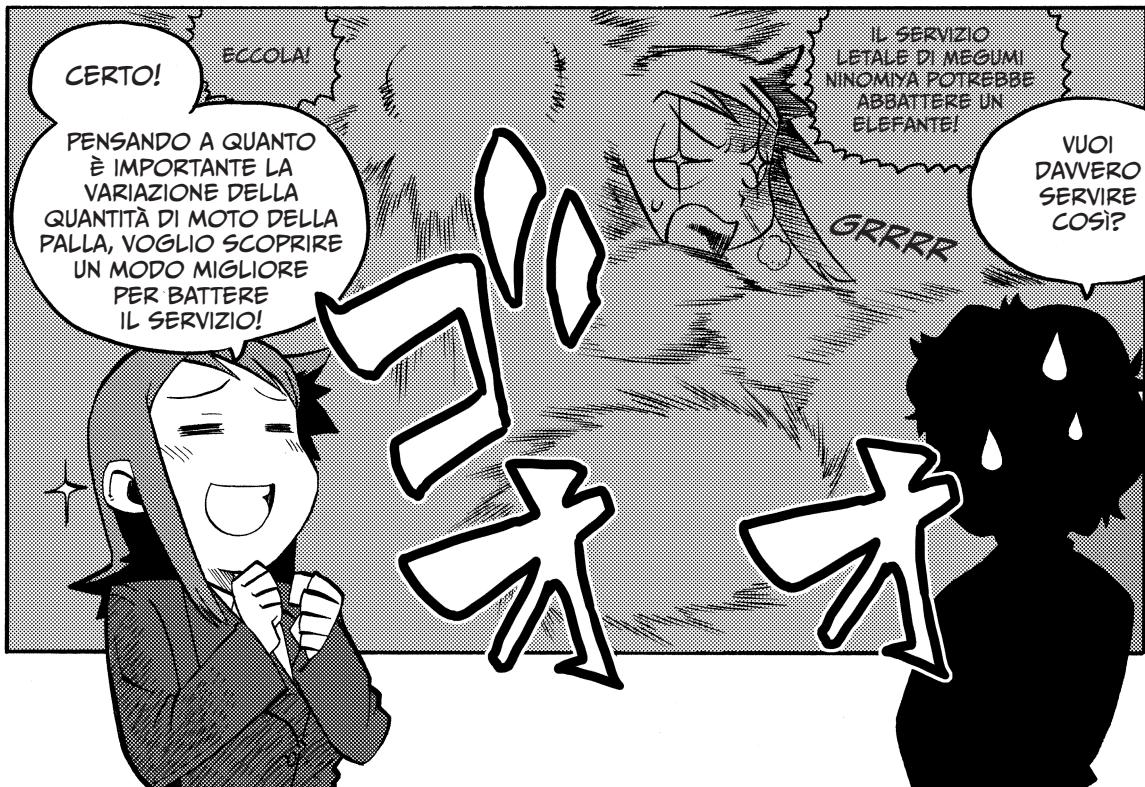
RAGIONANDO COSÌ...



LA FISICA SI PUÒ APPLICARE A MOLTE SITUAZIONI DELLA VITA VERA.

E ORA...

COME MIGLIORARE
IL SERVIZIO DI MEGUMI



BE', IN TAL CASO
PARLIAMO DELLA
TUA PARTITA CON
SAYAKA. MI SEMBRA
CHE ABBIATE UGUALE
ABILITÀ E ANCHE
UGUALE FORZA
FISICA.

MA KODA-SAN,
QUANDO SERVE, USA
LA SPINTA DI TUTTO
IL CORPO. IL SUO
SERVIZIO È MOLTO
PIÙ POTENTE
DEL TUO.

VUOI DIRE
CHE NON SONO
BRAVA QUANTO
SAYAKA?

DICO SOLO
CHE È UN ASPECTO
DA MIGLIORARE.
OUCH!

D'ACCORDO.
ESAMINIAMO IL MIO
SERVIZIO DAL PUNTO
DI VISTA DELLA
MECCANICA.

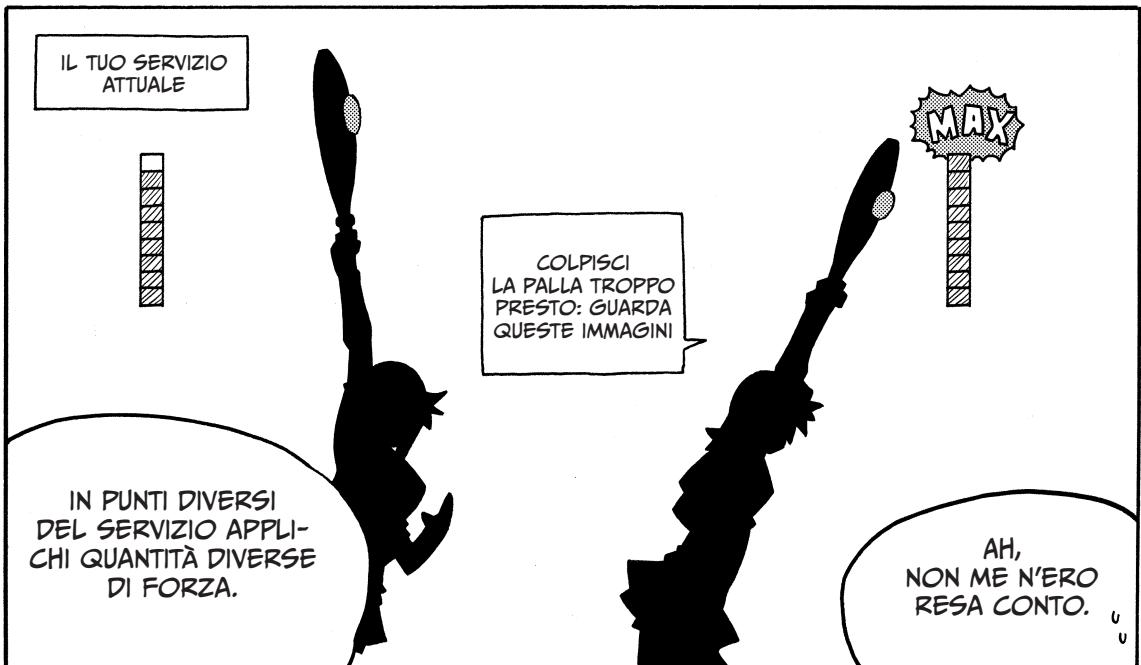
BUONA IDEA.

PUFF
PUFF
PUFF

ALLORA, SAPPIAMO CHE
LA VARIAZIONE DELLA
QUANTITÀ DI MOTO È UGUALE
ALLA FORZA MOLTIPLICATA
PER IL TEMPO, E QUINDI
UN'IDEA PER MIGLIORARE
IL TUO SERVIZIO...

È QUELLA DI
APPLICARE UNA
FORZA ALLA PALLA
PER IL TEMPO PIÙ
LUNGO POSSIBILE.

CI DICONO
SEMPRE DI
COLPIRE LA
PALLA CON TUTTA
L'ENERGIA CHE
ABBIAIMO!

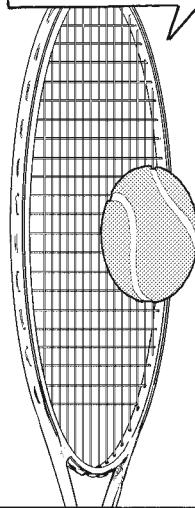


QUINDI, SE DIVENTI PIÙ FLESSIBILE E COLPISCI LA PALLA AL MOMENTO GIUSTO, PUOI MASSIMIZZARE LA FORZA CHE ESERCITI SULLA PALLA E LA DURATA DELL'IMPATTO.



ANCHE ASPETTARE UN ATTIMO IN PIÙ PRIMA DI COLPIRE LA PALLA AIUTA MOLTO.

COLPISCI LA PALLA COME IN UNO SMASH ALTO E CERCA DI ESTENDERE LA DURATA DELL'IMPATTO. È PER QUESTO CHE SI DICE DI "ACCOMPAGNARE" I COLPI.



OVVIAMENTE IL TENNIS È UN GIOCO COMPLICATO, E NON POSSIAMO DESCRIVERE TUTTO IN MODO COSÌ SEMPLICE...

COMUNQUE IL PRINCIPIO CHE VARIAZIONE DI QUANTITÀ DI MOTO = IMPULSO SPIEGA COME SI MUOVE LA PALLA.

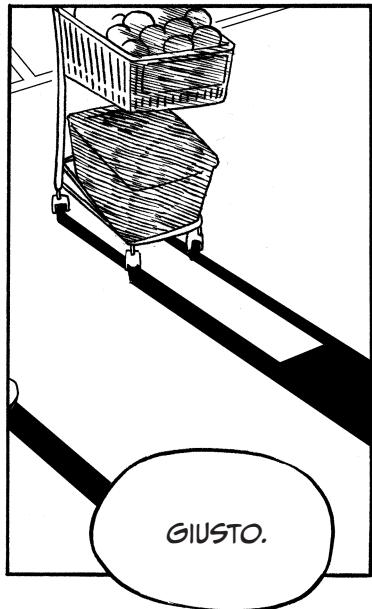
GIA.

E, A PARTE LA FISICA CHE C'È DIETRO, DEVI AVERE IL SENSO DEL GIOCO PER TUTTO IL TEMPO...

PERSONALMENTE,
NON CREDO DI AVERE
LA COORDINAZIONE
NECESSARIA. MA PENSO
CHE TU CE L'ABBIA,
NINOMIYA-SAN...

MI FA PIACERE
SENTIRTELLO DIRE!
GRAZIE... RYOTA!





QUANTITÀ DI MOTO E IMPULSO



La quantità di moto è una grandezza che rappresenta l'entità e l'orientamento del moto di un oggetto. Se un oggetto di massa m e velocità \vec{v} ha quantità di moto \vec{p} , la relazione tra queste grandezze si può scrivere così:

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

Dato che la velocità è un vettore, lo è anche la quantità di moto, che per un oggetto avrà la stessa direzione della velocità.

Come abbiamo detto nel Capitolo 2, un oggetto in moto non ha una forza al suo interno, ma ha una quantità di moto. Questa varia via via che vengono esercitate delle forze; una variazione della quantità di moto è detta *impulso*. Troviamo quindi la relazione fra la quantità di moto e l'impulso, partendo dal secondo principio della dinamica.

Pensiamo a una palla di massa m che colpisce una racchetta e chiamiamo \vec{v}_1 la velocità della palla prima dell'urto e \vec{v}_2 la velocità dopo l'urto. Chiamiamo inoltre \vec{F} la forza esercitata dalla palla sulla racchetta.

Dato il secondo principio della dinamica,

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

la palla riceve l'accelerazione \vec{a} . In generale, la forza \vec{F} non è costante, ma qui supporremo che sia costante e abbia come valore la sua media (vedi pagina 118). Se assumiamo che \vec{F} sia costante, allora lo è anche l'accelerazione \vec{a} . Se indichiamo con t la durata del tempo per cui la palla riceve una forza dalla racchetta, l'accelerazione \vec{a} si può esprimere come segue:

$$\vec{a} = \frac{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{t}$$

Possiamo inserire questo valore di \vec{a} nel secondo principio:

$$\vec{F} = m \times \frac{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{t}$$

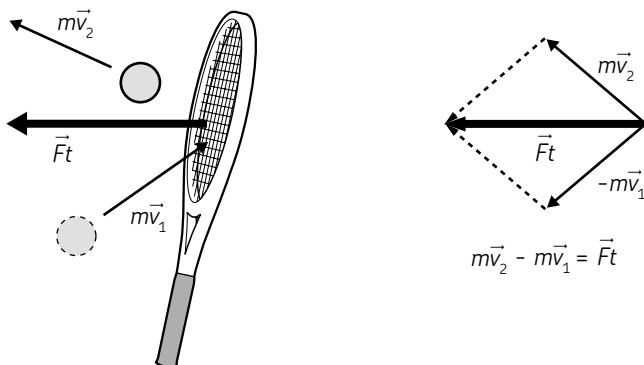
Se moltiplichiamo entrambi i membri per t , otteniamo:

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}t$$

L'espressione $m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$ rappresenta la variazione di quantità di moto dell'oggetto. Se indichiamo con \vec{I} l'impulso, vale la seguente relazione:

variazione di quantità di moto = impulso

Osserviamo che la quantità di moto $m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1$ e l'impulso $\vec{F}t$ seguono la regola per comporre i vettori, come mostra questa figura.



Dal modo in cui abbiamo ricavato questa uguaglianza, vediamo che l'espressione della relazione fra la quantità di moto e l'impulso è un'applicazione del secondo principio della dinamica in una situazione in cui la forza è costante. Quando a pagina 115 ho detto che l'espressione dell'impulso "non è altro che un diverso modo di scrivere il secondo principio della dinamica", intendeva proprio questo.

L'IMPULSO E LA QUANTITÀ DI MOTO NELLA VITA QUOTIDIANA

Come abbiamo visto a pagina 129, la relazione fra la variazione di quantità di moto e l'impulso è utile quando vogliamo capire come ridurre l'impatto di una collisione.

Per minimizzare la forza esercitata su un oggetto mentre esso è in moto fino al momento in cui si ferma, dobbiamo massimizzare la durata della collisione, per via della seguente relazione:

$$\text{variazione della quantità di moto} = \text{forza esercitata} \times \text{durata dell'applicazione della forza}$$

Immaginiamo di saltare giù da un punto alto; subito prima di toccare terra la nostra velocità sia v . Una volta atterrati e immobili, la variazione della nostra quantità di moto è mv . (Come lo sappiamo? Be', quando siamo immobili non abbiamo alcuna quantità di moto, dato che la velocità è nulla: $m \times 0 = 0$.) Questa variazione di quantità di moto è generata dalla forza esercitata dal terreno e il nostro corpo deve sostenere l'impatto che riceve in questo modo. Se chiamiamo F questa forza e t il periodo di tempo nel corso del quale subiamo la forza, vale la seguente espressione:

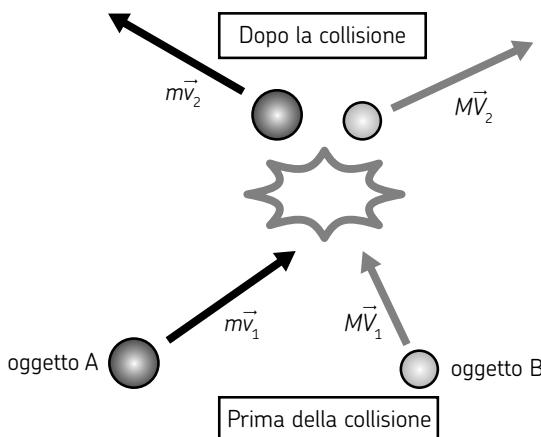
$$mv = Ft$$

Se mv è costante, F diminuisce via via che t aumenta. Per esempio, i materassi che si usano per il salto in alto sono strumenti per estendere il periodo di tempo t che passa da quando inizia il contatto del corpo con il materasso a quando la quantità di moto mv arriva a zero. Mentre il corpo sprofonda nel materasso, il saltatore continua a ricevere la forza F . Visto che Ft è costante, maggiore è il tempo t e minore è la forza F .

Nella vita quotidiana possiamo trovare ovunque esempi del fatto che una variazione nella quantità di moto è uguale all'impulso. Quando agguantiamo una palla che ci è stata

lanciata addosso, istintivamente la accompagniamo con la mano. Di fatto cerchiamo di ridurre la forza aumentando la durata del tempo fra il momento del contatto tra palla e mano e il momento in cui la palla si ferma. Analogamente, i guanti usati nel baseball o i guantoni da pugilato aumentano la durata dell'impatto e riducono la forza. *L'ukemi* (la tecnica, nel judo, per reagire agli attacchi cadendo in modo strategico), le zone di deformazione delle automobili moderne e gli airbag sono tutti pensati per ridurre l'impatto della forza che accompagna una variazione di quantità di moto, estendendo la durata della collisione. Anche le corde di sicurezza usate nelle scalate sono progettate per deformarsi quando uno scalatore cade, in modo che la durata della collisione aumenti. Così si evita anche che l'addome dello scalatore sia sottoposto a una forza improvvisa. Sarebbe molto pericoloso usare una corda che non si deforma al posto di quelle speciali per le arrampicate.

RICAVIAMO LA LEGGE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO



Supponiamo che, come in questa figura, gli oggetti A e B collidano senza che intervengano forze esterne e senza che nell'impatto si dissipino alcuna quantità di moto.

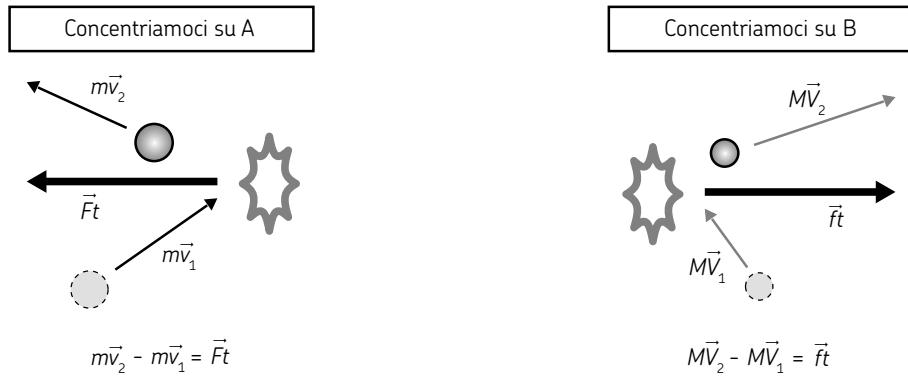
Concentriamoci prima sull'oggetto A (quello a sinistra nella figura). Chiamiamo m la massa dell'oggetto A e \vec{v}_1 e \vec{v}_2 la sua velocità prima e dopo l'urto. Indichiamo con \vec{F} la forza che l'oggetto A riceve dall'oggetto B. L'espressione che mostra che la variazione di quantità di moto è uguale all'impulso si può quindi scrivere come segue:

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{F}t$$

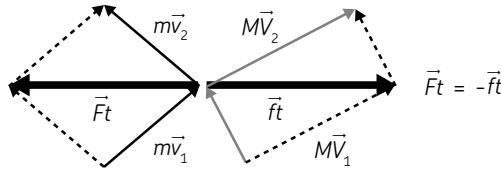
Qui t rappresenta la durata dell'urto tra A e B, e approssimiamo la forza con un valore costante. Scriviamo un'analogia espressione per l'oggetto B (quello sulla destra nella figura), di nuovo sapendo che la variazione di quantità di moto è uguale all'impulso. Chiamiamo M la massa di B, \vec{V}_1 e \vec{V}_2 la velocità prima e dopo la collisione e \vec{f} la forza che l'oggetto B riceve dall'oggetto A:

$$M\vec{V}_2 - M\vec{V}_1 = \vec{f}t$$

Osserviamo che la durata della collisione è uguale per entrambi gli oggetti: così deve essere, perché l'oggetto A non può toccare B senza che B tocchi A. Ma non sono uguali anche le due forze? Sì, è semplicemente il principio di azione e reazione: $-\vec{F} = \vec{F}$!



Variazione di quantità di moto e di impulso dei due oggetti



Se inseriamo le due precedenti espressioni che esprimono la relazione tra la variazione di quantità di moto e l'impulso nell'ultima uguaglianza otteniamo:

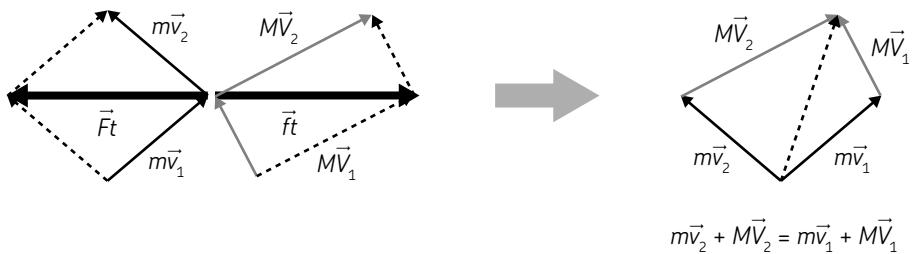
$$MV_2 - MV_1 = -(mv_2 - mv_1)$$

che è equivalente a:

$$mv_2 + MV_2 = mv_1 + MV_1$$

La quantità di moto complessiva precedente all'impatto deve essere uguale a quella successiva: è la legge di conservazione della quantità di moto che abbiamo visto a pagina 125*.

* Nel caso di una collisione fra oggetti che si muovono sulla stessa linea retta, possiamo omettere i segni di vettore.

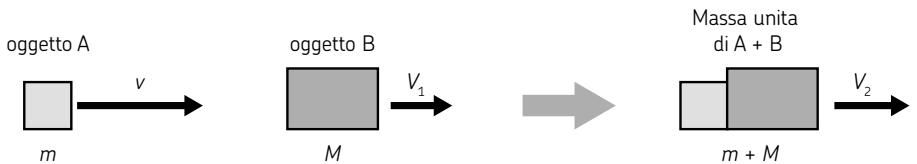


Queste uguaglianze si possono rappresentare in forma vettoriale, come nella parte sinistra della figura che precede. Possiamo disporre diversamente i vettori, come a destra, per mostrare il nesso fra il principio di azione e reazione e la variazione di quantità di moto e di impulso per i due oggetti.

URTI ELASTICI E ANELASTICI

È importante osservare che i problemi che riguardano gli urti non sempre si possono risolvere usando solo la legge di conservazione della quantità di moto. Nella vita vera dobbiamo considerare anche la dissipazione di energia cinetica e altri fattori. Dell'energia cinetica parleremo nel prossimo capitolo.

Possiamo però facilmente applicare la legge di conservazione della quantità di moto in due situazioni ideali: un urto perfettamente *elastico* e uno perfettamente *anelastico*. L'esempio visto sopra era del primo caso: due oggetti che si muovono separatamente dopo la collisione, senza aver perso energia. Pensiamo a due palline "rimbalzine" di gomma che si colpiscono; nella vita vera, le collisioni fra atomi si ritengono elastiche. Vediamo invece ora un esempio di collisione anelastica, in cui gli oggetti che collidono si uniscono a formare un unico oggetto che prosegue il movimento dopo l'impatto. Pensiamo a un placcaggio nel football americano in cui, dopo essere venuti a contatto, i due giocatori si muovono come un corpo solo.



In questo esempio assumiamo che l'oggetto A con massa m e velocità v si unisca all'oggetto B con massa M e velocità V_1 . Dopo l'unione otteniamo la seguente uguaglianza:

$$p = (m + M)V_2$$

I due oggetti, una volta uniti, hanno la velocità V_2 . Applicando la legge di conservazione della quantità di moto, otteniamo la seguente uguaglianza:

$$mv + MV_1 = (m + M)V_2$$

Quindi la velocità dopo che gli oggetti si sono uniti è data da:

$$\frac{mv + MV_1}{m + M} = V_2$$

UNITÀ DI MISURA DELLA QUANTITÀ DI MOTO

Ragioniamo sull'unità di misura da usare per la quantità di moto. Ricordiamo che la forza si misura in newton (N); per la quantità di moto, invece, non si usa un'unità apposita. Dall'ugualanza quantità di moto = massa \times velocità, possiamo però trovare che:

$$\begin{aligned}\text{unità di misura della quantità di moto} &= \text{unità della massa} \times \text{unità} \\ &\text{della velocità} = (\text{kg}) \times (\text{m/s}) = (\text{kg} \times \text{m/s})\end{aligned}$$

Possiamo anche usare il fatto che la variazione di quantità di moto è uguale all'impulso per determinare l'unità di misura della quantità di moto, che sarà quindi la stessa dell'impulso. Quindi dev'essere vera anche questa espressione:

$$\begin{aligned}\text{unità di misura della quantità di moto} &= \text{unità dell'impulso} = \text{unità della} \\ &\text{forza} \times \text{unità del tempo} = (\text{N}) \times (\text{s}) = (\text{N} \times \text{s})\end{aligned}$$

Sembra diversa dall'altra unità che abbiamo appena calcolato, kg \times m/s. Però, ricordando che N = kg \times m/s², troviamo:

$$(\text{kg} \times \text{m/s}^2) \times (\text{s}) = (\text{kg} \times \text{m/s})$$

Perciò le due unità sono identiche. Abbiamo quindi appreso che l'unità di misura della quantità di moto è kg \times m/s, cioè N \times s.

LA LEGGE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO PER I VETTORI



Dato che la quantità di moto è una grandezza vettoriale, nella sua legge di conservazione ne dobbiamo considerare anche la direzione. In altre parole, quando si conserva la quantità di moto dobbiamo conservarne sia la direzione che il modulo. Quindi, quando varia (come nell'esempio della collisione fra monete a pagina 121), dobbiamo calcolare questa variazione scomponendo la quantità di moto nelle sue componenti orizzontale e vettoriale.

Immaginiamo un urto perfettamente elastico in cui l'oggetto A collide con l'oggetto immobile B, come mostrato nella prossima figura.

Indichiamo con m la massa dell'oggetto A, con \vec{v}_1 e \vec{v}_2 la sua velocità prima e dopo l'urto, con M la massa dell'oggetto B e con \vec{V} la sua velocità dopo l'urto. Prendiamo come asse delle x la direzione del vettore che rappresenta la velocità dell'oggetto A prima dell'urto e chiamiamo θ e φ gli angoli lungo cui si muovono, rispettivamente, l'oggetto A e l'oggetto B dopo la collisione; usiamo infine le notazioni $v_1 = |\vec{v}_1|$, $v_2 = |\vec{v}_2|$, $V = |\vec{V}|$.

Scomponiamo quindi le velocità nelle loro componenti, nella forma $\vec{v} = (v_x, v_y)$:

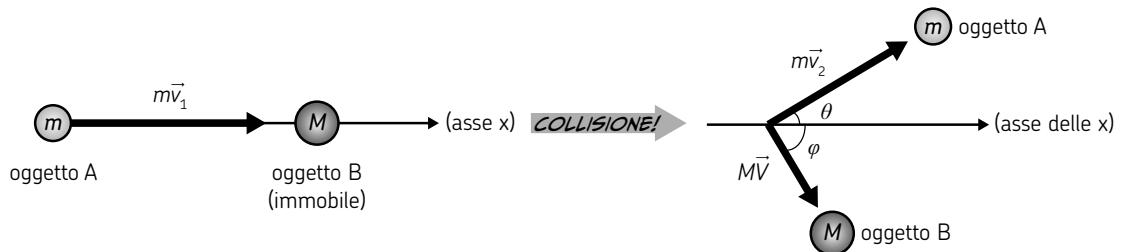
$$\vec{v}_1 = (v_1, 0), \vec{v}_2 = (v_2 \cos \theta, v_2 \sin \theta), \vec{V} = (V \cos \varphi, -V \sin \varphi)$$

A questo punto teniamo presente che la legge di conservazione della quantità di moto deve valere sia per la direzione x che per la direzione y . Inizialmente l'oggetto A ha una quantità di moto nulla nella direzione y , e quindi deve valere quanto segue:

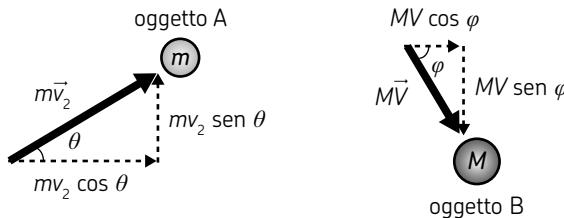
$$\text{Per la direzione } x: mv_1 = mv_2 \cos \theta + MV \cos \varphi$$

$$\text{Per la direzione } y: 0 = mv_2 \sin \theta - MV \sin \varphi$$

Quando una moneta da 100 yen collide con una da 500 yen, capita spesso che la prima rimbalzi all'indietro, cosicché $\theta > 90^\circ$ e $\cos \theta < 0$. La figura che segue mostra un esempio in cui $\theta < 90^\circ$.



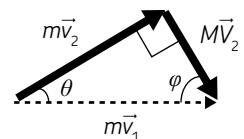
Vediamo come scomporre la quantità di moto degli oggetti in componenti orizzontale e verticale.



Se disponiamo questi vettori coda contro punta, vediamo esplicitamente quello che già sappiamo: nel sistema si è conservata la quantità di moto.

In altre parole, lungo la direzione y le quantità di moto dei due oggetti devono essere l'una l'opposta dell'altra, mentre lungo la direzione x la somma deve essere uguale a mv_1 .

Per prevedere le velocità e gli angoli a cui si muoveranno gli oggetti dopo l'urto non ci basta la legge di conservazione della quantità di moto: lo vedremo meglio nel prossimo capitolo.



IL PRINCIPIO DI AZIONE E REAZIONE VS LA LEGGE DI CONSERVAZIONE DELLA QUANTITÀ DI MOTO

**ATTENZIONE:
CALCOLO
DIFFERENZIALE
E INTEGRALE!**



Usando il calcolo differenziale e integrale possiamo ricavare la legge di conservazione della quantità di moto. Chiamiamo v e m la velocità e la massa dell'oggetto 1 e V e M quelle dell'oggetto 2. Supponiamo che sugli oggetti non agiscano forze esterne e chiamiamo $\vec{F}_{m \rightarrow M}$ la forza esercitata sull'oggetto 2 dall'oggetto 1 e $\vec{F}_{M \rightarrow m}$ la forza esercitata sull'oggetto 1 dall'oggetto 2; possiamo applicare il secondo principio della dinamica come segue:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_{M \rightarrow m} \quad \text{e} \quad M \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F}_{m \rightarrow M}$$

Inseriamo queste espressioni delle forze nella seguente formula che esprime il principio di azione e reazione:

$$\vec{F}_{M \rightarrow m} = -\vec{F}_{m \rightarrow M}$$

Otteniamo così:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -M \frac{d\vec{V}}{dt}$$

Dato che la massa è costante, quest'ultima espressione si può riscrivere così:

$$\frac{d(m\vec{v})}{dt} = -\frac{d(M\vec{V})}{dt}$$

Raccogliendo:

$$\frac{d}{dt}(m\vec{v} + M\vec{V}) = 0$$

Questa uguaglianza indica che la somma delle quantità di moto degli oggetti 1 e 2 ($m\vec{v} + M\vec{V}$) non varia nel tempo; ne possiamo ricavare la legge di conservazione della quantità di moto:

$$m\vec{v} + M\vec{V} = \text{costante}$$

Il fatto che la derivata è zero indica che la quantità di moto non varia! La legge di conservazione della quantità di moto deriva dal principio di azione e reazione e dal secondo principio della dinamica.

Possiamo usare lo stesso metodo per ricavare la conservazione della quantità di moto per tre o più oggetti.

PROPULSIONE DI UN RAZZO

Nel paragrafo di Laboratorio di pagina 126 abbiamo visto che un astronauta nello spazio si muove nella direzione opposta a quella in cui lancia un oggetto. Questo fenomeno si verifica secondo gli stessi principi che fanno funzionare la propulsione di un razzo.

Un razzo aumenta la propria velocità espellendo gas di scarico ad alta velocità dal motore, e si sposta nella direzione opposta. Vediamo in dettaglio come funziona.



Cominciamo immaginando un razzo fermo nello spazio che lancia un piccolo oggetto di massa m a velocità v . Indichiamo inoltre con M la somma delle masse dell'oggetto piccolo e del razzo, e con V_1 la velocità del razzo dopo questo lancio. Dalla legge di conservazione della quantità di moto (e sapendo che le due velocità sono in versi esattamente opposti) ricaviamo la seguente uguaglianza:

$$0 = (M - m)V_1 - mv$$

$$\textcircled{1} \quad V_1 = \frac{mv}{M - m}$$

Abbiamo esplicitato la velocità finale del razzo, V_1 . Supponiamo adesso che questo razzo lanci un altro oggetto di massa m a una *velocità relativa* (cioè rispetto al razzo) $-v$, nella stessa direzione del lancio precedente. Questa volta chiamiamo V_2 la velocità finale del razzo; osservando che la massa del razzo prima e dopo aver lanciato il secondo oggetto è rispettivamente $M - m$ e $M - 2m$, otteniamo la seguente relazione:

$$(M - m)V_1 = (M - 2m)V_2 + m(V_1 - v)$$

Notiamo che l'oggetto piccolo si muove a una velocità $V_1 - v$ poiché il razzo avanzava a velocità V_1 . Dall'ultima formula possiamo ricavare il valore di V_2 :

$$\textcircled{2} \quad V_2 = V_1 + \frac{mv}{M - 2m}$$

Inserendo in questa uguaglianza il valore di V_1 trovato prima, abbiamo:

$$V_2 = \frac{mv}{M - m} + \frac{mv}{M - 2m}$$

$$\textcircled{3} \quad V_2 = mv \left(\frac{1}{M - m} + \frac{1}{M - 2m} \right)$$

Abbiamo quindi calcolato la velocità del razzo dopo che ha lanciato due piccoli oggetti.

Un vero razzo lancia in continuazione "oggetti piccoli", e quindi ricaviamo un'espressione generale per la velocità del razzo dopo aver lanciato n oggetti; assumiamo che continui a lanciarne di massa m con velocità relativa v .



Rispetto al razzo che ha velocità V_{n-1} , l'oggetto è lanciato dal retro del razzo con velocità $-v$.

Chiamando V_n la velocità del razzo dopo aver lanciato n oggetti, la legge di conservazione della quantità di moto si esprime così:

$$[M - (n-1)m] V_{n-1} = (M - nm)V_n + m(V_{n-1} - v)$$

E quindi V_n è data da:

$$V_n = V_{n-1} + \frac{m}{M - nm} v$$

Applicando ripetutamente questa espressione, troviamo:

$$\textcircled{4} \quad V_n = \left(\frac{1}{M - m} + \dots + \frac{1}{M - nm} \right) mv = \sum_{k=1}^n \frac{m}{M - km} v$$

Un vero razzo emette in continuazione gas di scarico dai motori; adeguiamo quindi l'espressione **4** a questo caso. Assumiamo che il razzo emetta un getto di piccola massa Δm a intervalli Δt di un minuto, a velocità relativa $-v$. Chiamando t il tempo che passa da quando il razzo era immobile all' n -esima emissione del getto, si ha, $t = n\Delta t$. Indicando con $V(t)$ la funzione che descrive la velocità del razzo rispetto al tempo, trasformiamo l'espressione **4** con le sostituzioni $m \rightarrow \Delta m$ e $V_n \rightarrow V(t)$ e troviamo:

$$\textcircled{5} \quad V(t) = \sum_{k=1}^n \frac{\Delta m}{M - (\Delta m / \Delta t) (k\Delta t)} v$$

Se suddividiamo l'intervallo Δt in sottointervalli infinitamente piccoli, cioè quando $\Delta t \rightarrow 0$, possiamo trovare la somma usando il calcolo integrale*. Per lavorare con gli integrali, osserviamo le seguenti trasformazioni: n diventa ∞ e $\Delta m / \Delta t$ diventa

**ATTENZIONE:
CALCOLO
DIFFERENZIALE
E INTEGRALE!**



* L'espressione $\Delta t \rightarrow 0$ si legge "delta ti che tende a zero".

dm / dt (massa persa nell'unità di tempo, cioè massa emessa sotto forma di gas di scarico). Trasformiamo l'uguaglianza sostituendo: $\Delta m \rightarrow (dm / dt)dt$. Otteniamo così la relazione:

$$⑥ \quad V(t) = v \int_0^t \frac{1}{M - (dm / dt)t} \left(\frac{dm}{dt} \right) dt$$

$$= v \int_0^t \frac{1}{M (dm / dt)^{-1} - t} dt$$

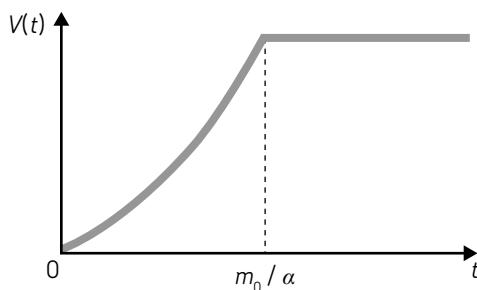
Se l'emissione di gas di scarico è costante nel tempo, si ha che:

$$dm / dt = \alpha \quad (\text{una costante})$$

Quindi alfa (α) dà una misura di quanta massa viene emessa dal motore per unità di tempo:

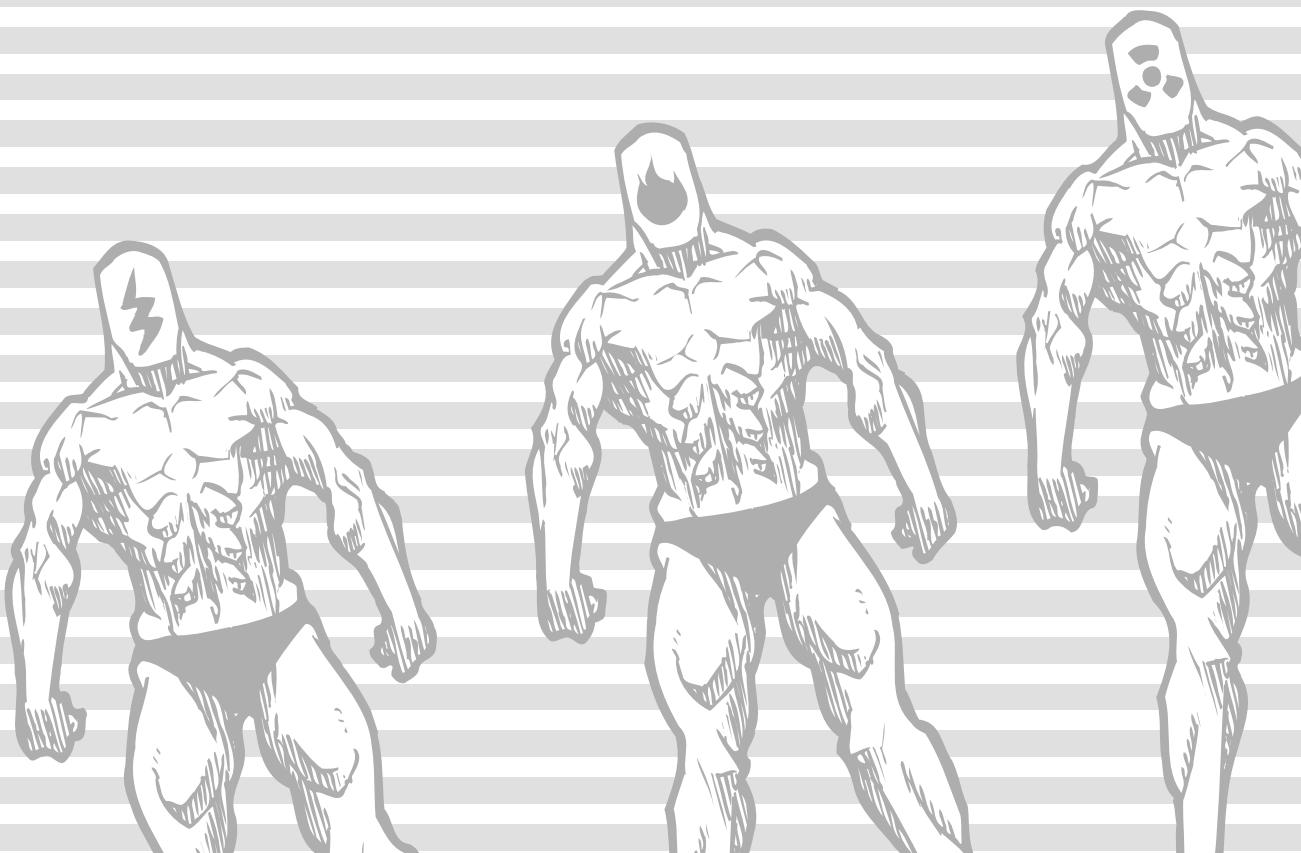
$$⑦ \quad V(t) = v \int_0^t \frac{1}{(M / \alpha) - t} dt = v [-\log_e (M / \alpha - t)]_0^t \\ = v \log_e \left(\frac{M}{M - \alpha t} \right)$$

L'espressione ⑦ rappresenta la velocità di un razzo con velocità iniziale $V(0) = 0$. Osserviamo che αt è la massa totale dei gas di scarico emessi dal razzo nell'intervallo di tempo t . Quindi, assumendo che la massa totale di carburante trasportata inizialmente dal razzo sia m_0 , il razzo consuma tutto il carburante nel tempo t (dove $t = m_0 / \alpha$) dopo di che passa da un moto uniformemente accelerato a uno uniforme (come mostra la figura).



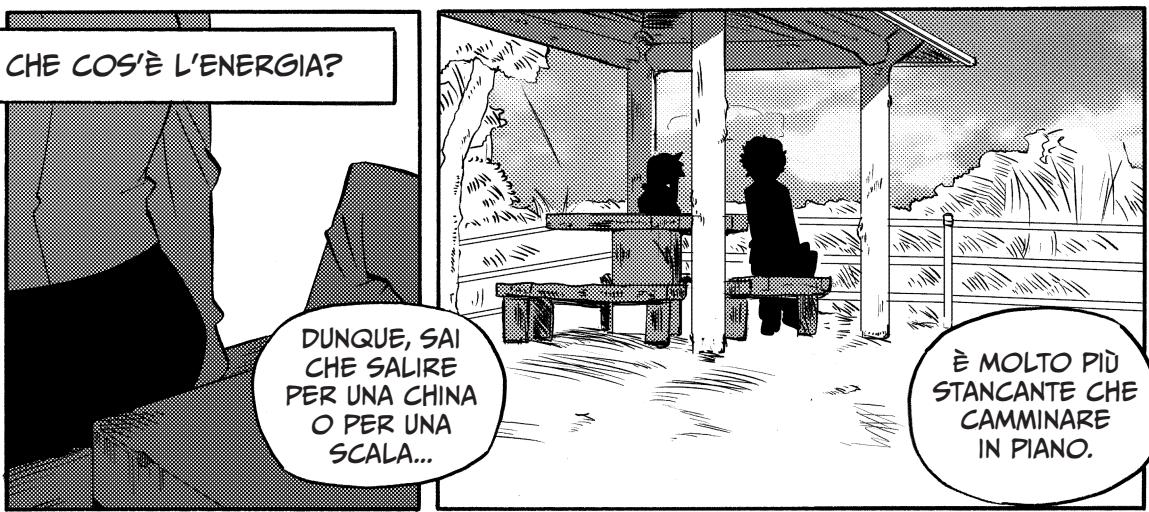


ENERGIA



LAVORO ED ENERGIA





MA LA PAROLA
ENERGIA SI Vede
DAPPERTUTTO, NO?

CERTO! AUTO
A BASSO CONSUMO
DI ENERGIA, ENERGIA
SOSTENIBILE,
BEVANDE
ENERGETICHE!

LA PAROLA ENERGIA È
PROPRIO COME FORZA:
LA GENTE LA USA
INFORMALMENTE
PER DESCRIVERE
VARIE COSE, MA...

ASPETTA!
VUOI DIRE...

CHE L'ENERGIA
HA UN SIGNIFICATO
SPECIFICO
IN FISICA?

SÌ.

COSÌ COME LA
FORZA È DEFINITA
DAI PRINCIPI DELLA
DINAMICA,

ANCHE
L'ENERGIA HA
UNA DEFINIZIONE
RIGOROSA.

GLUG
GULP

ORA CHE CI PENSO...
HO GIÀ SENTITO
PARLARE DI ENERGIA
CINETICA ED ENERGIA
POTENZIALE.

AHHH!

UN OGGETTO CHE
SI MUOVE CONTIENE
UN'ENERGIA
CHIAMATA CINETICA.
RAPPRESENTA
L'ENERGIA DEL
MOVIMENTO.

SEMPRA SIMILE
ALLA QUANTITÀ DI
MOTO. MA L'ENERGIA
CINETICA DEV'ESSERE
UN'ALTRA COSA, NO?

VUOI UNA
BIBITA?

SÌ, SONO DIVERSE.
LA QUANTITÀ DI MOTO
DEVE OBEDIRE
ALLA SUA LEGGE DI
CONSERVAZIONE,
MA ANCHE L'ENERGIA
SI CONSERVA.

CIOÈ, ESISTE
ANCHE UNA LEGGE
CHE DESCRIVE LA
CONSERVAZIONE
DELL'ENERGIA?

Y...
Y...
Y...

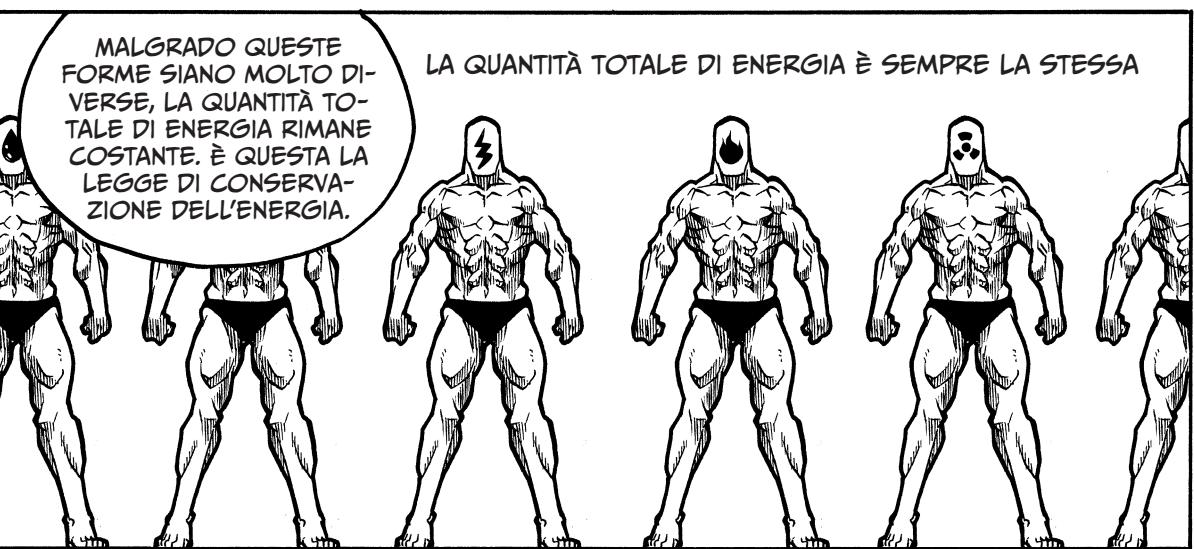
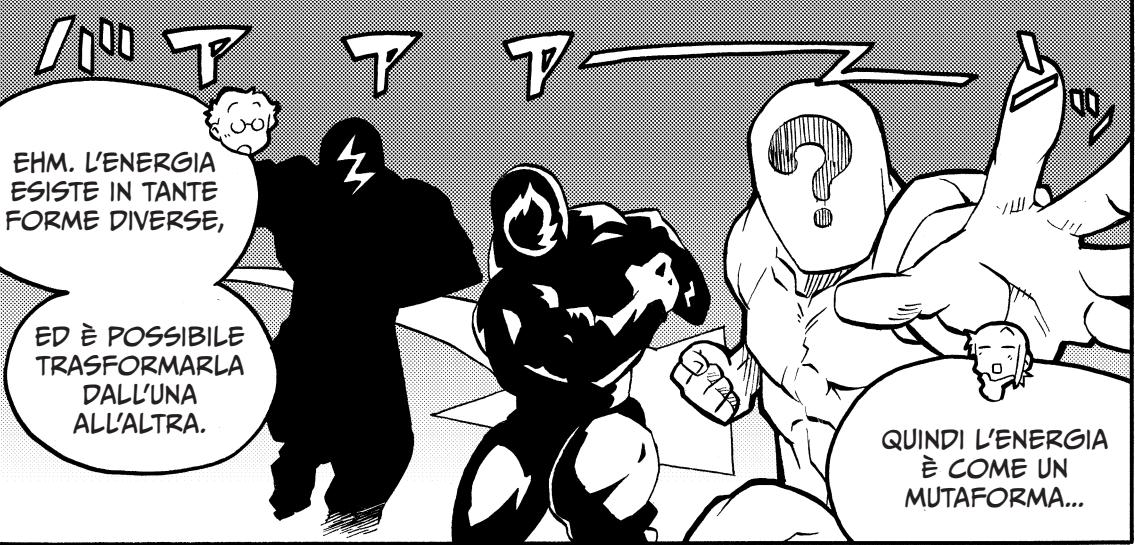
SÌ. L'ENERGIA,
PERÒ, PUÒ
ASSUMERE MOLTE
FORME. C'È
L'ENERGIA
CINETICA,

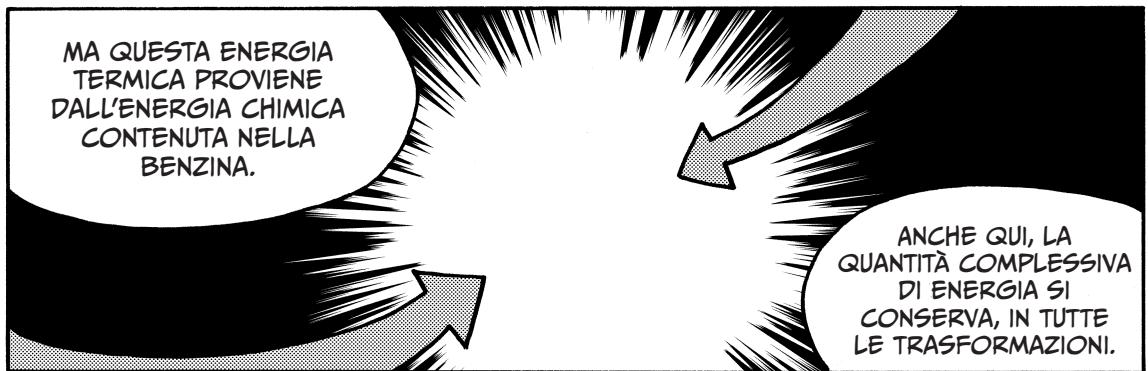
L'ENERGIA
POTENZIALE,
L'ENERGIA
CHIMICA,
L'ENERGIA
TERMICA,

L'ENERGIA
NUCLEARE E
MOLTE ALTRE.

NON TI PIACE?

EHI, TUTTO
BENE?





E QUINDI ANCHE
NEL NOSTRO
CORPO L'ENERGIA
CAMBIA FORMA.

WOW!

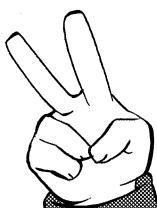
QUINDI, QUANDO
"CONSUMIAMO"
ENERGIA...

IN REALTÀ CI
LIMITIAMO A
FARLE ASSUMERE
UNA FORMA
DIVERSA.

L'ENERGIA CIRCOLA
IN CONTINUAZIONE,
MA LA QUANTITÀ
TOTALE RIMANE
COSTANTE.

MA SMETTIAMO
DI ESSERE COSÌ
ASTRATTI E
PARLIAMO

DELL'ENERGIA
POTENZIALE E
DELL'ENERGIA CINETICA.
SONO DUE TIPI DI
ENERGIA MECCANICA.



ENERGIA
POTENZIALE?

HMM...

DI QUELLA
PARLIAMO
DOPO.

PARTIAMO
DALL'ENERGIA
CINETICA.

OKAY!!



L'ENERGIA DI
UN OGGETTO IN
MOVIMENTO SI PUÒ
ESPRIMERE COME
SEGUE:



EHI,
ASSETTA!

ENERGIA CINETICA = $\frac{1}{2} \times$ MASSA \times VELOCITÀ \times VELOCITÀ

$$KE = \frac{1}{2}mv^2$$



QUI STIAMO
PARLANDO DI
VELOCITÀ SCALARE,
VERO?



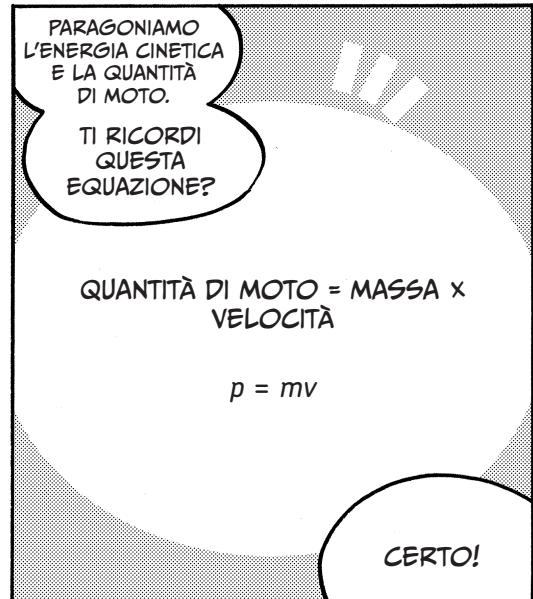
GIUSTA
OSSERVAZIONE!



DATO CHE LA VELOCITÀ
SCALARE È UNA GRANDEZZA
DOTATA SOLO DI MODULO,
CIÒ DEVE VALERE ANCHE
PER L'ENERGIA CINETICA.
PER SEMPLICITÀ USIAMO
LA VARIABILE v .

NON SARÀ MAI
NEGATIVA.

CHE COSA
INTENDI?



PARAGONIAMO
L'ENERGIA CINETICA
E LA QUANTITÀ
DI MOTO.

TI RICORDI
QUESTA
EQUAZIONE?

QUANTITÀ DI MOTO = MASSA \times
VELOCITÀ

$$p = mv$$

CERTO!

LA QUANTITÀ DI MOTO È UNA GRANDEZZA VETTORIALE CHE HA SIA UN MODULO CHE UNA DIREZIONE.



ESATTO. INOLTRE, ANCHE SE DUE OGGETTI HANNO LA STESSA QUANTITÀ DI MOTO,

POSSONO AVERE ENERGIE CINETICHE DIVERSE!



AH SÌ?

PER ESEMPIO, CONFRONTA LE QUANTITÀ DI MOTO DI UN OGGETTO CON MASSA DI 1 KG E VELOCITÀ DI 1 M/S E...

...DI UN OGGETTO CON MASSA DI 0,5 KG E VELOCITÀ DI 2 M/S: LE QUANTITÀ DI MOTO SONO UGUALI: 1 KG × M/S.

1 (kg)

1 (m/s)

$$p = 1 \text{ kg} \times \text{m/s}$$
$$EC = 0,5 \text{ J}$$

MA, PER QUANTO RIGUARDA L'ENERGIA CINETICA, IL VALORE PER LA PRIMA PALLA È
 $\frac{1}{2} \times 1 \text{ KG} \times (1 \text{ M/S})^2 = 0,5 \text{ J}$.
PER LA SECONDA...

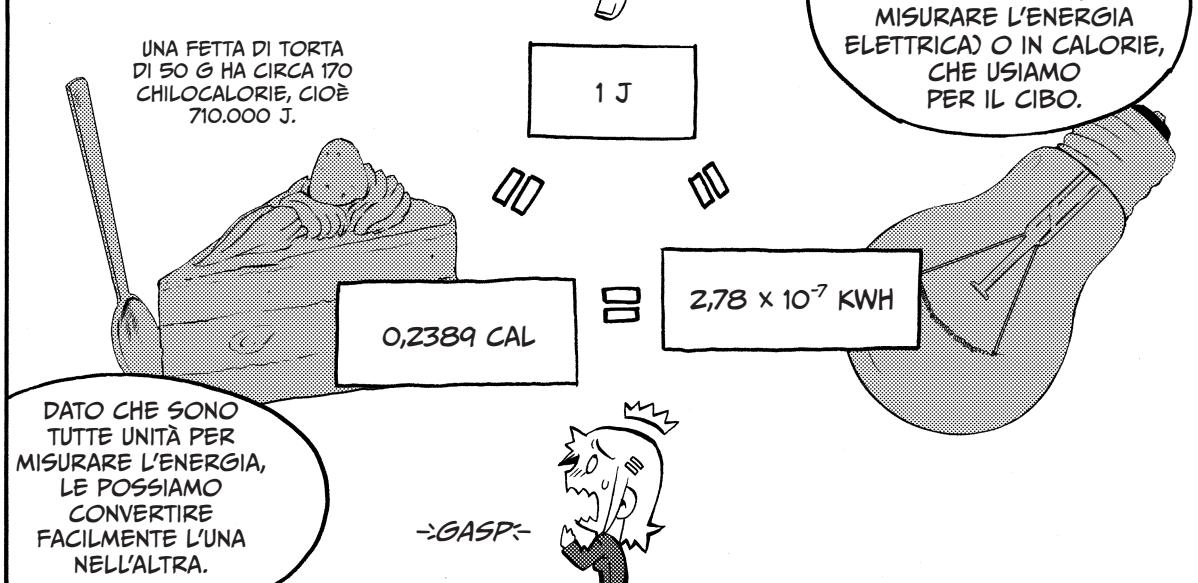
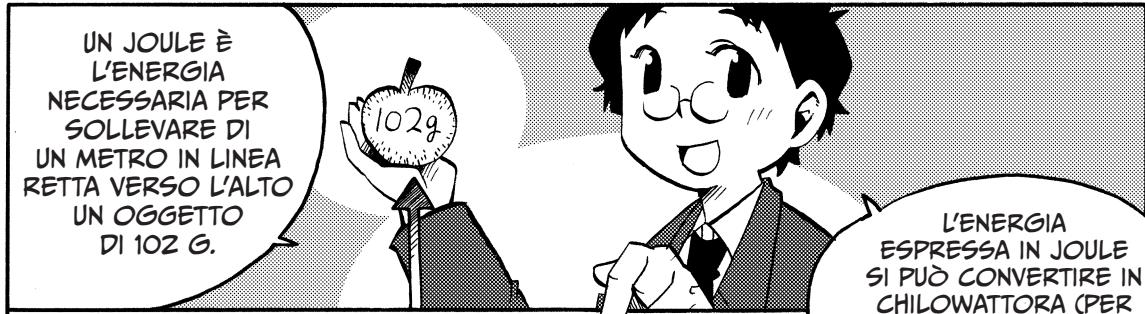
0,5 (kg)

2 (m/s)

$$p = 1 \text{ kg} \times \text{m/s}$$
$$EC = 1 \text{ J}$$

L'ENERGIA È UGUALE A $\frac{1}{2} \times 0,5 \text{ KG} \times (2 \text{ M/S})^2 = 1 \text{ J}$.





LABORATORIO

CHE DIFFERENZA C'È FRA LA QUANTITÀ DI MOTO E L'ENERGIA CINETICA?



La differenza fra la quantità di moto e l'energia cinetica è facile da vedere se consideriamo due o più oggetti insieme.



Ah sì?



Ripensiamo alla situazione in cui eri isolata fuori dalla tua astronave (vedi pagina 126) e usavi la legge di conservazione della quantità di moto per tornare indietro. La tua quantità di moto cambiava grazie alla quantità di moto della chiave che lanciavi in direzione opposta. E, come ricorderai, usiamo l'equazione $p = mv$ per esprimere la relazione tra la quantità di moto, la massa e la velocità.



Certo, mi ricordo.



Prima di lanciare la chiave, entrambi gli oggetti avevano quantità di moto nulla (perché $v = 0$). Dopo averla lanciata, per via della legge di conservazione della quantità di moto, sappiamo che:

$$\begin{aligned} &\text{la somma delle quantità di moto della chiave e dell'astronauta} \\ &= mv + MV = 0 \end{aligned}$$

Sappiamo quindi che $mv = -MV$. In altre parole, la quantità di moto della chiave (mv) e la tua (MV) hanno lo stesso modulo e direzione opposta. Sommate, devono dare zero.



Dato che la quantità di moto è un vettore, ha un orientamento! Quindi due quantità di moto con lo stesso modulo e direzioni opposte si cancellano a vicenda.



Pensiamo adesso all'energia cinetica della chiave e a quella dell'astronauta. Prima di lanciare la chiave sono entrambe immobili e ognuna delle due ha quantità di moto zero. Dopo il lancio della chiave, la somma delle energie dei due oggetti è *diversa* da zero:

$$EC_{\text{chiave}} + EC_{\text{astronauta}} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}MV^2 > 0$$



Ma hai detto che l'energia si conserva sempre!



L'energia cinetica si è generata quando hai lanciato la chiave. Pensa alla legge di conservazione dell'energia: la quantità di energia persa dal tuo corpo dev'essere uguale alla quantità di energia cinetica acquisita dai due oggetti.



Ah, va bene.



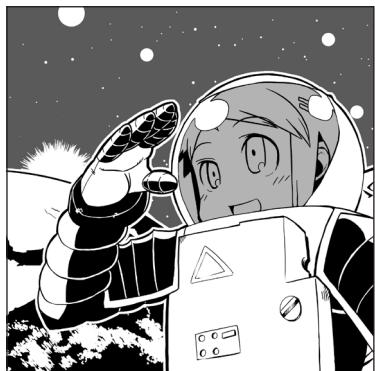
È difficile misurare con precisione l'energia impiegata dal corpo umano, ma è possibile misurare la diminuzione dell'energia corporea vedendo quanta ne è stata trasferita.



Cioè, so che il mio corpo ha perso almeno tanta energia quanta quella guadagnata dagli oggetti che ho lanciato, giusto?



Proprio così. Per adesso ricorda che dobbiamo tenere a mente la differenza fra energia e quantità di moto.

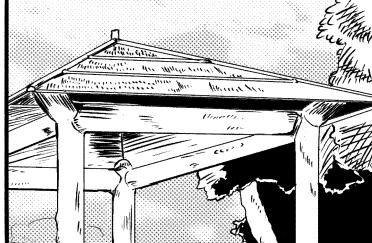


ENERGIA POTENZIALE

PRIMA HO DETTO CHE L'ENERGIA MECCANICA COMPRENDE L'ENERGIA CINETICA E L'ENERGIA POTENZIALE.

PUOI PENSARE ALL'ENERGIA POTENZIALE COME A UN'ENERGIA DI POSIZIONE.

CHE VUOL DIRE?



DUNQUE,

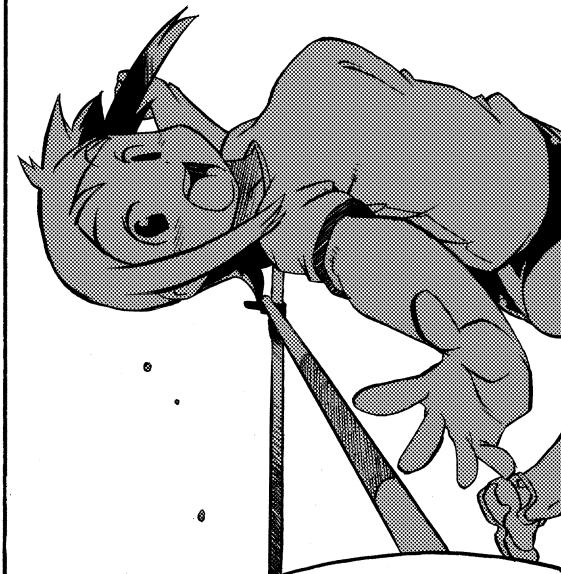
POTENZIALE SI RIFERISCE ALLA POSSIBILITÀ DI COMPIERE UN LAVORO.

Potential

QUINDI L'ENERGIA POTENZIALE È UN'ENERGIA IMMAGAZZINATA?



USIAMO COME ESEMPIO IL TUO SALTO IN ALTO.



NEL MOMENTO
IN CUI RAGGIUNGI
LA POSIZIONE PIÙ
ALTA DEL SALTO, LA
TUA ENERGIA CINETICA
SCOMPARE ($v = 0$).

A QUEL PUNTO HAI
SOLO ENERGIA
POTENZIALE
GRAVITAZIONALE
E NIENTE ENERGIA
CINETICA.

MA QUANDO
COMINCI A CADERE LA TUA
ENERGIA CINETICA AUMENTA. IN
ALTRE PAROLE, NEL PUNTO PIÙ
ALTO SEI IMMOBILE, E QUINDI CI
DEV'ESSERE QUALCHE FORMA
NASCOSTA DI ENERGIA CHE
POSSA GENERARE ENERGIA
CINETICA.

QUINDI È QUESTA
L'ENERGIA POTENZIALE.

SÌ, L'ENERGIA POTENZIALE
DI UNA SPECIFICA ALTEZZA
SI TRASFORMA IN ENERGIA
CINETICA QUANDO UN
OGGETTO CADE.



SE RYOTA TIENE UN
OGGETTO A QUESTA
ALTEZZA, VI IMMAGAZZINA
DELL'ENERGIA POTENZIALE.



L'OGGETTO NELLA MANO
DI RYOTA POSSIEDE ENERGIA
POTENZIALE.



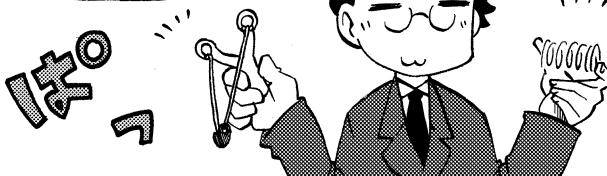
QUANDO L'OGGETTO CADE,
LA SUA ENERGIA POTENZIALE
SI TRASFORMA IN ENERGIA
CINETICA.

L'ENERGIA
POTENZIALE CHE
DERIVA DALL'ALTEZZA
SI CHIAMA ENERGIA
POTENZIALE
GRAVITAZIONALE

PERCHÉ LA FONTE
È LA GRAVITÀ
TERRESTRE.

QUINDI CI SONO ALTRI TIPI
DI ENERGIA POTENZIALE?

CERTO. PENSA
PER ESEMPIO A
UN ELASTICO O A
UNA MOLLA.



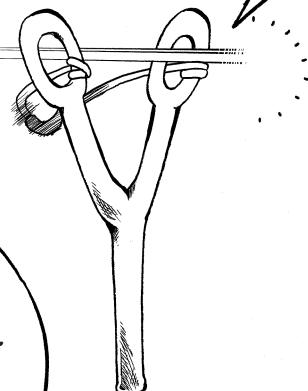
QUANTI
GIOCATTOLI
CHE HA...



QUANDO È TESO,
UN ELASTICO
CONTIENE
ENERGIA
POTENZIALE.

UN ELASTICO
O UNA MOLLA HANNO
L'ENERGIA PER RIPORTARSI
ALLA LUNGHEZZA ORIGINALE.
QUESTO TIPO DI ENERGIA
POTENZIALE SI CHIAMA
ENERGIA POTENZIALE
ELASTICA.

QUANDO LASCIAMO
ANDARE LA FIONDA,
L'ENERGIA POTENZIALE
DELL'ELASTICO SI
TRASFORMA IN ENERGIA
CINETICA PER IL SASSO.







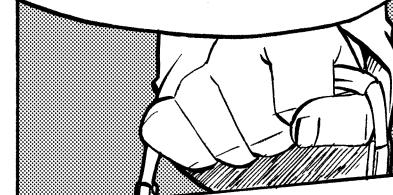
LAVORO ED ENERGIA POTENZIALE

QUINDI AUMENTI
L'ENERGIA POTENZIALE
COMPIENDO
LAVORO.



GIÀ: SE COMPI
LAVORO PER SOLLEVARE UN
OGGETTO, LA SUA ENERGIA
POTENZIALE AUMENTA.

PER ESEMPIO,
CONSIDERIAMO DI NUOVO
QUESTA BORSA.

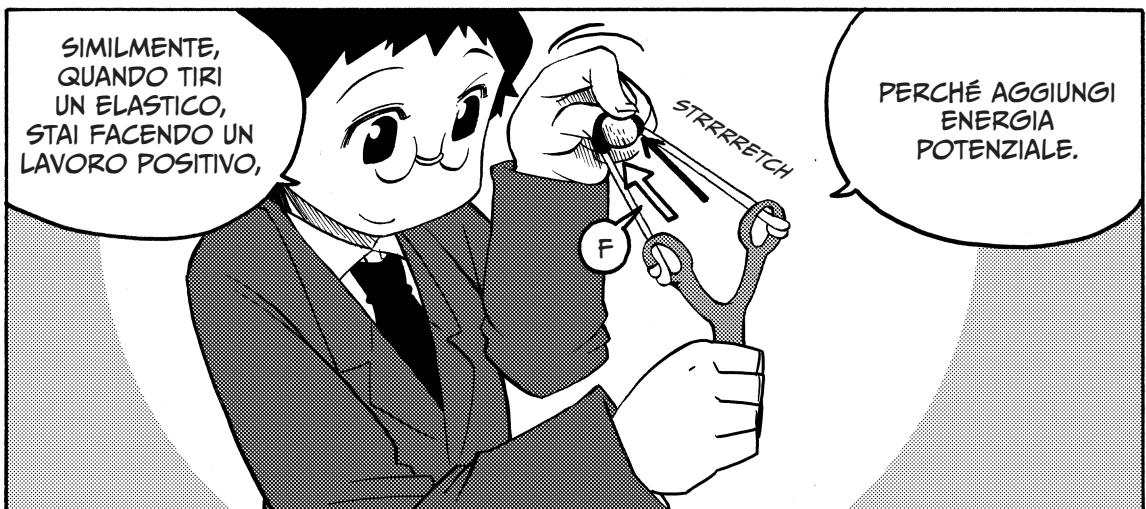


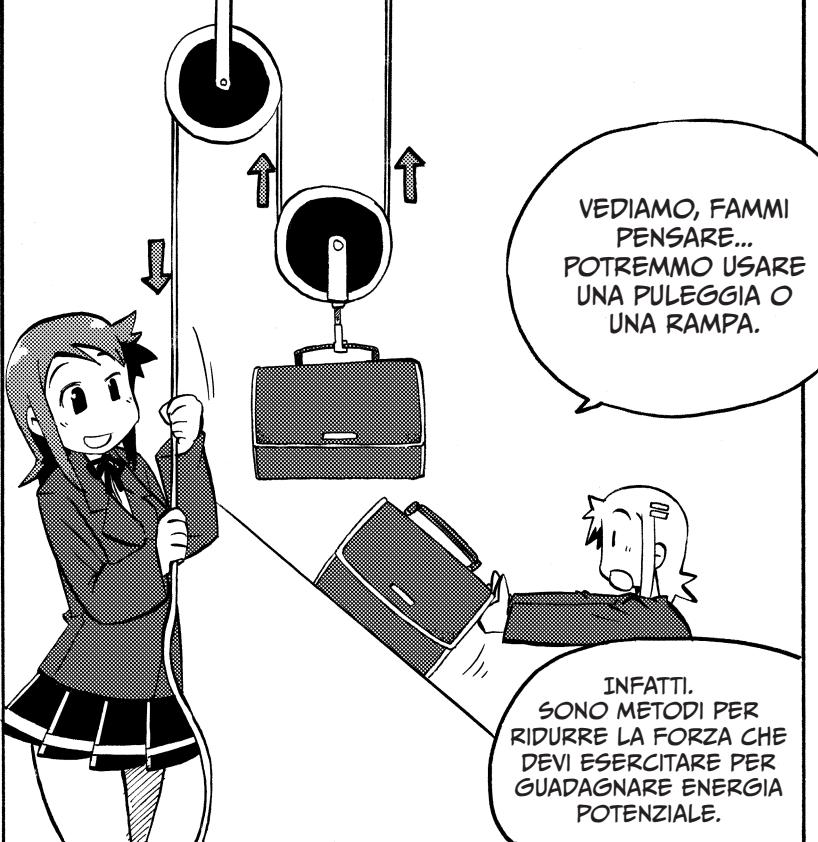
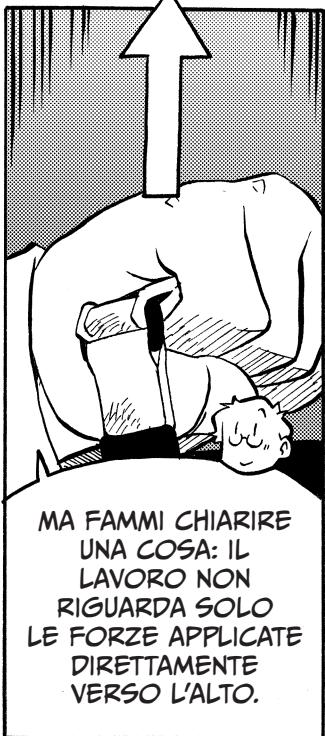
FORZA DELLA MANO
x
ALTEZZA A CUI VIENE SOLLEVATO
L'OGGETTO

QUI È STATO COMPIUTO
UN LAVORO.

LA DIREZIONE DELLA FORZA
E QUELLA DELLO
SPOSTAMENTO DELLA BORSA
SONO LE STESSE E QUINDI
IL LAVORO HA UN VALORE
POSITIVO.

QUINDI L'ENERGIA
POTENZIALE È
AUMENTATA.



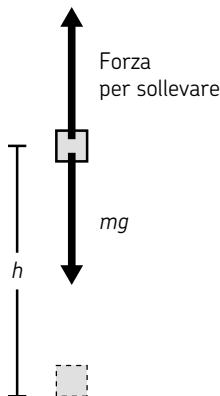


LABORATORIO

IL LAVORO E LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA



Consideriamo una situazione in cui portiamo a una certa altezza un carico pesante. Il modo più semplice è sollevarlo verticalmente. Questo diagramma mostra cosa succede.



Stiamo sollevando un carico di massa m a un'altezza h .



Vediamo quanto lavoro dobbiamo compiere per portare l'oggetto all'altezza h applicando una forza uguale alla gravità della massa: esercitiamo cioè una forza verso l'alto pari a quella verso il basso data dalla gravità. Indicando con g l'accelerazione di gravità, sappiamo che la forza verso il basso è mg :

$$\text{lavoro verso l'alto} = \text{forza per sollevare} \times \text{altezza } h = mgh$$

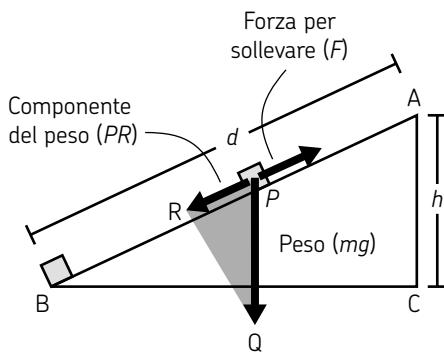
Per semplicità, non teniamo conto degli attriti né della resistenza dell'aria. Ma è una faticaccia, sollevare una cosa così pesante in questo modo!



Hmm... Magari è più facile se lo spingiamo su per una rampa.



Infatti. Pensiamo di spingere il carico su per un piano inclinato.



Guarda questo diagramma. Il modulo della forza necessaria per spingere il carico su per la rampa (F) è uguale alla componente della forza di gravità parallela alla rampa (PR). Quindi se la rampa è lunga d , il lavoro necessario per portare l'oggetto all'altezza h si può scrivere come:

$$\text{lavoro} = Fd$$

Ora, sappiamo intuitivamente che F è minore di mg e che d è maggiore di h .



Ha senso. Per questo serve lo stesso lavoro per spingere il peso su per la rampa e per sollevarlo verticalmente?



Sì, proprio così. E ora vediamo matematicamente perché funziona. Diciamo che il triangolo ABC rappresenta la rampa della figura e $\triangle PQR$ rappresenta la scomposizione della forza mg . Questi due triangoli sono simili, e quindi l'angolo CAB è uguale all'angolo RPQ, e i lati corrispondenti devono essere in proporzione; deve cioè valere:

$$\frac{AB}{AC} = \frac{PQ}{PR}$$

Diciamolo in termini un po' meno astratti. Il segmento AB è lungo d (la lunghezza del piano inclinato), mentre AC è lungo h (l'altezza). A loro volta, il segmento PQ è uguale a mg (la forza verso il basso, dovuta alla gravità), mentre PR è uguale a F (la forza applicata per controbilanciarne una parte).



Quindi abbiamo:

$$\frac{d}{h} = \frac{mg}{F}$$

Guarda, riorganizzando un po' questa formula otteniamo:

$$Fd = mgh$$

Quindi il lavoro per sollevare un carico usando un piano inclinato deve essere uguale al lavoro per sollevarlo verticalmente.

E nota anche che i nostri risultati sono sempre uguali indipendentemente dall'inclinazione della rampa. Per via della conservazione dell'energia, indipendentemente dal percorso lungo cui lo solleviamo, il lavoro fatto per alzare un oggetto di massa m a un'altezza h è uguale a:

$$\text{forza necessaria per contrastare la gravità} \times \text{altezza} = mgh$$



Quindi, qualunque metodo usiamo per sollevare qualcosa, compiamo lo stesso lavoro.



Diciamolo in un altro modo: il tuo lavoro aumenta l'energia potenziale del carico di mgh .



E scommetto che vale anche per il lavoro negativo. Cioè, se abbassiamo un oggetto di una quota h , abbiamo una diminuzione dell'energia potenziale di mgh .



Infatti, proprio così.

LAVORO ED ENERGIA

CHE SUCCIDE?
MI SEMBRA DI
RIMPICCIOLIRE...

IL LAVORO
NON SI COMPIE
SOLO QUANDO
SI AUMENTA
O DIMINUISCE
L'ENERGIA
POTENZIALE.
PUÒ ANCHE
MODIFICARE
L'ENERGIA CINETICA
DI UN OGGETTO!

CHE DIAVOLO...?

SONO
UN'ADULTA!

VUOI DIRE CHE SI
FA UN LAVORO ANCHE
QUANDO SPOSTIAMO
UN OGGETTO O
NE FERMIAMO UNO
CHE SI MUOVE?



MI STAI
ASCOLTANDO,
NINOMIYA-SAN?

SÌ, VA' AVANTI
CON LA
LEZIONE.

BENE.

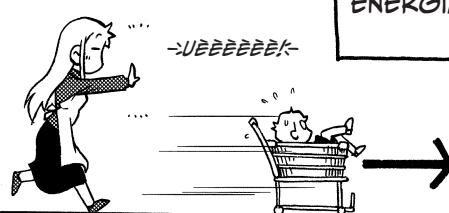
AHEM.

FINCHÉ ESERCITI UNA
FORZA, PER UNA CERTA
DISTANZA, SU UN OGGETTO
INIZIALMENTE IMMOBILE,
LA SUA ENERGIA
CINETICA AUMENTA.



IMPORRE UNA
FORZA SU UN
OGGETTO

GENERA
ENERGIA CINETICA.



GULP! È VERO ANCHE PER GLI OGGETTI IN MOVIMENTO. IN ALTRE PAROLE, L'ENERGIA CINETICA DI UN OGGETTO AUMENTA ANCHE DI PIÙ

SE GLI SI APPLICA UNA FORZA NELLA DIREZIONE DEL MOTO.

PER QUALCHE MOTIVO MI FAI PENSARE A UNA PALLINA DA FLIPPER.

DATO CHE L'ENERGIA SI CONSERVA, SAPPIAMO CHE VALE QUESTO:

LAVORO COMPIUTO SULL'OGGETTO = VARIAZIONE DI ENERGIA CINETICA DELL'OGGETTO

QUESTA RELAZIONE DEV'ESSERE VERA.

AH, SÌ.

SE LA FORZA CHE ESERCITIAMO SU UN OGGETTO HA LA STESSA DIREZIONE DEL MOVIMENTO DELL'OGGETTO...

...CIOÈ QUANDO LA FORZA E LA VELOCITÀ SONO PARALLELE, ALLORA COMPIAMO UN LAVORO POSITIVO.

ALLORA SAPPIAMO CHE C'È STATA UNA VARIAZIONE POSITIVA DI ENERGIA CINETICA, CIÒE CHE L'OGGETTO VA PIÙ VELOCE.

ME LO COMPRI MAMMA?!

IL RAGAZZO CINETICO

TAH-RAH

UGUALMENTE, PUOI FERMARE UN OGGETTO APPLICANDO UNA FORZA IN DIREZIONE OPPosta ALLA SUA VELOCITÀ.

RIDUCENDO LA SUA ENERGIA CINETICA, SUPPONGO.

IN QUESTO CASO GLI ORIENTAMENTI DELLA VELOCITÀ E DELLA FORZA SONO OPPosti, E QUINDI IL VALORE DEL LAVORO SARÀ NEGATIVO.

QUINDI ANCHE LA VARIAZIONE DI ENERGIA CINETICA HA UN VALORE NEGATIVO: L'ENERGIA DIMINUISCE.

È STATO STRANO... SONO CONTENTO DI ESSERE TORNATO COM'ERO PRIMA.
OO

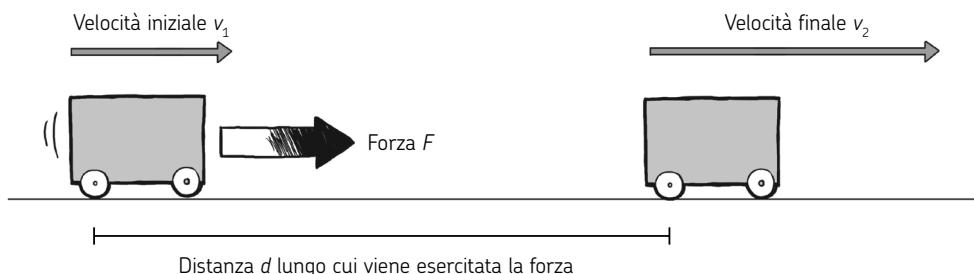
WHEW!

LABORATORIO

IL RAPPORTO FRA IL LAVORO E L'ENERGIA CINETICA



Vediamo come ricavare una formula che esprime il rapporto fra il lavoro e l'energia cinetica. Supponiamo di continuare a esercitare una forza F su un carrello in moto, in direzione parallela alla velocità del carrello. Il mezzo ha massa m e parte con una velocità iniziale uniforme v_1 .



Quindi all'oggetto già in moto si applica una forza ulteriore.



In questo caso vale:

$$\text{lavoro compiuto sull'oggetto} = Fd$$

Inoltre, visto che abbiamo indicato la velocità finale con v_2 , possiamo rappresentare la variazione di energia cinetica dell'oggetto come segue:

$$\text{variazione di energia cinetica} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

E dato che già sappiamo che la variazione di energia cinetica è pari al lavoro compiuto sull'oggetto, possiamo scrivere la seguente relazione:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = Fd$$



A-ha!



Possiamo ricavare questa uguaglianza anche in un altro modo. Dato che F è, per ipotesi, costante, il carrello riceve un'accelerazione uniforme. Quindi, se indichiamo con a l'accelerazione del carrello, sappiamo che deve valere quanto segue:

$$v_2^2 - v_1^2 = 2ad$$

(Perché? Pensa alla formula ❸ di pagina 85.) Per tornare a una forma più simile a ciò che abbiamo scritto, usiamo il secondo principio della dinamica:

$$F = ma, \text{ cioè anche, } a = \frac{F}{m}$$

E otteniamo:

$$v_2^2 - v_1^2 = \frac{2Fd}{m}$$

Moltiplicando entrambi i membri per $\frac{1}{2}$, siamo arrivati!

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = Fd$$



Se sto molto attenta ai calcoli, ci posso riuscire!

DISTANZA DI FRENTA E VELOCITÀ

USANDO QUELLO
CHE SAPPIAMO SULLA
RELAZIONE TRA
L'ENERGIA CINETICA E IL
LAVORO, PENSIAMO ALLA
DISTANZA DI FRENTA DI
UN'AUTOMOBILE.

CHE INTENDI,
DI PRECISO?

BE', IN REALTÀ NON VALE
SOLO PER LE MACCHINE.
È LA DISTANZA DI CUI HA
BISOGNO UN VEICOLO
IN MOTO

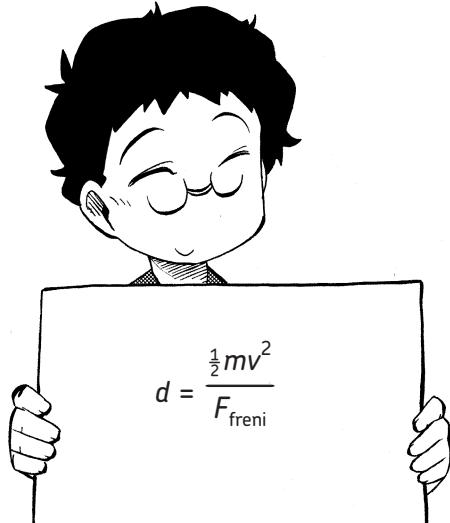
PER FERMARSI, DATA
UNA CERTA FORZA
NELLA DIREZIONE
OPPOSTA.

APPURATO
CHE UNA VARIAZIONE
DI ENERGIA CINETICA È UGUA-
LE AL LAVORO COMPIUTO,
SAPPIAMO CHE, PER FERMARE
UN OGGETTO IN MOTO,
DEVE ESSERE VERO
QUANTO SEGUE:

$$\frac{1}{2} \text{MASSA} \times \text{VELOCITÀ}^2 = \text{FORZA DEI FRENI} \times
DISTANZA PER CUI SONO APPLICATI I FRENI$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = F_{\text{freni}} \times d$$

SE RISCRIVIAMO QUESTA FORMULA, POSSIAMO ESPlicitare LA DISTANZA DI FRENATA!



QUESTA FORMULA DICE CHE PIÙ GRANDI SONO LA MASSA (m) E LA VELOCITÀ (v) DEL VEICOLO, E MAGGIORÈ È LA DISTANZA NECESSARIA PER FRENARE (d).

E MAGGIORÈ È LA FORZA DEI FRENI (F_{freni}), MINORE È LA DISTANZA CHE SERVE PER FERMARSI COMPLETAMENTE.

MA ABBIAMO MOLTIPLICATO LA VELOCITÀ PER SÉ STESSA!

SÌ, VUOL DIRE CHE LA DISTANZA DI FRENATA (d) È PROPORZIONALE AL QUADRATO DELLA VELOCITÀ.



LA DISTANZA DI FRENATA È PROPORZIONALE AL QUADRATO DELLA VELOCITÀ.

QUANDO LA VELOCITÀ INIZIALE RADDOPPIA... VUOL DIRE CHE LA DISTANZA DI FRENATA QUADRUPlica?



BRAVA, HAI CAPITO UNA COSA IMPORTANTE. È PERICOLOSO PENSARE CHE LA DISTANZA DI FRENTA AUMENTI LINEARMENTE RISPETTO ALLA VELOCITÀ DELLA MACCHINA.

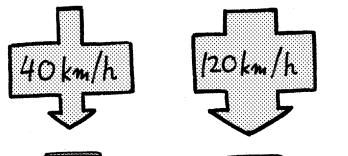
INFATTI LA DISTANZA DI FRENTA QUADRUPlica, SE LA VELOCITÀ È DOPPIA.



GIÀ, È VERO.

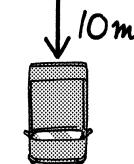
PER UNA BICI, NON È UN PROBLEMA SERIO, MA PER LE AUTO PUÒ AVERE CONSEGUENZE GRAVI.

PER ESEMPIO, PENSA A UN'AUTOMOBILE CHE VA A 40 KM/H, E IMMAGINA CHE LA DISTANZA DI FRENTA SIA DI 10 M. SE LA STESSA MACCHINA VA A 120 KM/H, CIOÈ A UNA VELOCITÀ TRIPLOA, QUALE SARÀ LA DISTANZA DI FRENTA?

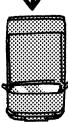


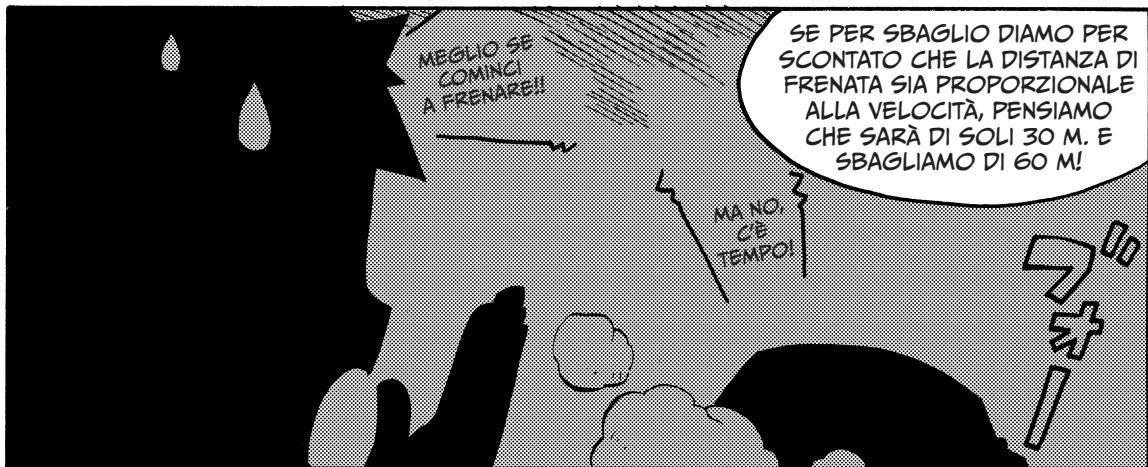
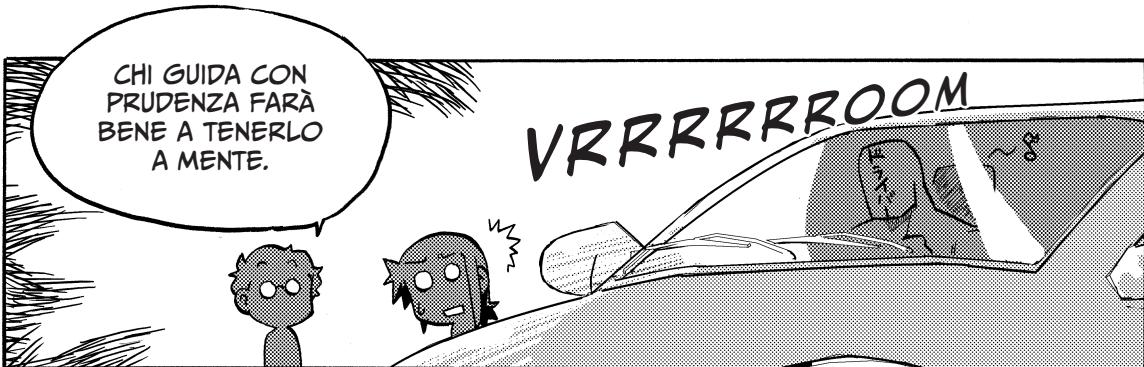
HMM... DATO CHE LA VELOCITÀ TRIPLOCA, DOBBIAMO ELEVARE IL TRE AL QUADRATO. CIOÈ SARÀ $3 \times 3 = 9$ VOLTE MAGGIORE, E QUINDI $10 \text{ m} \times 9 = 90 \text{ m}$.

Frena!



90m





LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA

TRASFORMARE L'ENERGIA

ALLORA: ADESSO
SAPPiamo COME SI
POSSONO TRASFORMARE
L'ENERGIA CINETICA E
QUELLA POTENZIALE,
L'UNA NELL'ALTRA.

SÌ: L'ENERGIA
SI CONSERVA,
PROPRIO COME LA
QUANTITÀ DI MOTO.



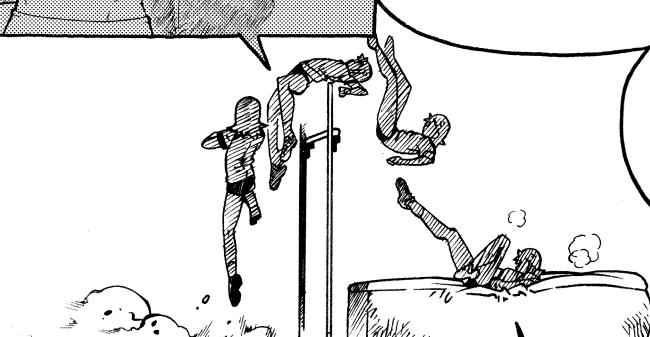


Dopo che hai lasciato il terreno, più sali in alto e meno energia cinetica possiedi.

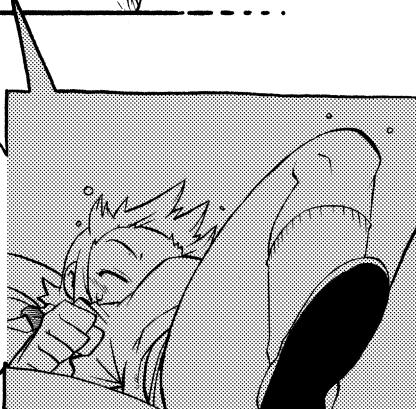
NON NE HAI PIÙ ALL'APICE DEL SALTO, DOVE LA TUA VELOCITÀ È NULLA.



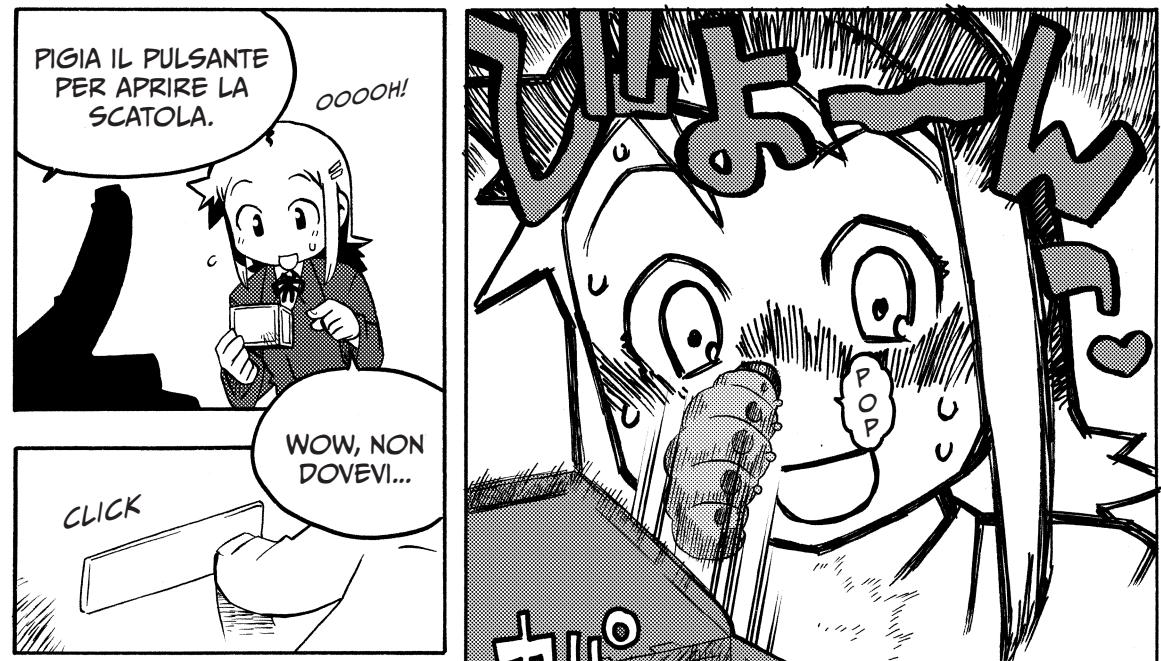
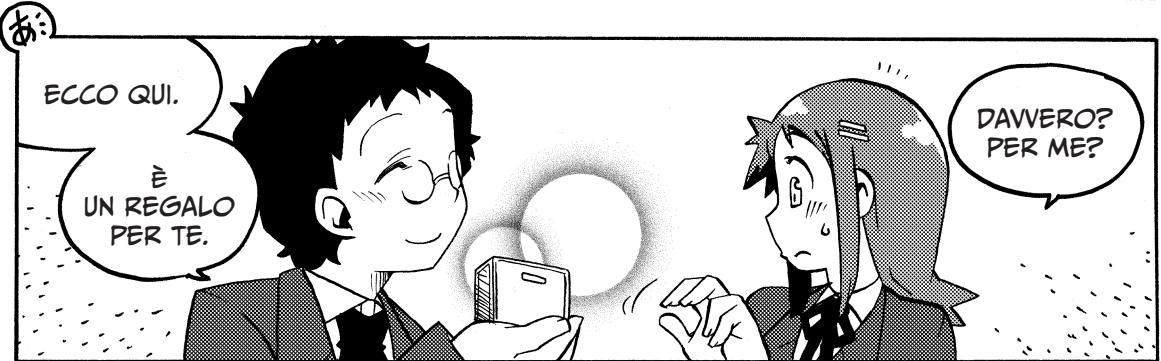
IN QUEL MOMENTO LA TUA ENERGIA POTENZIALE È AL MASSIMO!

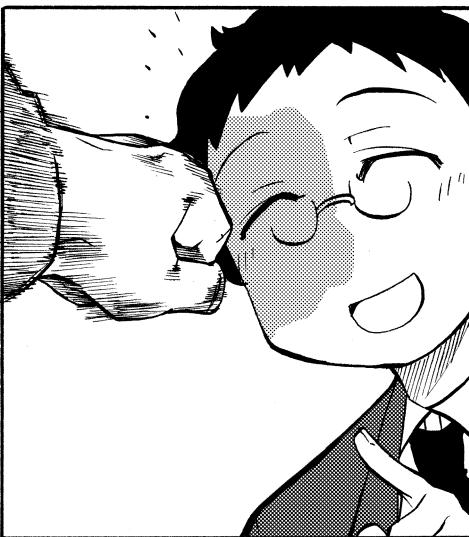


VEDI? È COSÌ CHE L'ENERGIA CINETICA SI TRASFORMA IN POTENZIALE.



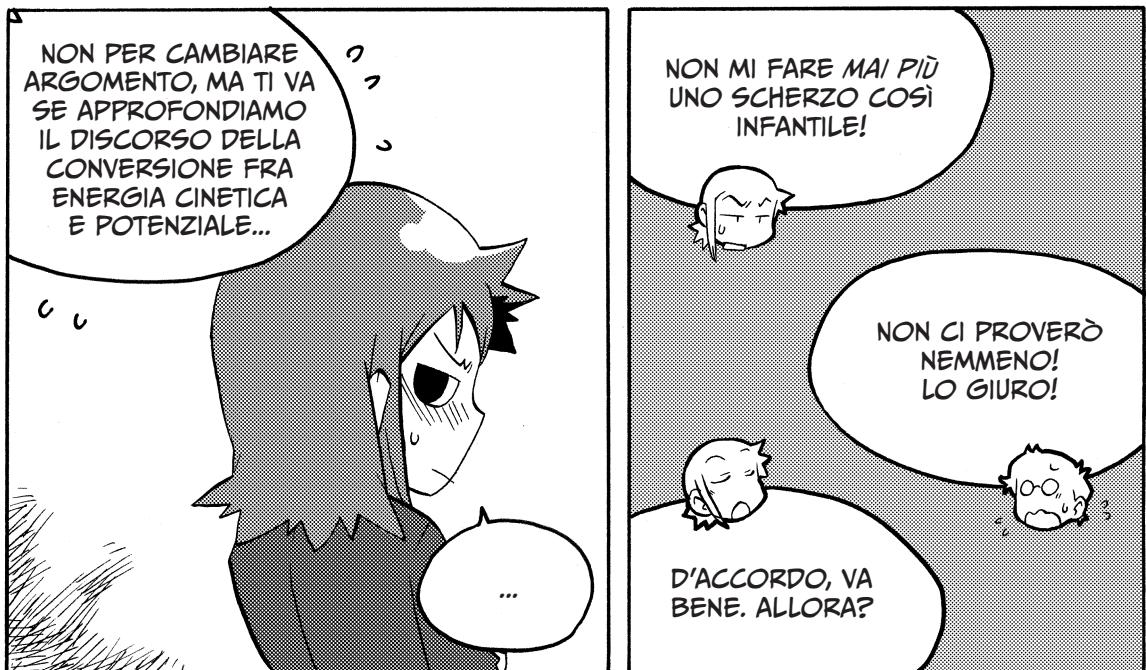
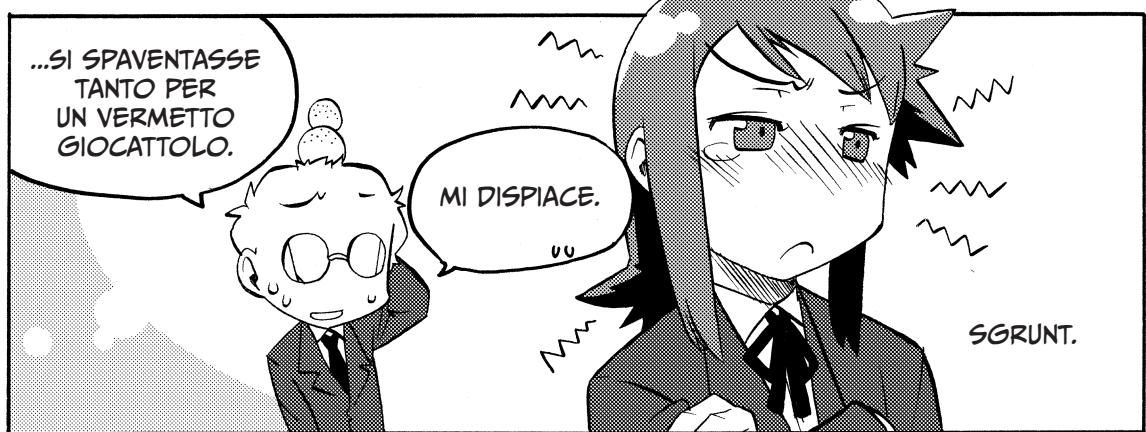
QUANDO RICADI DOPO ESSERE ARRIVATA IN CIMA, LA TUA ENERGIA POTENZIALE SI RICONVERTE IN ENERGIA CINETICA. E QUANDO ATTERRI IL MATERASSO COMPIE UN LAVORO NEGATIVO SUL TUO CORPO, FACENDO DECRESCERE LA TUA ENERGIA CINETICA.

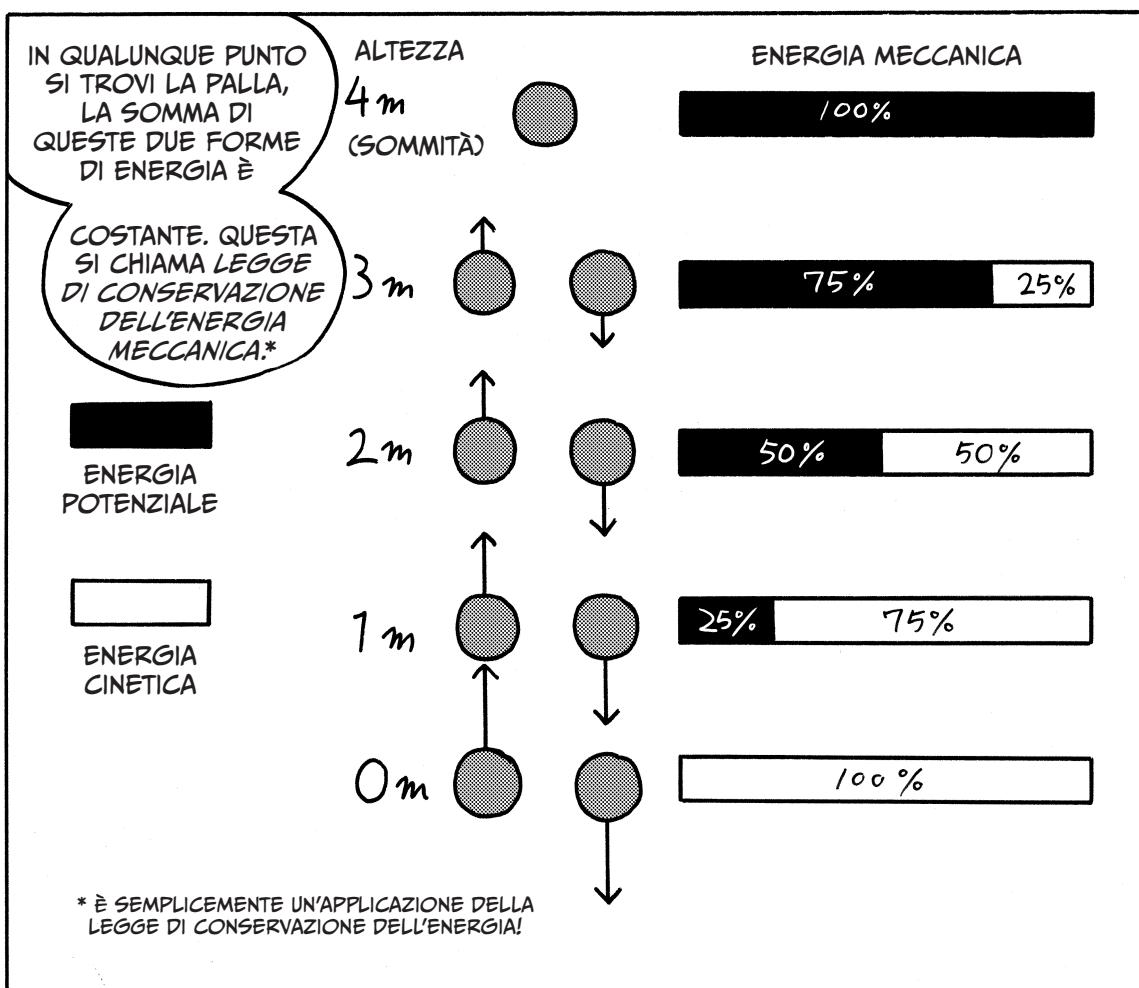




LA CONSERVAZIONE
DELL'ENERGIA MECCANICA

TRASFORMARE L'ENERGIA 187







LABORATORIO

LA LEGGE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA ALL'OPERA



Dimostriamo che vale la legge di conservazione dell'energia meccanica quando lanciamo una palla verticalmente.

Per prima cosa, conosciamo la formula che collega la variazione di energia cinetica e il lavoro; è la seguente:

$$\textcircled{1} \quad \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = Fd$$

Cioè:

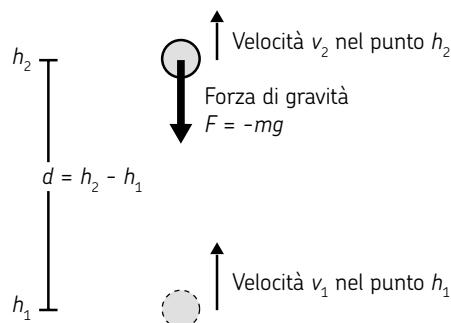
variazione di EC = lavoro



Sì, l'avevamo già chiarito.



Nel nostro caso, Fd rappresenta il lavoro compiuto dalla gravità. Supponiamo che la palla parta a un'altezza h_1 con velocità v_1 . Dopo aver percorso una distanza d , si trova a un'altezza h_2 e la sua velocità sarà scesa a v_2 . La distanza d si può vedere come una differenza di quota, cioè $h_2 - h_1$.



Sì, e allora dov'è il problema? Mi vuoi dimostrare che la forza di gravità fa un lavoro negativo sulla palla?



Esattamente. La forza di gravità agisce in direzione opposta alla velocità. Quindi si esprime come:

$$F = -mg$$

Ciò significa che il lavoro compiuto dalla palla (forza \times distanza) è uguale a:

$$Fd = -mg(h_2 - h_1)$$

Inserendo quello che abbiamo trovato nella formula ①, otteniamo:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -mg(h_2 - h_1)$$

Adesso riscriviamo successivamente, prima espandendo il secondo membro:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_1 - mgh_2$$

E poi, passando qualche termine da una parte all'altra, troviamo qualcosa che ci dovrebbe essere familiare:

$$\frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$$



Sì che lo è. Mostra che la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale è uguale sia in h_1 che in h_2 .



Proprio così.



Quindi il primo membro è l'energia meccanica totale nel punto h_2 , mentre il secondo membro è quella nel punto h_1 .



Infatti, abbiamo ricavato un'espressione che indica che il valore complessivo dell'energia meccanica deve essere uguale in due punti qualunque della traiettoria della palla, se la si lancia verticalmente in aria.



Sì, mi è chiaro.



Usiamo adesso questa formula per calcolare qualcosa di un po' diverso: la velocità (v_1) a cui dobbiamo lanciare una palla per raggiungere una certa altezza massima (h_2). Dato che alla sommità la velocità della palla raggiunge lo zero, sappiamo che a quel punto non ha più energia cinetica.

Per semplicità, poniamo $h_1 = 0$; misureremo cioè h_2 a partire dalla quota da cui lanciamo la palla. Quindi h_2 sarà uguale a d , la distanza percorsa dalla palla.

In questo modo l'energia cinetica che la palla possiede nel punto da cui viene lanciata dev'essere uguale all'energia potenziale che possiede alla massima altezza. Quindi devono essere vere le seguenti relazioni:

$$EP_2 = EC_1$$

$$mgd = \frac{1}{2}mv_1^2$$



Aspetta, mi sembra di aver notato una cosa interessante: la massa compare in entrambi i membri. Quindi in realtà la massa non modifica la relazione!



Giusto! Ricaviamo quindi la velocità iniziale v_1 :

$$mgd = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$gd = \frac{1}{2}v_1^2$$

$$2gd = v_1^2$$

$$\sqrt{2gd} = v_1$$



Se in questa formula inseriamo numeri veri, possiamo trovare la velocità iniziale necessaria per raggiungere una certa altezza!



VELOCITÀ E ALTEZZA DI UNA PALLA LANCIATA

ADESSO APPLICHIAMO LA FORMULA CHE ABBIANO APPENA TROVATO

PER CALCOLARE LA VELOCITÀ A CUI VA LANCIATA UNA PALLA PERCHÉ ARRIVI A 4 METRI.

ASSUMIAMO DI LANCIARLA DA UNA QUOTA DI 0 M,

QUINDI $h_2 = d$, COME PRIMA.

$$v_1 = \sqrt{2gd}$$

E SAPPIAMO CHE
 $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ E
 $d = 4 \text{ m}$.

VEDIAMO...

$$v_1 = \sqrt{2gd}$$

$$v_1 = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 4 \text{ m}}$$

$$v_1 = 8,9 \text{ m/s!}$$

GIUSTO?

SÌ, PERFETTO!

CONVERTENDOLO IN CHILOMETRI ALL'ORA, TROVIAMO $8,9 \text{ m/s} \times 3600 \text{ s/h} \times 1 \text{ km / 1000 m} = 32 \text{ km/h}$.

A-HA!

COSÌ MAGARI POSSIAMO CALCOLARE A CHE ALTEZZA ARRIVEREBBE UNA PALLA CON UNA VELOCITÀ INIZIALE DI 100 KM/H...

SÌ,
VEDIAMO...
SAPPIAMO CHE
 $d = v_1^2 / 2g$

QUINDI RAGGIUNGEREbbe UN'ALTEZZA DI CIRCA 39 METRI.

WOW.

SEI VELOCISSIMO. DAVVERO UN OLIMPIONICO DELLA FISICA!

LABORATORIO

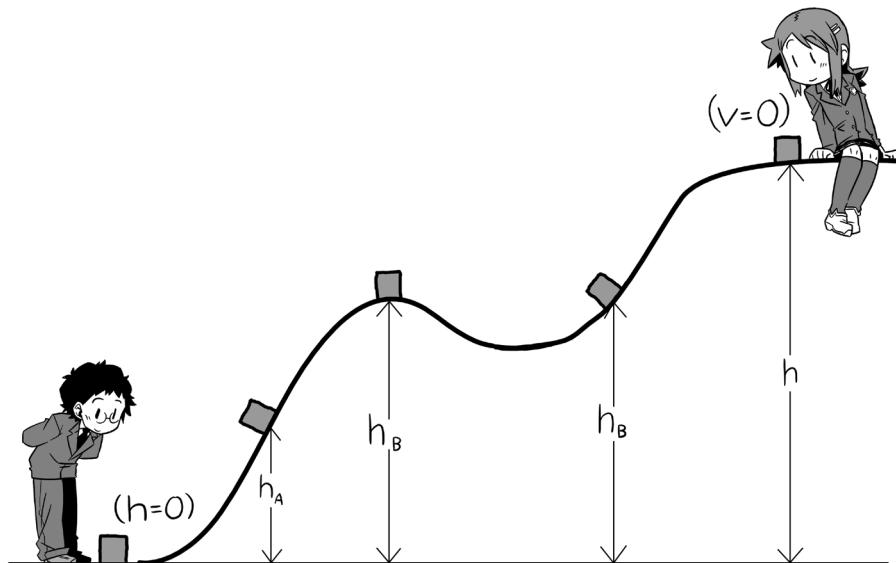
CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA SU UNA DISCESA



La legge di conservazione dell'energia meccanica vale anche quando non parliamo di palle lanciate in aria, vero? Non vale anche per molte altre situazioni, come un oggetto che scivola giù per una discesa?



Bene, esaminiamo il caso in cui fai scivolare una scatola da un'altezza h a un'altezza 0. Mentre scende, supponiamo che la scatola vada alla velocità v_A all'altezza h_A , alla velocità v_B all'altezza h_B , e così via.



Dato che $v = 0$ all'altezza massima, l'energia potenziale iniziale della scatola è uguale a tutta la sua energia meccanica. Ma sappiamo anche che l'energia potenziale in un punto h è mgh , e quindi possiamo scrivere:

$$EP_h = mgh$$



Adesso, come puoi esprimere l'energia cinetica (EC_0) che ha la scatola al punto 0?



Sappiamo già che l'energia cinetica è uguale a:

$$EC_0 = \frac{1}{2}mv^2$$



Esatto! E sappiamo che l'energia cinetica in $h = 0$ dev'essere uguale all'energia potenziale nel punto h :

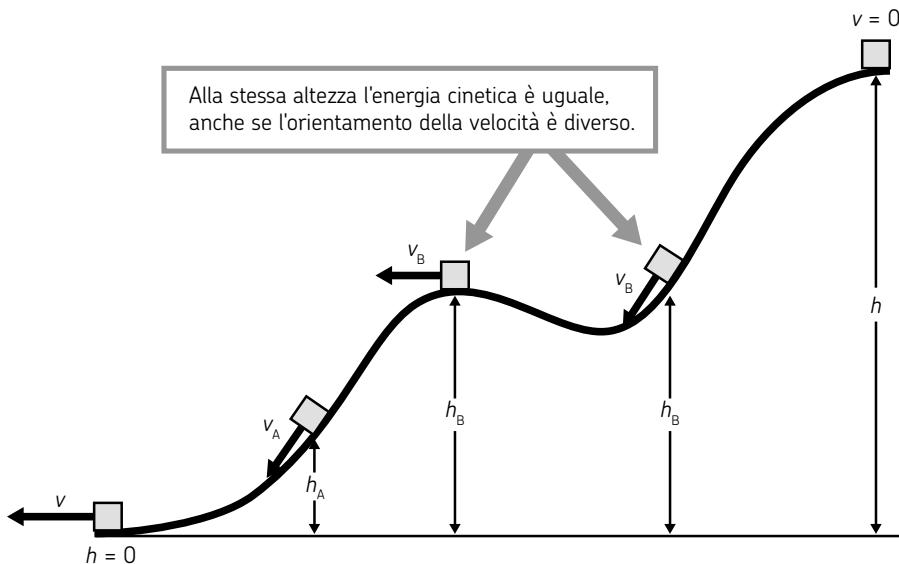
$$EP_h = EC_0$$

In più, per via della conservazione dell'energia, sappiamo che la somma dell'energia meccanica deve rimanere uguale in tutti i punti intermedi della discesa. Cioè:

$$EC_A + EP_A = EC_B + EP_B$$

$$\frac{1}{2}mv_A^2 + mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgh_B$$

Questo implica anche che l'energia potenziale è uguale in due punti posti alla stessa altezza, come i punti B della figura. In questi due punti l'energia cinetica della scatola è uguale, anche se l'orientamento della sua velocità è diverso.





Quindi l'energia cinetica è indipendente dalla direzione della velocità!



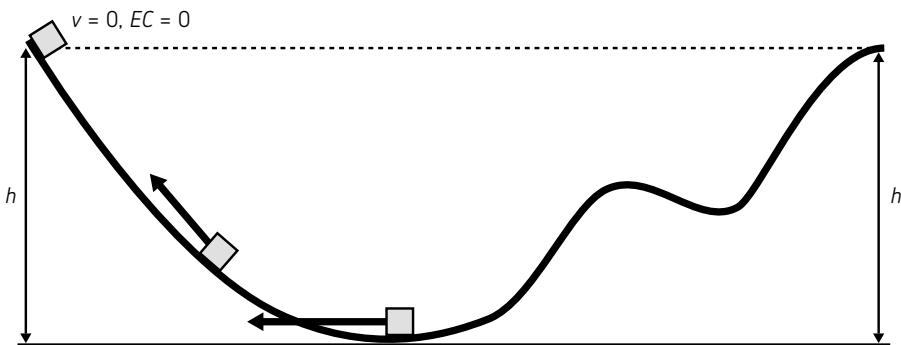
Sissignore! Anzi -ehm- signora. L'energia cinetica ha solo un modulo. Nello stesso modo, l'energia potenziale dipende solo dall'altezza.

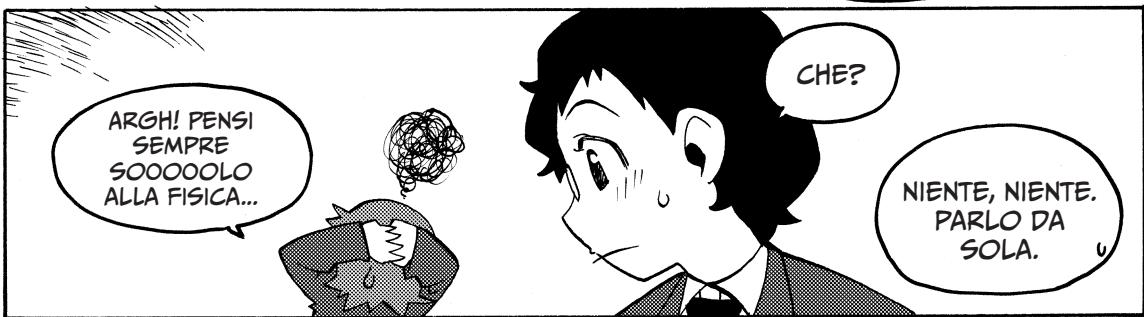


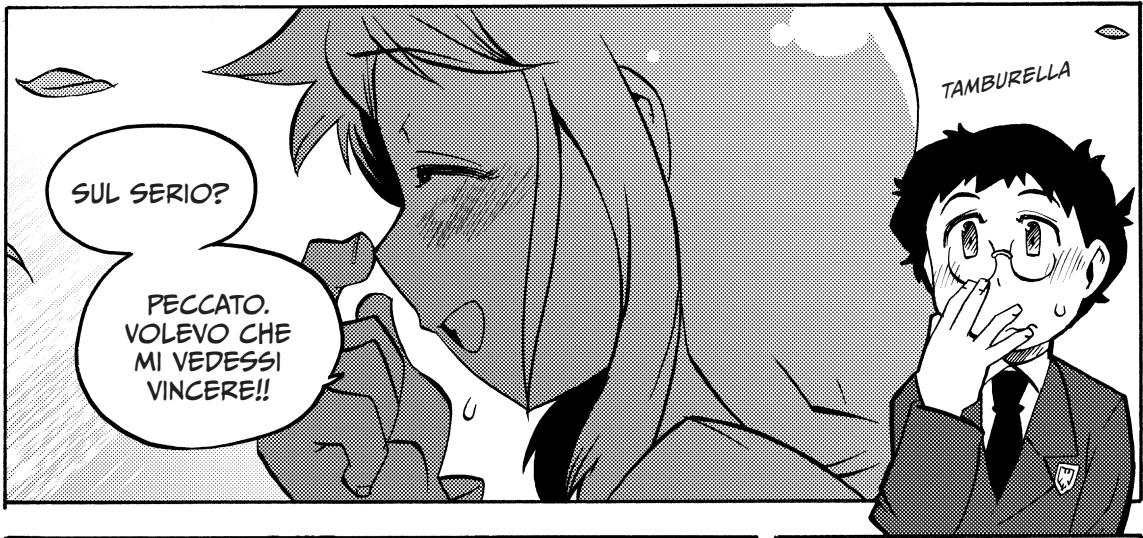
Se allunghiamo il percorso, la scatola potrebbe risalire fino all'altezza da cui era partita?



Sì, sarebbe possibile, se attrito e resistenza dell'aria sono trascurabili. Ovviamente non potrebbe mai superare l'altezza di partenza, h .







LE UNITÀ DI MISURA DELL'ENERGIA



Le unità di misura dell'energia si possono trovare applicando la definizione di energia cinetica, che è la seguente:

$$\text{energia cinetica} = \frac{1}{2} \times \text{massa} \times (\text{velocità})^2$$

Da questa espressione possiamo dedurre che:

$$\text{unità di misura dell'energia} = \text{unità della massa} \times \text{unità della velocità} \times \text{unità della velocità}$$

$$1 \text{ joule} = \text{kg} \times \text{m}^2 / \text{s}^2$$

NOTA Il fattore $\frac{1}{2}$ non influenza l'unità di misura, quindi possiamo ignorarlo quando ricaviamo le unità.

Dato che l'energia è una grandezza fisica molto comune, le viene assegnata un'unità specifica, il *joule* (J). D'altro canto, visto che la variazione di energia cinetica è uguale al lavoro compiuto (come abbiamo visto a p. 176), è vero anche che:

$$\text{unità di misura dell'energia} = \text{unità di misura del lavoro}$$

Quindi è vera anche questa espressione:

$$\text{unità dell'energia} = \text{unità della forza} \times \text{unità della distanza} = (\text{N}) \times (\text{m}) = (\text{N} \times \text{m})$$

A prima vista questa unità di misura, $\text{N} \times \text{m}$, sembra diversa da un joule ($\text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2$). Ricordiamo però che un newton è semplicemente uguale a $1 \text{ kg} \times \text{m} / \text{s}^2$. Quindi moltiplicando forza e distanza riotteniamo effettivamente la stessa unità.

Per farci un'idea di quanta energia corrisponde a 1 J, è utile tenere a mente che 1 J è uguale a $1 \text{ N} \times \text{m}$. In altre parole, possiamo dire "1 J rappresenta l'energia generata da un lavoro che muove un oggetto per un metro applicandogli sempre una forza di 1 newton".

In più, visto che la forza di gravità su un oggetto di massa 1 kg è di 9,8 N, la massa di un oggetto su cui la gravità esercita esattamente 1 N è di $1/9,8 \text{ kg} = 0,102 \text{ kg} = 102 \text{ g}$. È questo che intendevo quando dicevo che "un joule è l'energia necessaria per sollevare un oggetto di 102 g direttamente verso l'alto di un metro" (a p. 161).

Oltre al joule, un'altra unità di misura comune per l'energia è la *caloria* (cal), che si usa in contesti termici, come il riscaldamento e gli alimenti. Una caloria (1 cal) rappresenta l'energia termica necessaria per innalzare di 1 °C la temperatura di un grammo d'acqua a una pressione di un'atmosfera (1 atm). Rispetto ai joule, l'equivalenza è data da $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$.

Quando parliamo di cibo, si usa in genere la *chilocaloria* (kcal): una chilocaloria è semplicemente uguale a 1000 calorie. Anche se informalmente, parlando di cibo e diete, si usa il termine "calorie", in realtà l'unità a cui ci stiamo riferendo è la chilocaloria.

Per esempio, l'energia in 50 g di gelato è di circa 100 kcal; se la convertiamo in joule, otteniamo:

$$100 \text{ kcal} = 100.000 \text{ cal} = 4,2 \times 100.000 \text{ J} = 420.000 \text{ J}$$

Sembra un valore molto alto, ma in realtà non lo è, se lo confrontiamo con la quantità di energia necessaria per vivere. Secondo i dati del Ministero della salute giapponese, il fabbisogno giornaliero di energia è di circa 2200 kcal per una ragazza di 17 anni e di circa 2700 kcal per un ragazzo della stessa età. Le chilocalorie si convertono in joule così:

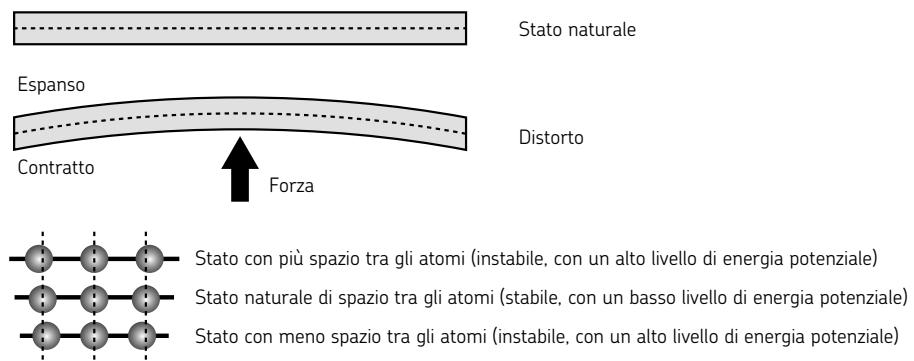
$$2200 \text{ kcal} \times 1000 \text{ cal/kcal} \times 4,2 \text{ J/cal} = 9.240.000 \text{ J}$$

Vediamo che vuol dire. Dato che l'energia necessaria per sollevare di un metro un carico di massa 1 kg è 9,8 J, questo valore è quasi la quantità di energia che serve per sollevare di un metro una massa di un milione di chilogrammi! Quindi per rimanere in vita abbiamo bisogno di una quantità enorme di energia.

ENERGIA POTENZIALE

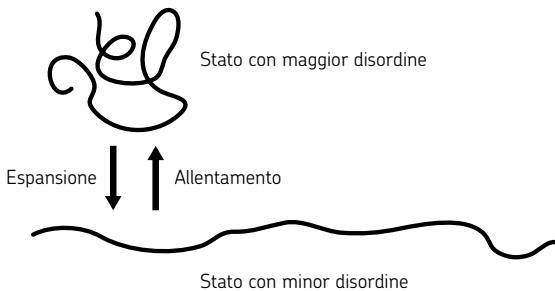
L'energia cinetica risiede negli oggetti in movimento. Invece l'energia potenziale non è contenuta dentro un oggetto: è in genere energia che deriva dalla posizione di un oggetto. Tra le forme tipiche di energia potenziale ci sono quella gravitazionale e l'energia potenziale di un campo elettrostatico, da cui derivano le forze elettriche attrattive e repulsive.

Possiamo considerare come una forma di energia potenziale anche l'energia elastica immagazzinata nelle molle e negli elasticci. Vari fattori influiscono nel modo in cui materiali diversi contengono questa energia potenziale. L'elasticità delle molle consiste nel fatto che tornano allo stato di partenza: vogliono recuperare la posizione stabile iniziale dopo che lo spazio tra gli atomi (dipendente dall'energia potenziale del campo elettrico che agisce sugli atomi) era stato modificato. Una classica molla elicoidale è fatta in modo da trasformare la minuscola deformazione che si verifica in un barretta rettilinea di metallo in una deformazione maggiore.



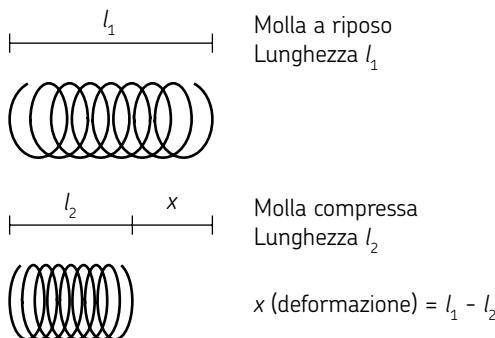
Invece l'elasticità della gomma deriva dall'attività delle molecole di polimeri per recuperare lo stato iniziale dotato di un maggior "disordine", in cui sono avvolte molto strettamente, dopo essere state portate in uno stato con minor "disordine", in cui le molecole sono espansse e allineate.

Molecole di polimeri della gomma



LE MOLLE E LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

Pensiamo all'elasticità di una molla come esempio della conservazione dell'energia.

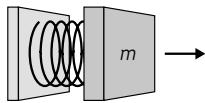


Quando comprimiamo* una molla con costante elastica k (possiamo pensare a k come a una misura di quanto è “molleggiata” la nostra molla, espressa in N/m) di una lunghezza x (la distanza in meno rispetto alla sua lunghezza naturale), l’energia potenziale contenuta nella molla si può esprimere come segue:

$$EP = \frac{1}{2}kx^2$$

Questa energia immagazzinata è detta *energia potenziale elastica*. Se mettiamo una massa m accanto alla molla e fissiamo l'estremità opposta, che forza riceverà? E quale sarà la sua velocità?

* Osserviamo che una molla funziona nello stesso modo anche se la si tende. Queste formule valgono sia per la tensione che per la compressione.



La molla tende a tornare al suo stato naturale ed eserciterà una forza sulla massa m .

Dunque: sappiamo che, per via della conservazione dell'energia, l'energia cinetica di questa massa deve essere uguale all'energia potenziale della molla. Quindi deve valere:

$$EP_{\text{molla}} = EC_{\text{massa}}$$

$$\frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv^2$$

Esplicitando la v , otteniamo:

$$v = \sqrt{\frac{kx^2}{m}}$$

Inoltre, quando la molla si espande, sappiamo che l'oggetto è soggetto alla forza:

**ATTENZIONE:
CALCOLO
DIFFERENZIALE
E INTEGRALE!**



Quindi il calcolo del lavoro compiuto quando la molla con forza elastica $F = -kx$ si espande di una lunghezza x rispetto alla sua lunghezza a riposo ci dà:

$$W = \int_{-x}^0 (-kx) dx = \frac{1}{2} kx^2$$

Coincide con l'energia potenziale, il che è corretto, considerando la conservazione dell'energia.

LA VELOCITÀ DI LANCIO E L'ALTEZZA RAGGIUNTA



A pagina 194, in risposta alla domanda di Megumi sull'altezza che raggiungerebbe una palla lanciata con una velocità iniziale di 100 km/h, ho risposto che è 39 metri.

Vediamo perché. Sapendo che vale l'espressione che segue, possiamo esplicitare h , l'altezza raggiunta dall'oggetto lanciato:

$$v_1^2 = 2gh$$

$$h = \frac{v_1^2}{2g}$$

Adesso, facendo i conti, sappiamo che 100 km/h corrispondono a:

$$100 \frac{\text{km}}{\text{h}} \times 1000 \frac{\text{m}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 27,78 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Inseriamo ora questo valore nella nostra formula e vediamo che cosa troviamo:

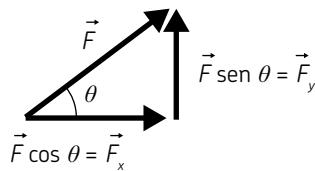
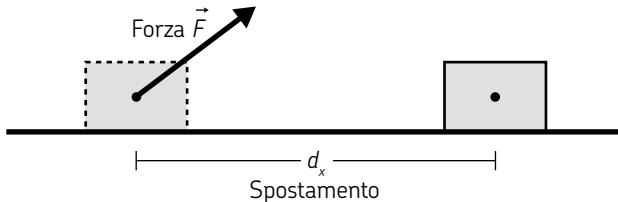
$$h = \frac{v_1^2}{2g}$$

$$h = \frac{27,78^2}{2 \times 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h = 39,37 \text{ m}$$

L'ORIENTAMENTO DELLA FORZA E DEL LAVORO

Come sappiamo, il lavoro si esprime in termini di una forza e della distanza (o, meglio, dello spostamento) lungo cui la forza viene esercitata su un oggetto. Consideriamo un oggetto che compie uno spostamento d , subendo una forza F come mostrato qui sotto.



Quando l'orientamento di una forza e dello spostamento corrispondente non sono uguali, dobbiamo tenerne conto. Nell'esempio sopra, il lavoro (W) è rappresentato come segue:

$$W = \vec{F}_x d_x + \vec{F}_y d_y$$

Abbiamo scomposto la forza e lo spostamento nelle loro componenti orizzontale (x) e verticale (y). In questo caso sappiamo però che lo spostamento verticale della scatola è

0, dato che si muove lungo il terreno. Lo possiamo quindi ignorare nei nostri calcoli del lavoro totale compiuto sulla scatola:

$$W = \vec{F}_x d_x$$

$$W = \vec{F} \cos \theta \times d_x$$

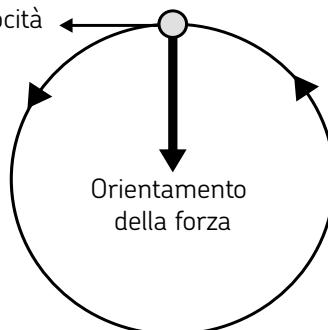
Vale anche la pena di notare che abbiamo appena svolto un prodotto scalare.

Ma... che cos'è? Dunque, il lavoro e l'energia sono scalari, cioè non hanno una direzione. Invece la forza e lo spostamento sono entrambi vettori, perché la hanno. La moltiplicazione di due vettori svolta in questo modo si chiama prodotto scalare.

Nel caso in cui la forza è in verso opposto allo spostamento, si dice che il lavoro svolto è negativo, e porta a una decelerazione.

Inoltre, quando l'orientamento della forza è perpendicolare allo spostamento, visto che $\cos 90^\circ = 0$, non viene compiuto lavoro. Un esempio tipico in cui l'orientamento della forza è perpendicolare a quello dello spostamento è il moto circolare uniforme. La forza è diretta verso il centro della circonferenza (forza centripeta) e quindi l'energia cinetica non cambia perché il valore del lavoro è nullo. È per questo che un oggetto si può muovere lungo una circonferenza a velocità

L'orientamento della velocità
corrisponde a quello
dello spostamento.



uniforme.

ATTENZIONE:
CALCOLO
DIFFERENZIALE
E INTEGRALE!

CALCOLIAMO IL LAVORO COMPIUTO DA UNA FORZA NON COSTANTE (UNIDIMENSIONALE)



Nel caso di una forza costante possiamo esprimere il lavoro come il prodotto dello spostamento e della forza nella direzione dello spostamento. Ma spesso le forze non sono costanti.

Per tenere conto di forze non costanti, possiamo suddividere la forza in intervalli brevi. Se la dividiamo in segmenti sufficientemente piccoli, possiamo considerare la forza come costante lungo ogni segmento. Esaminiamone uno qualsiasi, che indicheremo con l'indice i , e il lavoro verrà espresso con il prodotto che abbiamo visto finora:

$$\frac{1}{2}mv_{i+1}^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = F\Delta x$$

Ovviamente ciò vale per ogni segmento i , e quindi li possiamo sommare tutti per calcolare il lavoro compiuto nel corso dell'intero spostamento, da x_1 a x :

$$\left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2\right) + \left(\frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2\right) + \left(\frac{1}{2}mv_4^2 - \frac{1}{2}mv_3^2\right) + \dots = \\ F_1\Delta x + F_2\Delta x + F_3\Delta x + \dots$$

Guardando attentamente il primo membro, notiamo che quasi tutti i termini si cancellano a due a due! Ce ne rimangono solo due:

$$\frac{1}{2}mv_n^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

Possiamo quindi riscrivere l'uguaglianza come:

$$\frac{1}{2}mv_n^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = \sum_{i=1}^n F_i \Delta x$$

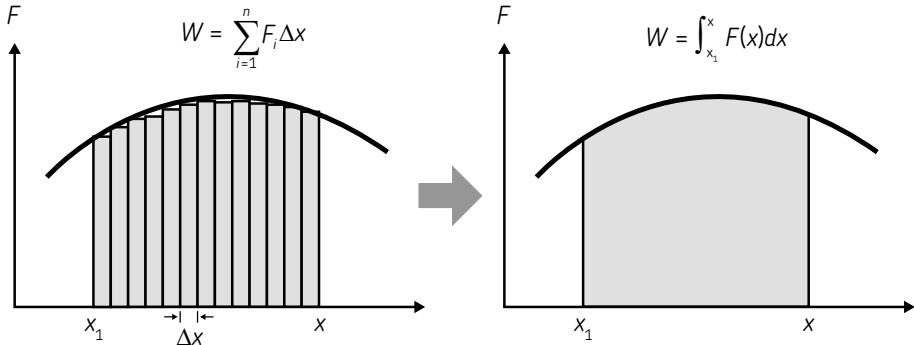
Abbiamo sommato i pezzettini di lavoro compiuto in ogni istante, ottenendo la variazione complessiva di energia, cioè il lavoro W . Come vedete, somiglia notevolmente alla definizione di integrale; infatti, se prendiamo dei tratti infinitamente piccoli facendo tendere n a infinito, possiamo sostituire la sommatoria con un integrale:

$$W = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum_{i=1}^n F_i \Delta x$$

$$W = \int_{x_1}^x F(x) dx$$

NOTA F qui non denota una funzione. Ricordiamo che F sta per "forza"!

Si capisce molto meglio con un grafico, perché stiamo semplicemente misurando l'area sotto la curva nel grafico di F come funzione di x . Un integrale è esattamente questo, il limite in cui la lunghezza di ogni segmento tende a zero.



In conclusione, l'affermazione secondo cui la variazione di energia cinetica fra due punti è uguale al lavoro compiuto sull'oggetto in quel tratto significa che:

$$W = \int_{x_1}^x F(x)dx$$

Dato questo, possiamo esprimere quell'affermazione come:

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W$$

Osserviamo che la v nell'uguaglianza è la velocità finale dell'oggetto, v_n .

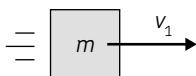
FORZE NON CONSERVATIVE E LA LEGGE DI CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA



Non tutte le forze hanno un potenziale: quelle che non lo hanno si dicono *non conservative*. L'attrito è una tipica forza non conservativa. Quando una forza di questo tipo compie un lavoro, l'energia del sistema diminuisce. Per esempio, se spingiamo un libro sul ripiano di un tavolo, rallenta e si ferma. Non vuol dire che l'energia non si conservi: solo che è andata a finire da qualche parte da cui non si può recuperare facilmente. Per esempio, il libro ha ceduto energia cinetica alle molecole del tavolo sotto forma di calore.

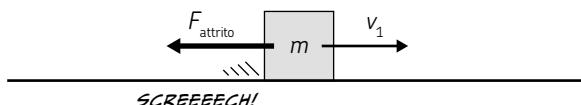
L'ATTRITO: UNA FORZA NON CONSERVATIVA

Esaminiamo il caso dell'attrito, un esempio di forza non conservativa. Cominciamo col considerare una massa m in moto con velocità v_1 .



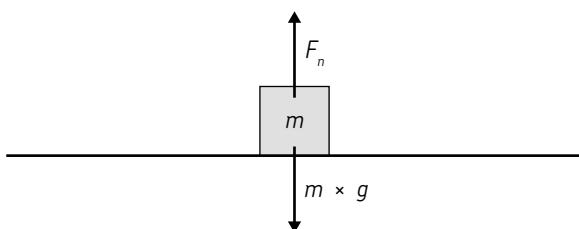
Se sull'oggetto non agiscono forze, continuerà per sempre a spostarsi a velocità v_1 : è semplicemente il primo principio della dinamica. Ma la vita non è così semplice.

Immaginiamo che il moto dell'oggetto sia contrastato dall'attrito fra il fondo del libro e la superficie su cui si sposta.



Il modulo di questa forza dipende da due fattori: la forza normale e il coefficiente di attrito. Ma cosa sono? Dunque, la *forza normale* è semplicemente la forza *perpendicolare* alla superficie su cui si sposta il corpo. Maggiore è la massa di un oggetto e maggiore è la forza normale, e quindi maggiore è la forza di attrito. Nell'esempio qui sopra, la forza normale è semplicemente il peso della massa ($F = ma$, e quindi in questo caso $F_{\text{normale}} = m \times g$).

Fra poco esamineremo un esempio più complesso di forze normali, per mostrare che possono non coincidere con il peso di un oggetto.



Il coefficiente di attrito è semplicemente una misura di quanto siano “appiccicose” due superfici. La gomma sul cemento, per esempio, ha un coefficiente di attrito molto alto; invece quello tra il ghiaccio e la lama di un pattino è bassissimo. Usiamo la seguente formula per determinare la forza di attrito che agisce su un oggetto:

$$F = \mu \times F_n$$

forza di attrito = coefficiente di attrito × forza normale

Dato che $F = ma$, sappiamo che la forza normale è semplicemente la massa moltiplicata per l'accelerazione di gravità; cioè, $F_n = m \times g$:

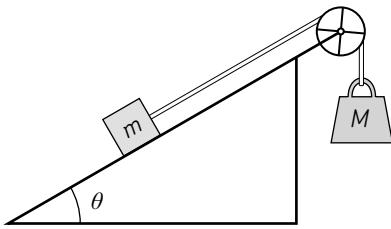
$$F = \mu \times m \times g$$

La variabile μ che usiamo per rappresentare il coefficiente di attrito è la lettera greca “mū” (che si pronuncia “mi” o “mu”). Gli scienziati determinano il coefficiente di attrito fra due oggetti con osservazioni dirette ed esperimenti. Il coefficiente di attrito assume valori da pochissimo più di zero a più di uno.

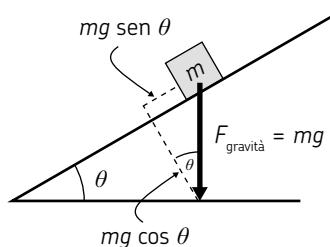
Un attimo, però: come troviamo la direzione della forza di attrito? E che cosa succede quando finalmente l'oggetto si ferma? Usiamo il buon senso: l'attrito agisce in modo da contrastare il movimento. È sempre nella direzione opposta a quella della velocità o della forza applicata (compreso il caso in cui l'oggetto è immobile). E la formula che abbiamo scritto sopra non è sempre vera; è semplicemente la massima forza possibile esercitata dall'attrito sull'oggetto. Quando è a riposo e non gli vengono applicate forze esterne, non c'è forza di attrito. Ovviamente l'attrito non sposta all'indietro un oggetto!

ATTRITO SU UN PENDIO

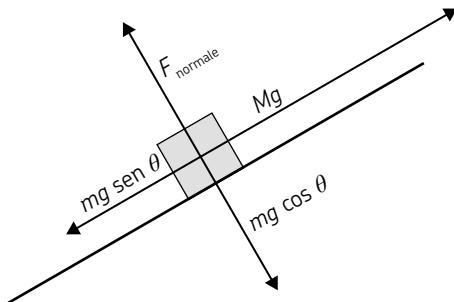
Consideriamo adesso una situazione più complicata. Una piccola massa m si trova su un piano inclinato a un angolo θ . La massa m è collegata a una massa più grande M con una corda, che esercita una forza sulla massa più piccola in direzione parallela al piano inclinato.



Se non ci sono altre forze da considerare, le uniche forze sulla massa m sono la forza di gravità, $m \times g$, e la forza della tensione della corda, $M \times g$. Per determinare l'accelerazione della massa m , scomponiamo la forza di gravità in una forza che si oppone alla direzione del movimento (e quindi parallela alla direzione del piano inclinato e alla tensione della corda attaccata a M) e in una perpendicolare alla rampa stessa.



Sappiamo che il triangolo rettangolo formato dalla scomposizione di questa forza è simile al triangolo formato dal piano inclinato (cioè ha lo stesso angolo θ). Quindi la forza che si oppone alla tensione della corsa è pari a $mg \sin \theta$. La forza perpendicolare alla rampa e al movimento della massa m è pari a $mg \cos \theta$. Se non c'è attrito, possiamo ignorare questa forza, perché è controbilanciata da una forza opposta generata dalla rampa: è semplicemente il terzo principio della dinamica.



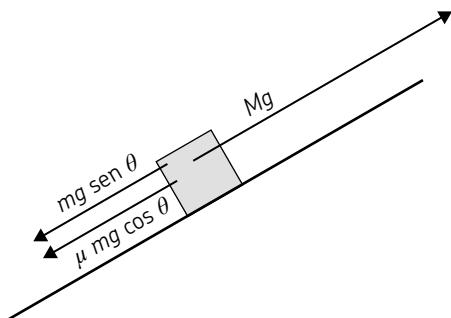
Adesso che sappiamo tutto ciò, riusciamo a capire se questo sistema funziona, quando teniamo conto anche dell'attrito fra la massa m e la rampa? Prima di tutto, pensiamo alla forza normale. Abbiamo visto che è la forza perpendicolare alla superficie: quindi la forza dell'oggetto perpendicolare alla rampa, $mg \cos \theta$, è uguale alla nostra forza normale. Così la forza di attrito sull'oggetto è data da:

$$F_{\text{attrito}} = \mu mg \cos \theta$$

Tenendo conto di tutte le forze che agiscono sull'oggetto parallelamente al piano inclinato ($mg \cos \theta$ è controbilanciata dalla forza normale), abbiamo la seguente relazione:

$$F_{\text{totale}} = Mg - mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta$$

forza totale = peso di M – componente della forza di gravità – forza di attrito



Sapendo ciò, possiamo calcolare con che accelerazione l'oggetto m salirà per la rampa!

MONETE IN COLLISIONE E LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA

**ATTENZIONE:
CONTI SERI!**



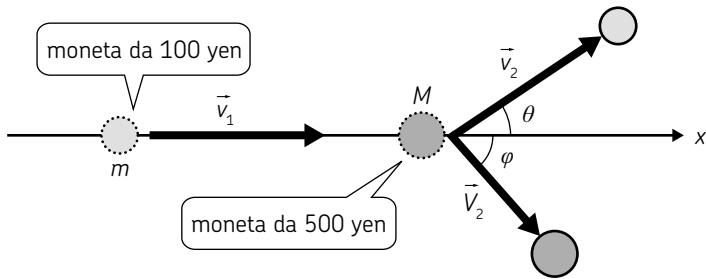
Nel Capitolo 3 abbiamo parlato della collisione fra monete, della conservazione della quantità di moto e di come debba valere in due dimensioni (pagina 144). In quell'esempio abbiamo visto che la quantità di moto iniziale della moneta da 100 yen nella direzione x deve essere uguale alla quantità di moto finale delle due monete, sempre nella direzione x . Nelle seguenti equazioni

la moneta da 100 yen ha massa m e quella da 500 yen ha massa M :

$$\textcircled{1} \quad mv_1 = mv_2 \cos \theta + MV_2 \cos \varphi$$

E visto che la moneta da 100 yen non ha inizialmente nessuna quantità di moto nella direzione y , sappiamo che le quantità di moto delle due monete nella direzione y devono annullarsi a vicenda:

$$\textcircled{2} \quad 0 = mv_2 \sin \theta - MV_2 \sin \varphi$$



Assumendo che si tratti di un urto completamente elastico (e quindi che l'energia cinetica si conservi), sappiamo anche che vale:

$$\text{energia cinetica iniziale} = \text{energia cinetica finale}$$

$$③ \quad \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 + \frac{1}{2}MV_2^2$$

In queste tre equazioni (①, ② e ③) compaiono quattro incognite: v_2 , V_2 , θ e φ . Non è possibile trovare una soluzione unica, perché abbiamo troppe incognite rispetto al numero di equazioni; possiamo però trovare una relazione fra queste variabili. Esaminiamo quindi la moneta da 100 yen e in che relazione sono il rapporto tra la sua velocità finale e quella iniziale (v_2/v_1) e l'angolo di cui viene deviata (θ). Assumiamo per semplicità che $m < M$. (La collisione fra le monete da 100 e da 500 yen soddisfa questa condizione.)

Manipoliamo prima le equazioni in modo da eliminare la variabile φ , mettendo in evidenza, per comodità, $\sin \varphi$ e $\cos \varphi$. Consideriamo dapprima l'equazione ①, da cui sembra facile esplicitare $\cos \varphi$:

$$④ \quad \begin{aligned} MV_2 \cos \varphi &= mv_1 - mv_2 \cos \theta \\ \cos \varphi &= \frac{mv_1 - mv_2 \cos \theta}{MV_2} \end{aligned}$$

Troviamo adesso $\sin \varphi$ dall'equazione ②:

$$⑤ \quad \begin{aligned} MV_2 \sin \varphi &= mv_2 \sin \theta \\ \sin \varphi &= \frac{mv_2 \sin \theta}{MV_2} \end{aligned}$$

Adesso che abbiamo queste due formule (④ e ⑤), le possiamo inserire in una fondamentale uguaglianza trigonometrica, che è vera per qualsiasi angolo:

$$⑥ \quad \sin^2 \varphi + \cos^2 \varphi = 1$$

Attenzione: i calcoli che svolgiamo in questo paragrafo sono delicati! Ricavando V_2^2 , dovreste trovare:

$$⑦ \quad V_2^2 = \left(\frac{m}{M}\right)^2(v_1^2 - 2v_1v_2 \cos \theta + v_2^2)$$

Sappiamo che l'energia si conserva, e quindi deve valere anche l'equazione ❸.
Inseriamo quindi il valore dato dalla ❷ nella ❸. A questo punto abbiamo solo tre variabili da considerare: v_1 , v_2 , e θ , come volevamo. Provate a ricavare v_2 . (Un aiutino: può servire la formula risolutiva dell'equazione di secondo grado.)

Dopo tutti i calcoli, troverete la seguente relazione:

$$❸ \quad v_2 = \frac{\left(\frac{m}{M}\right) \cos \theta + \sqrt{1 - \left(\frac{m}{M}\right)^2 \sin^2 \theta}}{1 + \frac{m}{M}} v_1$$

Proviamo in questa espressione ad assegnare il valore $\theta = 0$, e troveremo $v_1 = v_2$: è il caso in cui l'oggetto 1 supera l'oggetto 2 senza collidere.

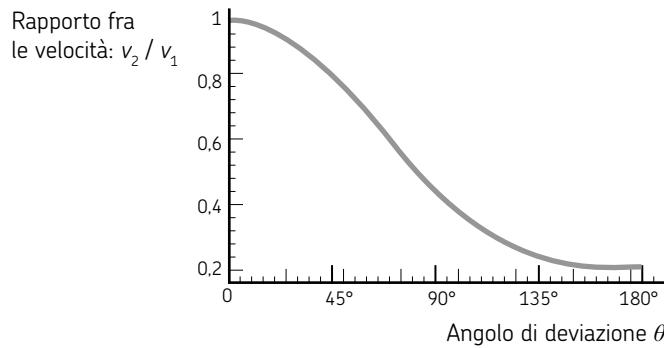
Se invece pensiamo al caso in cui gli oggetti rimbalzano in direzioni opposte e $\theta = 180^\circ$, troviamo:

$$❹ \quad v_2 = \frac{1 - \frac{m}{M}}{1 + \frac{m}{M}} v_1$$

Questa equazione indica che se la massa M è molto più grande della m , vale la relazione $v_2 = v_1$ perché il termine m / M tende a zero. Il senso è che, se un oggetto con una massa piccola collide direttamente con un oggetto enorme, rimbalza indietro alla stessa velocità che aveva prima dell'urto. Quando invece $M = m$, si ha $v_2 = 0$. Possiamo verificarlo facendo collidere due monete uguali (sostituendo quindi la moneta da 500 yen con un'altra da 100 yen) ed evitando una traiettoria obliqua. Dopo la collisione, la prima moneta si ferma, mentre la seconda, che inizialmente era ferma, si muove alla stessa velocità. In questo caso troviamo facilmente dall'equazione ❷ che $V_2 = v_1$. In sostanza, le due monete si scambiano le velocità.

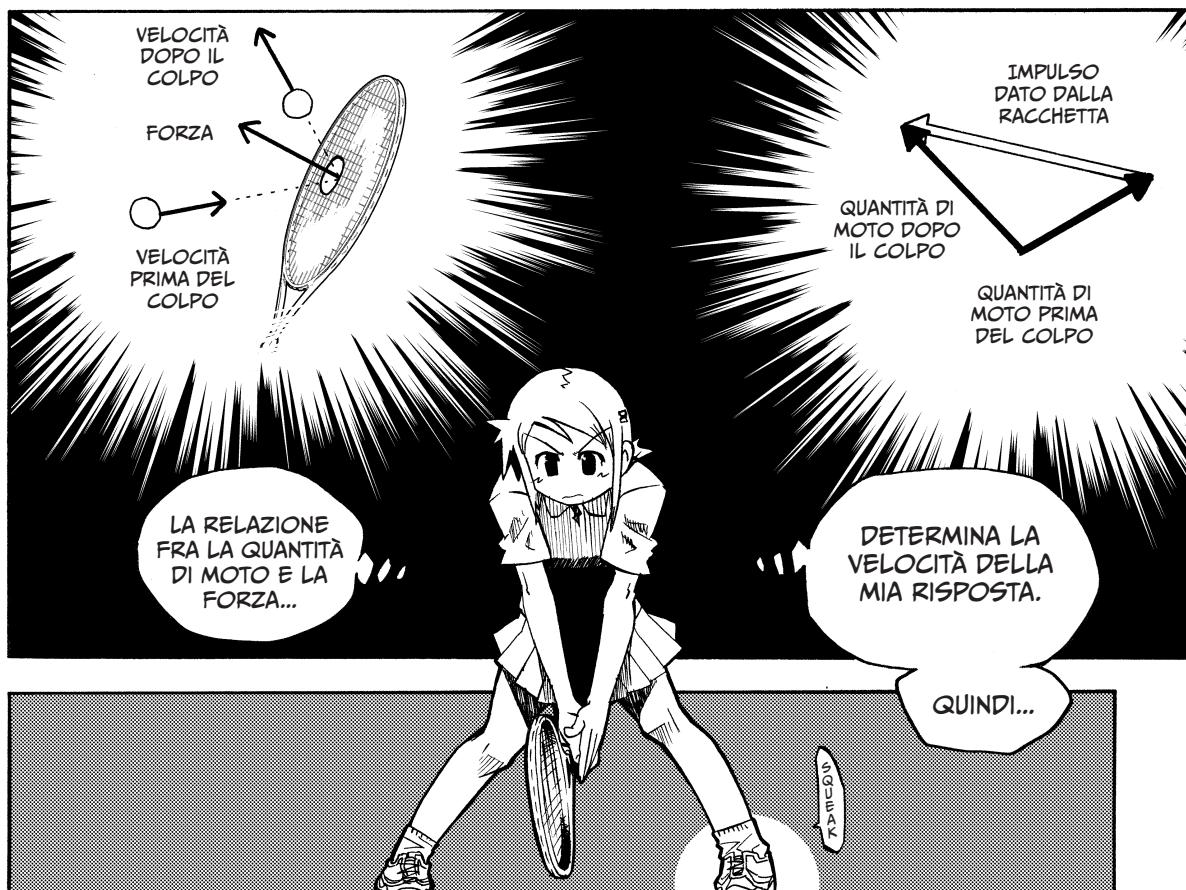
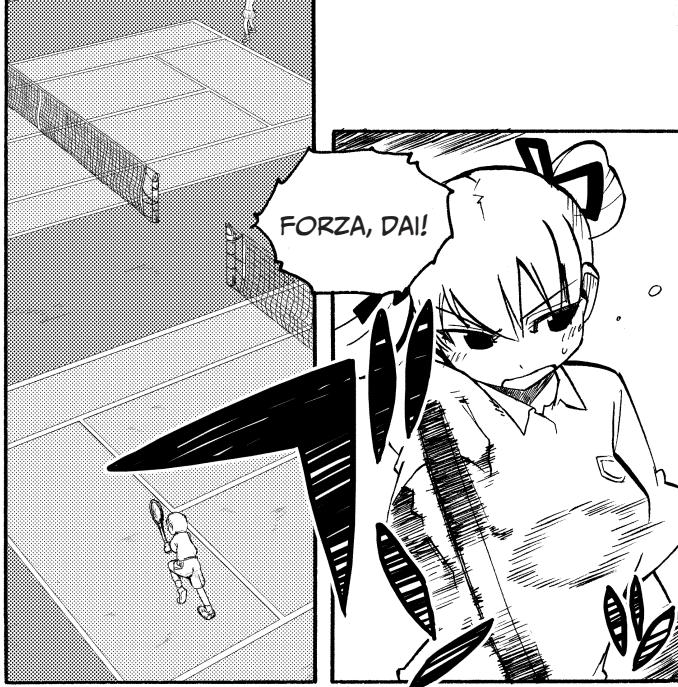
Tracciamo adesso in un grafico la relazione fra l'angolo di deviazione (θ) e il rapporto tra le velocità della moneta da 100 yen prima e dopo la collisione (v_2 / v_1). Dato che la massa di una moneta da 100 yen è di 4,8 g, mentre quella di una moneta da 500 yen è di 7,0 g, troviamo $m / M = 4,8 / 7,0 = 0,69$. Usiamo questi dati nell'equazione ❸, dopo di che ne ricaviamo v_2 / v_1 ed esprimiamo in un grafico il risultato. Ecco la formula di cui tracceremo il grafico:

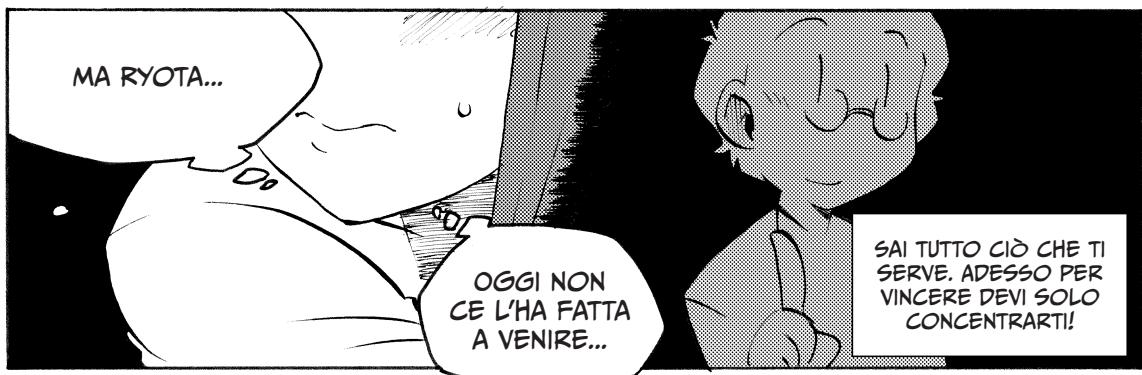
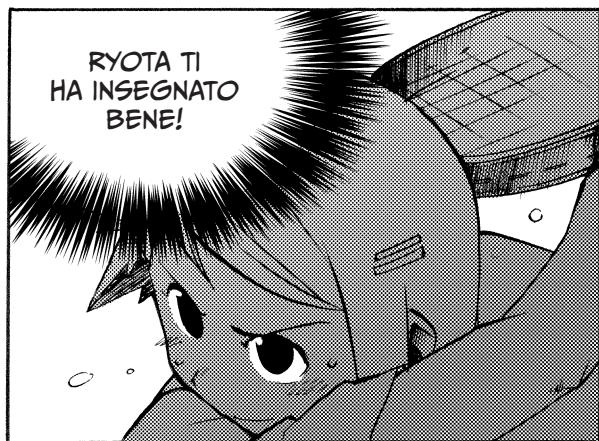
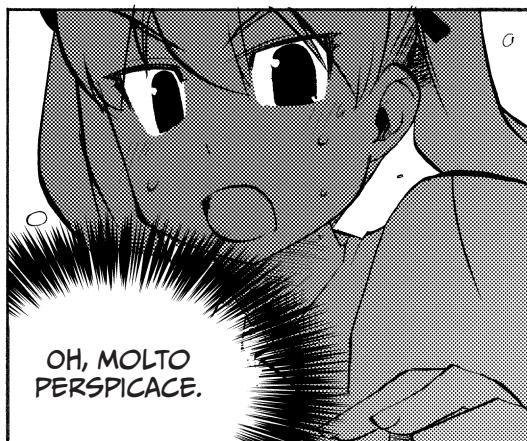
$$❽ \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{0,69 \cos \theta + \sqrt{1 - 0,69^2 \sin^2 \theta}}{1 + 0,69}$$

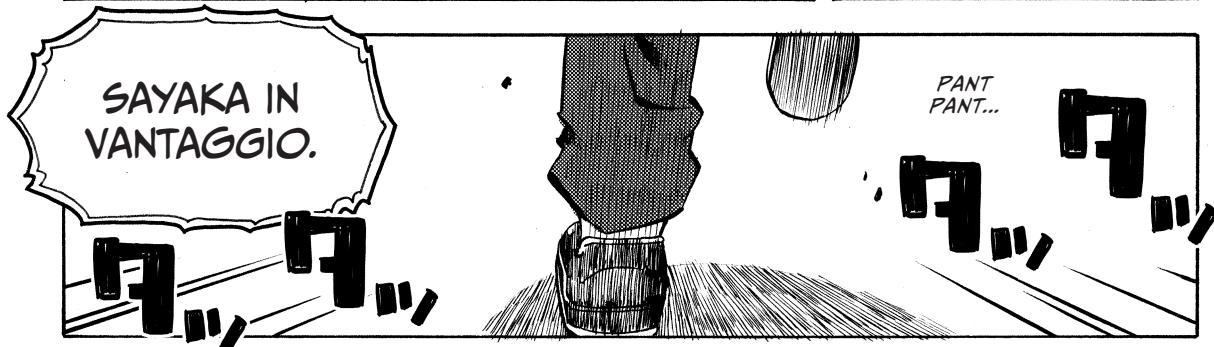


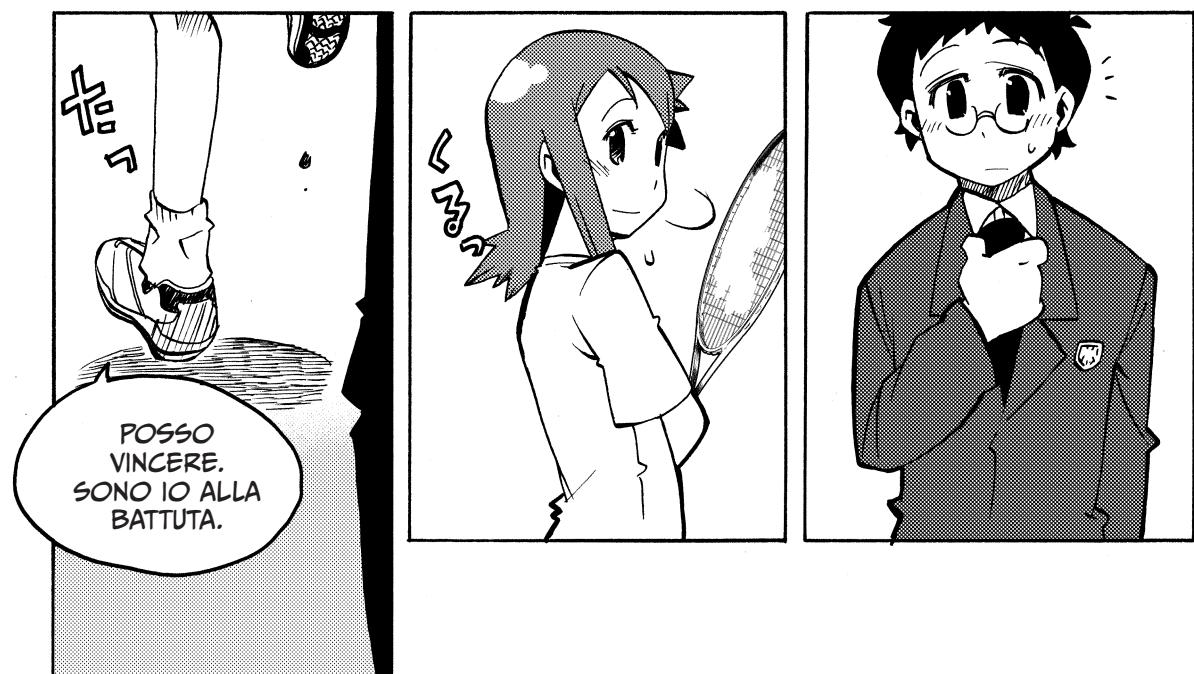
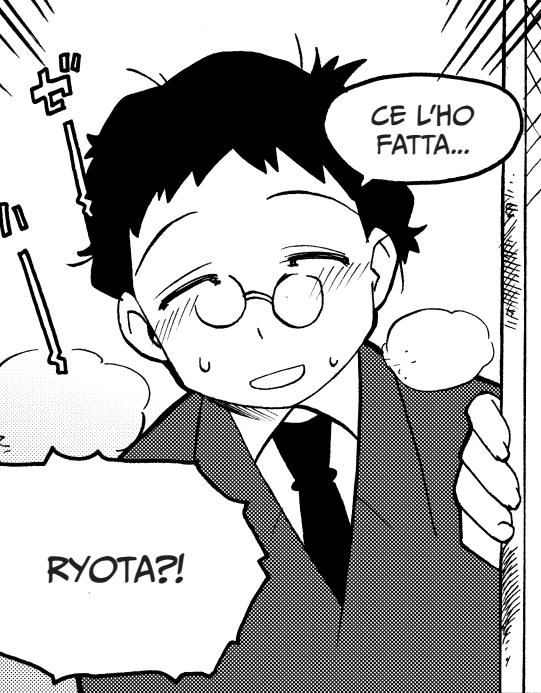
A pensarci un po' su, questo grafico diventa chiaro anche intuitivamente: se l'angolo di deviazione è grande (cioè, se la collisione tra le monete è avvenuta di striscio), la velocità finale della moneta (v_2) sarà piccola, e così anche il rapporto v_2 / v_1 . Notiamo che se usiamo oggetti con masse diverse, la relazione (e quindi il grafico che la rappresenta) cambierà.

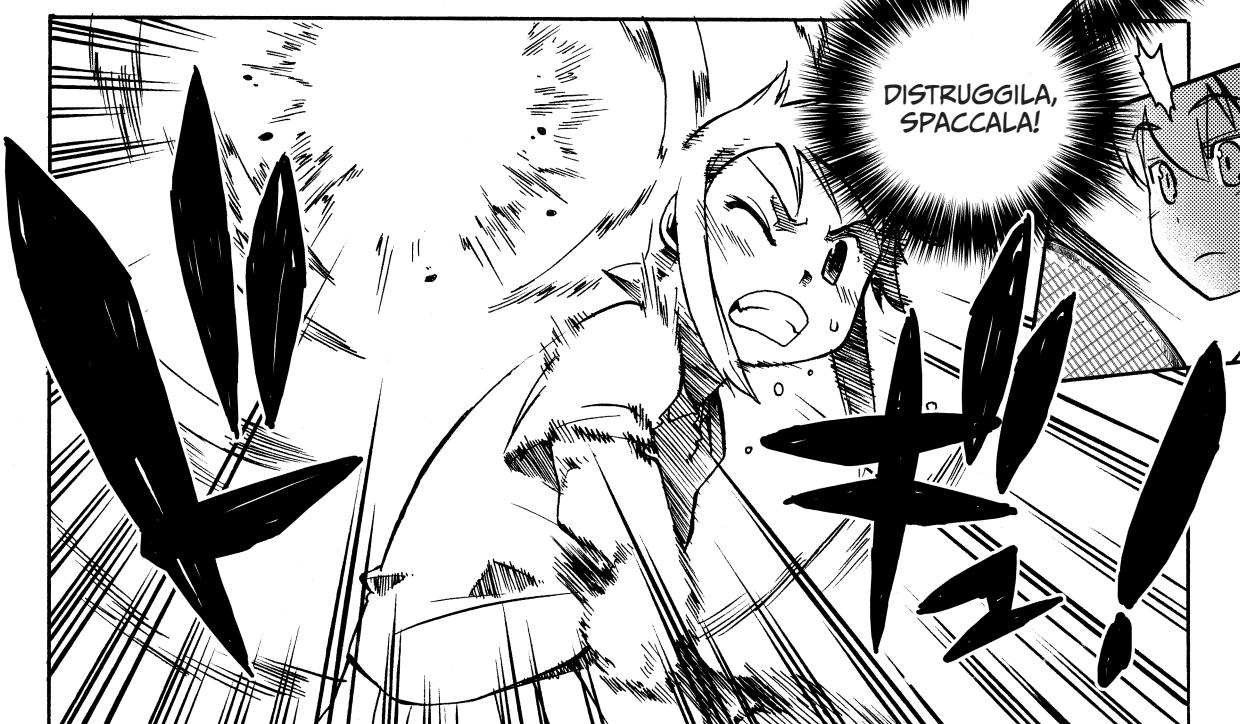
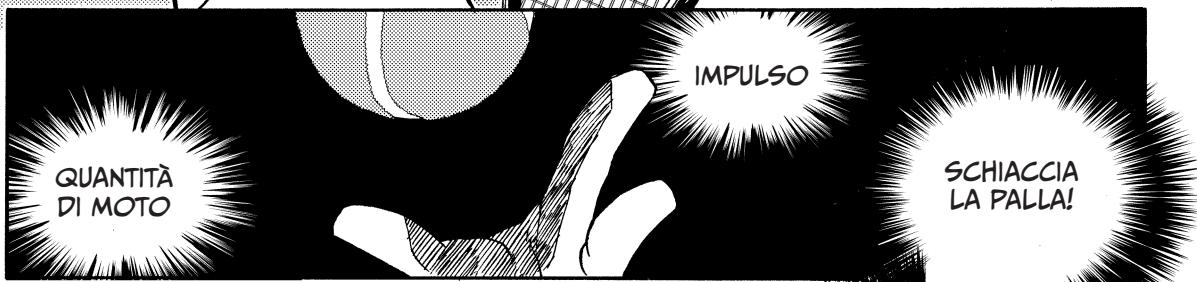


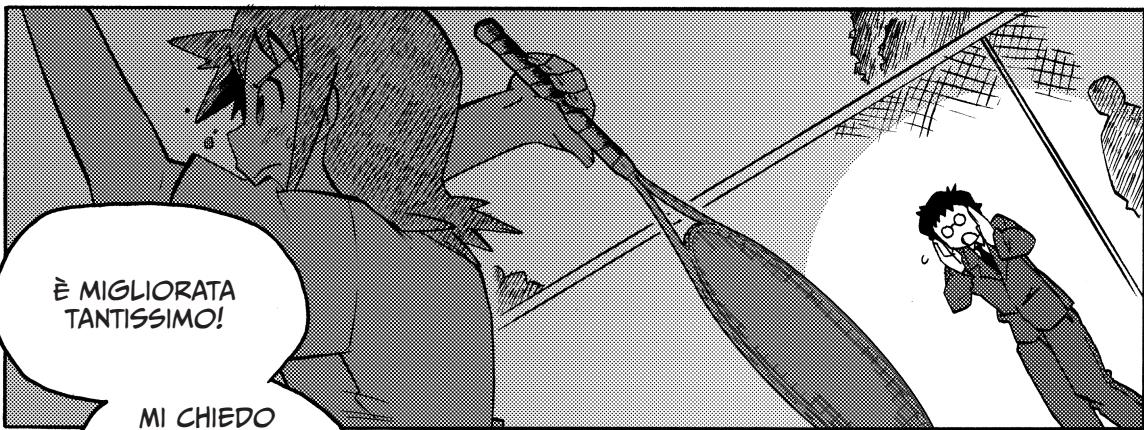
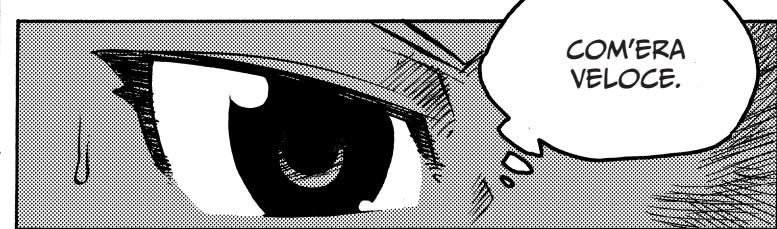


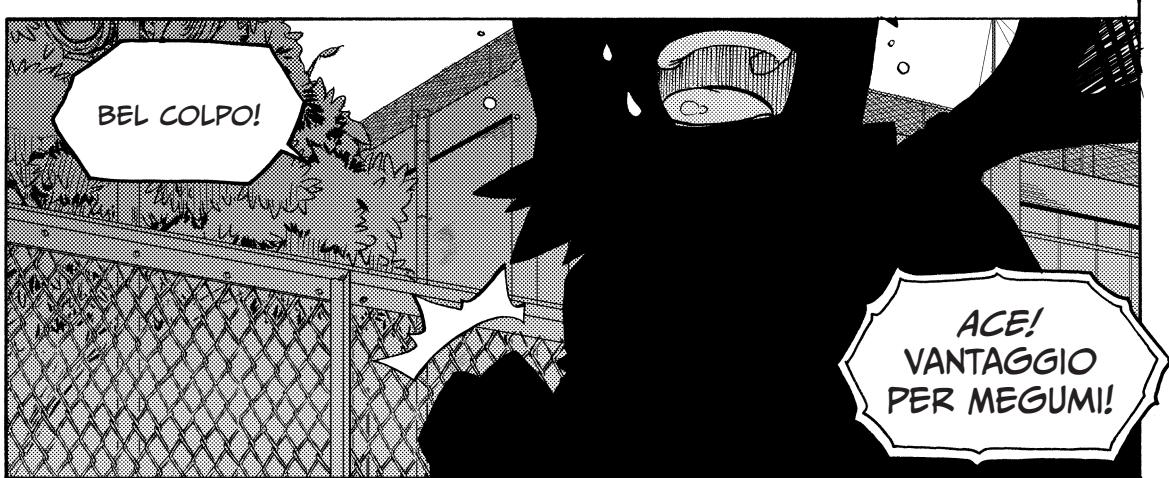














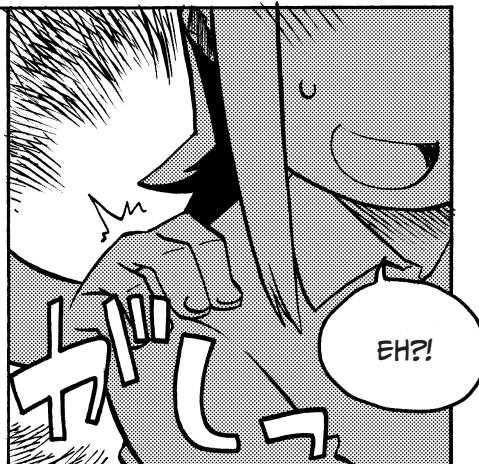
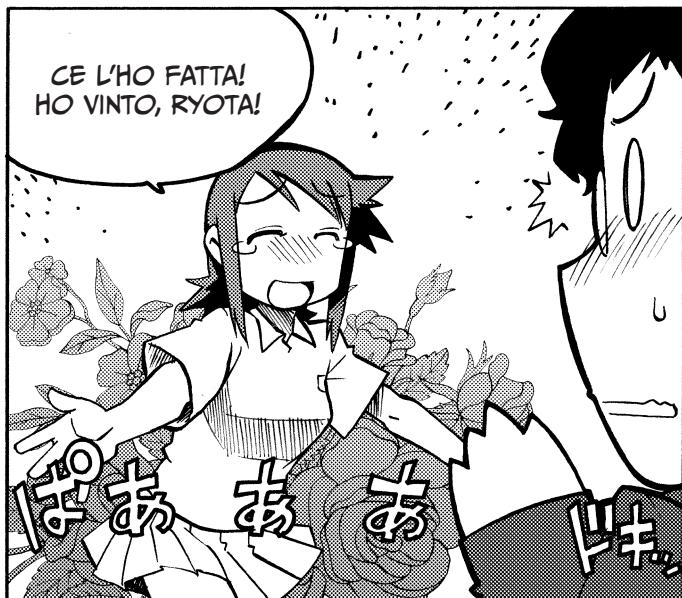
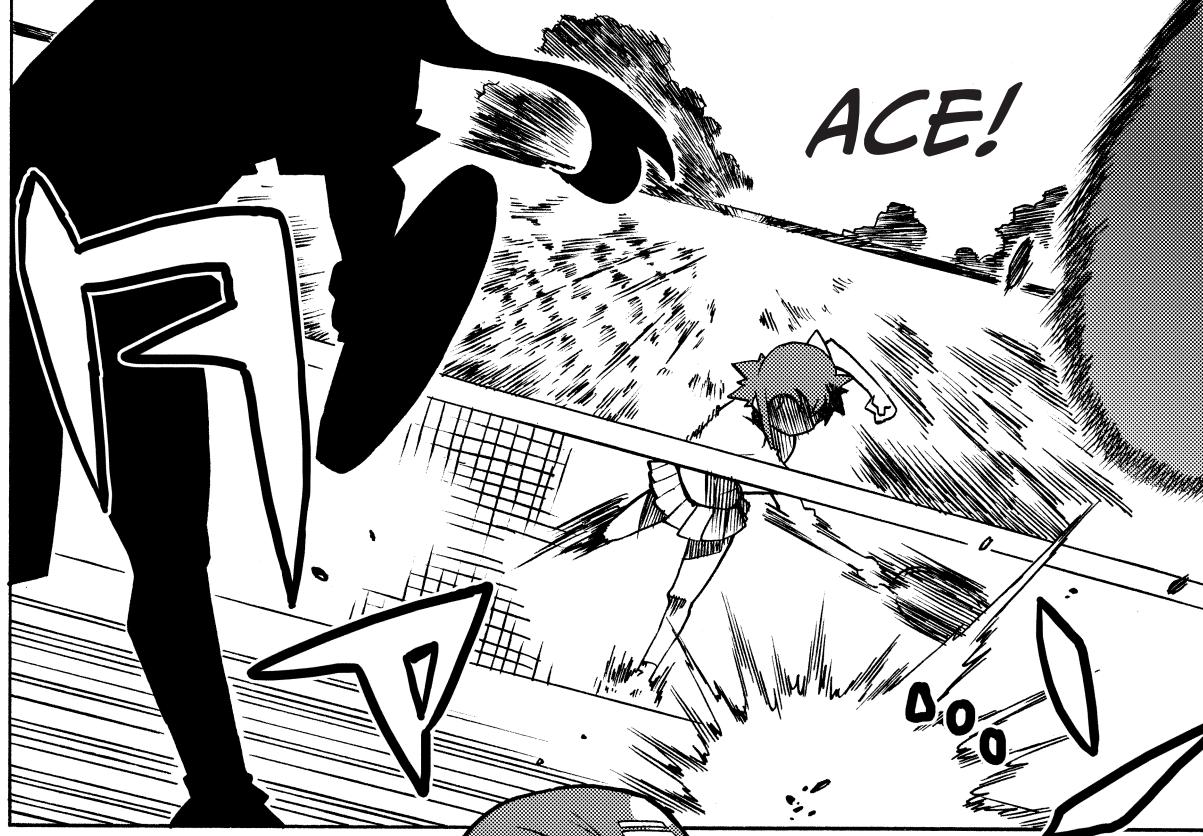
RICORDO
PERFETTAMENTE
LE TUE LEZIONI,
RYOTA.

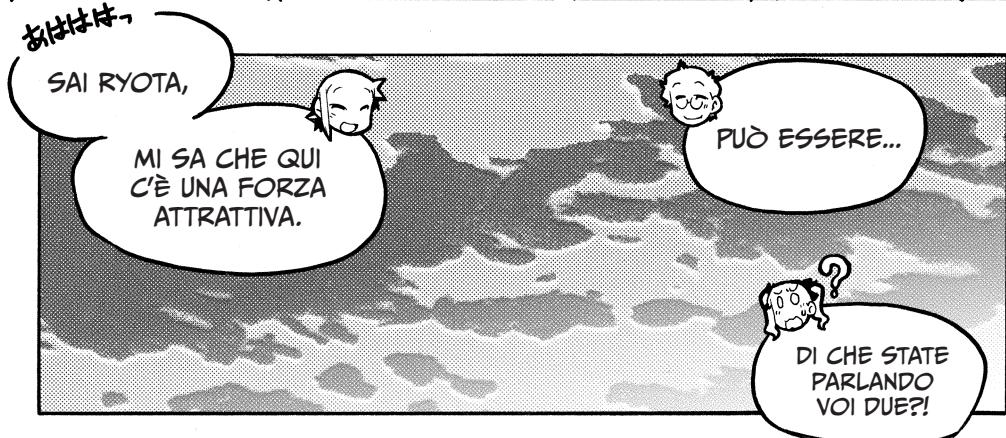
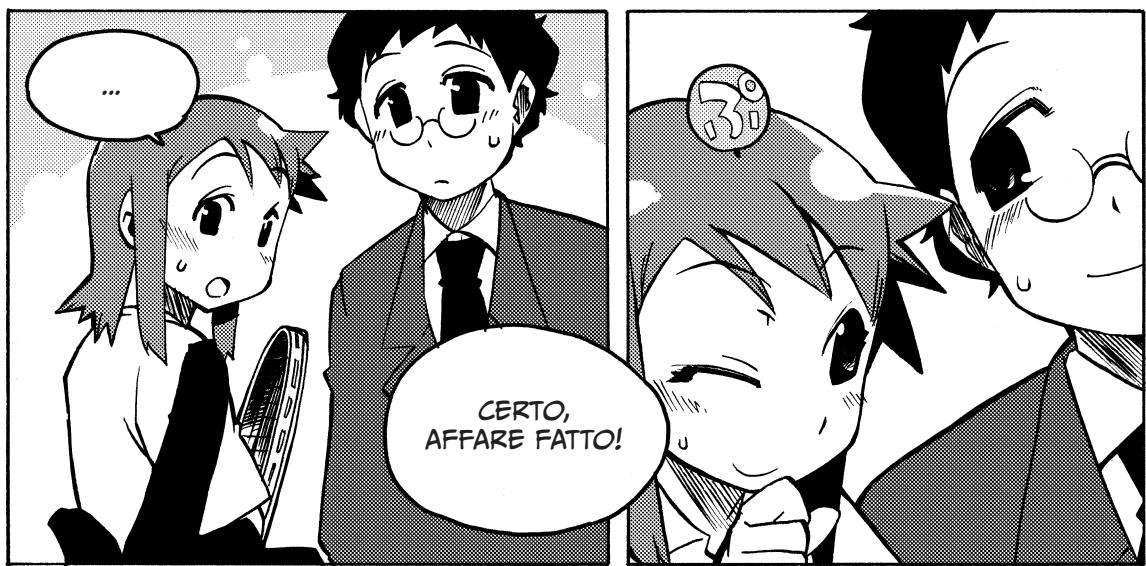


FLETTI IL CORPO.



MASSIMIZZA LA
FORZA QUANDO
LA RACCHETTA
COLPISCE
LA PALLA!





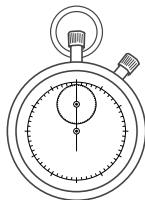
CAPIAMO LE UNITÀ DI MISURA

Quando si parla di meccanica classica, ci sono solo tre unità di misura fondamentali. A partire da queste, possiamo ricavare unità di misura più complesse come il newton e il joule. Le tre unità fondamentali sono:

metro, m
(che misura la *distanza*)



secondo, s
(che misura il *tempo*)



chilogrammo, kg
(che misura la *massa*)



VELOCITÀ E ACCELERAZIONE

Esaminiamo come si mettono insieme queste tre unità per ottenerne di nuove. Consideriamo dapprima la velocità e l'accelerazione:

$$\text{velocità} = \frac{\text{variazione di distanza (m)}}{\text{tempo (s)}} = \text{m/s}$$

$$\text{accelerazione} = \frac{\text{variazione di velocità (m/s)}}{\text{tempo (s)}} = \text{m/s}^2$$

Date queste relazioni, vediamo che la *velocità* è definita come una variazione di distanza rispetto al tempo e l'*accelerazione* come la variazione di questa variazione! Chi studia calcolo differenziale sa che questo significa che la velocità è la derivata *prima* della distanza, e l'accelerazione è la derivata *seconda* della distanza (entrambe rispetto al tempo).

FORZA

In base al secondo principio della dinamica, forza uguale massa per accelerazione ($F = ma$):

$$\text{forza} = \text{massa (kg)} \times \text{accelerazione (m/s}^2) = \text{kg} \times \text{m/s}^2 = \text{N}$$

Per risparmiarci un'emicrania, chiamiamo *newton* (N) un $\text{kg} \times \text{m/s}^2$. Ricordiamo questa relazione: sarà importante per ricavare altre unità di misura!

$$1 \text{ kg} \times \text{m/s}^2 = 1 \text{ N}$$

QUANTITÀ DI MOTO E IMPULSO

La *quantità di moto* è una grandezza fisica importante da misurare, soprattutto quando consideriamo collisioni, atterraggi o impatti. È definita così:

$$\text{quantità di moto} = \text{massa (kg)} \times \text{velocità (m/s)} = \text{kg} \times \text{m/s}$$

L'*impulso*, come abbiamo già visto nel Capitolo 3, è semplicemente una variazione di quantità di moto, e si può esprimere così:

$$\text{impulso} = \text{forza (N)} \times \text{tempo (s)} = \text{kg} \times \text{m/s}$$

Perché questo calcolo funziona? Basta ricordare che $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times \text{m/s}^2$. Osserviamo che l'unità di misura della quantità di moto, $\text{kg} \times \text{m/s}$, non ha un nome più semplice.

ENERGIA E LAVORO

L'*energia cinetica* è definita così:

$$\text{energia cinetica} = \frac{1}{2} \times \text{massa (kg)} \times \text{velocità}^2 (\text{m/s}) = \text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J}$$

Come per la forza, anche qui c'è un nome più semplice per questa unità di misura dell'energia: joule (J), che prende nome dal fisico inglese James Prescott Joule. L'*energia potenziale gravitazionale* si può calcolare così:

$$\text{energia potenziale} = \text{peso (N)} \times \text{altezza (m)} = \text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J}$$

Ovviamente, questa unità è uguale a quella dell'energia cinetica. Il lavoro è una misura dell'energia trasferita da una forza lungo una distanza. Notiamo la somiglianza fra questa relazione e la precedente:

$$\text{lavoro} = \text{forza (N)} \times \text{distanza (m)} = \text{kg} \times \text{m}^2/\text{s}^2 = \text{J}$$

Il risultato di tutti questi calcoli è sempre il joule, la nostra unità di misura dell'energia, come è giusto che sia!

PREFISSI SI

Possiamo aggiungere al nome di un'unità di misura un prefisso per ricavarne multipli e sottomultipli. Questi prefissi che indicano diverse potenze di 10 si chiamano *prefissi SI*, e derivano dalle norme fissate a livello mondiale che costituiscono il Sistema Internazionale (SI) di unità di misura. Per esempio, un chilometro (km) è uguale a 1000 metri, 7 megajoule (MJ) sono uguali a 7.000.000 joule, e 3 nanogrammi (ng) sono uguali a 0,000000003 grammi.

NOTA I simboli per i prefissi più grandi di “chilo-” sono in lettere maiuscole.

Simbolo	Prefisso	Potenza di dieci
y	yocto-	10^{-24}
z	zepto-	10^{-21}
a	atto-	10^{-18}
f	femto-	10^{-15}
p	pico-	10^{-12}
n	nano-	10^{-9}
μ	micro-	10^{-6}
m	milli-	1/1000
c	centi-	1/100
d	deci-	1/10
da	deca-	10
h	etto- (o hecto-)	100
k	chilo- (o kilo-)	1000
M	mega-	10^6
G	giga-	10^9
T	tera-	10^{12}
P	peta-	10^{15}
E	exa-	10^{18}
Z	zetta-	10^{21}
Y	yotta-	10^{24}

INDICE

A

accelerazione (a)
definizione, 37, 46–47,
50–52, 66–69, 112, 225
di gravità, 80, 82, 94–96,
172
direzione della, 78–84,
90–92
e velocità, 50–52, 90, 225
moto uniformemente
accelerato, 51, 85–86,
90, 101
tre regole della, 85–86
trovarla col calcolo
differenziale, 99–100
unità di misura, 50, 92
verso il basso, 25–26,
41, 79–82, 88, 90–91,
95–97, 172–173
altezza, determinazione, 165,
169, 171–174, 189,
191–197, 203–204
assenza di gravità, 63, 96
assenza di peso, 63, 69, 93
atomi, 143, 201
attrito
coefficiente di, 207–208
ed energia, 207–210
e resistenza dell'aria, 64,
190, 197
azione e reazione, principio di,
4, 15–20, 33–36, 40, 42,
43, 74, 83, 92, 93, 142,
143, 209
e la legge di conservazione
della quantità di moto,
120–125, 146
e l'equilibrio, 23–30

C

calcolo infinitesimale, 55,
99–100, 101, 146, 148,
203, 205–207

calcolo integrale, 101, 146,
148
calorie (cal), 161, 200, 201
campi elettrostatici, 201
centro di gravità, 42, 126
chilocalorie (kcal), 161, 200,
201
chilogrammi (kg), 92, 119,
201, 225
chilowattora (kWh), 161
cinetica, energia, 178–180,
184–185, 187, 189–193,
196–197, 200, 201,
203, 205, 207, 211, 226
coefficiente di attrito (μ),
207–208
collisioni
elastiche e anelastiche,
143–144
monete, 210–213
conservazione della quantità di
moto, legge di, 120–128,
141–149, 155, 162, 210
conservazione dell'energia
meccanica, legge di, 184,
187–193, 195–197
conservazione dell'energia,
legge di, 155–156, 163,
171–174, 189, 190,
196, 202–203, 207,
210–212
coseno, 89

D

decelerazione, 51, 67, 205
diagrammi di corpo libero,
41–42
direzione
di una forza, 18, 21–22, 29,
37–39, 40, 42–43, 47,
49, 62, 67, 75, 78–79,
82

orizzontale (x), 61–62,
87–92, 96–98, 144–146,
204, 210
verticale (y), 61, 79, 87–91,
92, 96–98, 144–146,
204, 210
distanza
calcolarla quando la velocità
varia, 53–57
calcolarla usando grafici v-t,
100–101
definizione, 47
di frenata (d), 180–183
ed energia, 167, 168, 171,
175, 178, 191, 200

E

Einstein, Albert, 93, 95
elastica, energia potenziale,
164–165, 166, 202
elastici, 166–167, 170, 201,
202, 208
elastici, urti, 143, 210–213
energia
cinetica, 178–180, 184–
185, 187, 189–193,
196–197, 200, 201,
203, 205, 207, 211, 226
conservazione della, legge
di, 155–156, 163,
171–174, 189, 190,
196, 202–203, 207,
210–212
definizione, 153–161,
200–201
e attrito, 207–210
elettrica, 156–157, 161,
201
e quantità di moto,
159–163
luminosa, 156
meccanica, 158, 164,
184–193, 195–197, 200

- meccanica, conservazione della, legge di, 184, 187–193, 195–197
- nucleare, 155
- potenziale elastica, 164–165, 166, 202
- potenziale gravitazionale, 165–166, 226
- potenziale, 155, 158, 164–171, 174, 175, 184–189, 192–197, 201–203, 226
- termica, 155, 157, 200
- trasformazioni, 184–187
- unità di misura, 161, 200–201
- equilibrio**
- definizione, 20–22
 - e forze vettoriali, 38, 39–40
 - e principio di azione e reazione, 23–30
 - perdita di, 27, 41
 - equilibrio tra forze, 21, 25–26, 39–41, 61, 87
- F**
- fisica, definizione, 34–36, 83
- forza (F), 18, 43
- attrattiva, 43, 201
 - centripeta, 205
 - composizione e scomposizione di, 87–88
 - definizione, 3, 6–7, 21, 71–72, 92, 112
 - di gravità, 21–27, 30–32, 39, 40, 42, 58–59, 76, 77, 79, 88, 91–94, 96, 172, 173, 191, 200, 209–210
 - direzione di, 75–78, 90–92, 169, 204–205
 - ed equilibrio, 38, 39–40
 - elettromagnetica, 43
 - equilibrio tra, 21, 25–26, 39–41, 61, 87
 - massima possibile, 208
- non conservativa, 207
- non costante, 205
- normale, 207–208, 210
- orizzontale, 87–88
- repulsiva, 43, 201
- risultante, 39, 40–41, 58, 60–61, 64–66, 72, 90, 210
- risultante non nulla, 41
- scomporre, 87–89
- trovare il valore preciso di, 73
- unità di misura, 43, 70, 72, 92, 119, 144, 200
- verticale, 87–88
- G**
- grafici v-t, 53–57, 73, 85, 100–101
- gravità, centro di, 42, 126
- gravità, forza di, 21–27, 30–32, 39, 40, 42, 43, 58–59, 76, 77, 79, 88, 91–94, 96, 172, 173, 191, 200, 209–210
- gravitazione universale, 32, 43, 94–95
- I**
- impulso e quantità di moto, 104–105, 111, 113–116, 118, 129–130, 132, 136, 139–144, 215, 225
- inerzia, principio di, 40, 41, 58–65, 69, 82–83, 90–92, 126, 207
- J**
- Joule, James Prescott, 226
- joule (J), 161, 200–201, 226
- L**
- lavoro (W)
- definizione, 167–169, 226
 - direzione di, 204–205
- e conservazione dell'energia, 172–174
- ed energia cinetica, 175–179, 180, 226
- ed energia potenziale, 169–171, 175–177, 226
- leggi**
- l. di conservazione della quantità di moto, 120–128, 141–149, 155, 162, 210
 - l. di conservazione dell'energia, 155–156, 163, 171–174, 189, 190, 196, 202–203, 207, 210–212
 - l. di conservazione dell'energia meccanica, 184, 187–193, 195–197
- primo principio della dinamica, 40, 41, 58–65, 69, 82–83, 90–92, 126, 207
- secondo principio della dinamica, 40–41, 58, 66–72, 90–93, 100, 111–116, 139–140, 146, 179, 225
- terzo principio della dinamica, 4, 15–20, 23–30, 33–36, 40, 42, 43, 74, 83, 92, 93, 120–125, 142, 143, 146, 209
- luminosa, energia, 156
- M**
- massa (m), 32, 43, 90
- chilogrammi (kg), 92, 119, 201, 225
- definizione, 41–42, 68–69, 90, 207
- determinare il peso in base a, 94–96
- e gravità, 43, 80
- gravitazionale, 93

- inerziale, 93
 misurare, 68–72, 74, 80,
 93–94
 massima forza possibile, 208
 meccanica, 34, 41, 134, 138,
 167, 168, 198
 metodo punta-coda, 62,
 86–87, 88, 145
 metri al secondo (m/s), 49,
 118
 metri al secondo al quadrato
 (m/s^2), 50, 92
 mi / mu (μ), 207–208
 misurazioni, 68–72, 93–94
 moduli uguali, 40, 62, 162
 modulo, 19, 21–22, 24, 25,
 27, 29, 37–42, 49, 59,
 77, 86–87, 90–96, 100,
 108, 117, 118, 139,
 144, 159, 160, 173,
 207
 modulo, simbolo, 37, 40, 42
 molle, 166, 187, 201–203
 moto. Vedi anche
 accelerazione; principi
 della dinamica
 calcolare, 10, 75–84
 circolare, 96, 205
 parabolico, 96–99
 rettilineo uniforme, 46
 uniforme, 65, 90, 149
 uniformemente accelerato,
 51, 85–86, 90, 101
 unità di misura, 144, 226
- N**
- newton (N), 43, 70, 72, 92,
 119, 144, 200, 225
 Newton, Isaac, 40, 43, 92,
 122
- O**
- orientamento
 dell'accelerazione, 78–84,
 90–92
 della forza, 75–78, 90–92,
 169, 204–205
- della quantità di moto,
 139, 144–145
 della velocità, 76, 78,
 81–82, 90–92, 196, 197
 del lavoro, 204–205
- P**
- parabole, 78, 91, 98
 peso, determinare il, 60–62,
 68, 94–96
 polinomio di secondo grado,
 98
 principi della dinamica, 33–35,
 40–42, 83–84, 90
 primo principio della
 dinamica, 40, 41,
 58–65, 69, 82–83,
 90–92, 126, 207
 secondo principio della
 dinamica, 40–41, 58,
 66–72, 90–93, 100,
 111–116, 139–140,
 146, 179, 225
 terzo principio della
 dinamica, 4, 15–20,
 23–30, 33–36, 40, 42,
 43, 74, 83, 92, 93,
 120–125, 142, 143,
 146, 209
 principio di equivalenza, 93
 proprietà commutativa, 38
 propulsione di un razzo,
 147–149
- Q**
- quantità di moto (p)
 calcolare, 107–110,
 117–119, 225
 collisioni, 143–144, 145,
 146
 conservazione della, legge
 di, 120–128, 141–149,
 155, 162, 210
 definizione, 37, 84,
 106–110, 139–140,
 159, 225
 differenze di massa,
 109–110
- direzione di, 139, 144–145
 ed energia, 159–163
 e impulso, 104–105,
 111, 113–116, 118,
 129–130, 132, 136,
 139–144, 215, 225
 e spazio aperto, 126–128,
 147–149
 e velocità, 107–110,
 112–113, 113–116
 riduzione dell'impatto,
 129–132
 variazioni di, 111–116,
 119, 121–122, 134–
 136, 140
- R**
- reazioni. Vedi principio di
 azione e reazione
 relatività generale, 93
- S**
- scalari, 37–39, 40
 secondo (s), 49, 53, 54, 75,
 81–82, 118, 132, 225
 secondo principio della
 dinamica, 40–41, 58,
 66–72, 90–93, 100,
 111–116, 139–140,
 146, 179, 225
 seno, 89
 Sistema Internazionale (SI) di
 unità di misura, prefissi,
 227
 spazio, 43, 63–64, 69, 90, 95,
 126–127, 147
 spostamento, 47, 52, 85, 99,
 100, 101, 167, 201,
 202, 204–206
 stato di disordine, 201–202
 stato di quiete, 21, 25, 30, 40,
 41, 59–62, 65
- T**
- temperatura corporea, 157

tempo, 49, 53–57, 75, 81–82, 85–86, 100–101, 118, 132
terzo principio della dinamica, 4, 15–20, 33–36, 40, 42, 43, 74, 83, 92, 93, 142, 143, 209
ed equilibrio, 23–30
e legge di conservazione della quantità di moto, 120–125, 146
trigonometria, 88–89

U

unità di misura
calorie (cal), 161, 200, 201
chilocalorie (kcal), 161, 200, 201
chilogrammi (kg), 92, 119, 201, 225
chilowattora (kWh), 161
conversione, 225–226
fondamentali, 225
joule (J), 161, 200–201, 226
metri (m), 49, 53, 225
metri al secondo (m/s), 49, 118
metri al secondo al quadrato (m/s^2), 50, 92
newton (N), 43, 70, 72, 92, 119, 144, 200, 225
secondi (s), 49, 53, 54, 75, 81–82, 118, 132, 225
prefissi SI per, 227
unità fondamentali, 225
urti anelastici, 143

V

velocità (v), 37, 85–86
e accelerazione, 50–52, 90, 225

costante, 53, 55, 64, 81, 90, 91, 96, 99, 100, 178
definizioni, 3, 29, 41, 46, 47–49, 53–55, 81, 159, 225
determinare, 194, 200, 205
direzione di, 76, 78, 81–82, 90–92, 196, 197
e distanza di frenata, 180–183
relativa, 63, 147–148
unità di misura, 49, 118
usare il calcolo
infinitesimale per calcolare, 99–100
variazione di, 50–52, 74, 81, 85, 90–91, 112–113
vettori, 21, 37–40, 49, 160
addizione, metodo punta-coda, 62, 86–87, 88, 145
negativi, 38
nulli, 38

UN'AFFASCINANTE GUIDA ALLA FISICA. A FUMETTI!



MEGUMI È UN'ATLETA NATA MA È UN DISASTRO IN FISICA. L'ULTIMO COMPITO IN CLASSE NON È ANDATO BENE PER QUESTO NON RIESCE A TROVARE LA CONCENTRAZIONE DURANTE UN'IMPORTANTE PARTITA DI TENNIS. FORTUNATAMENTE LE VIENE IN SOCCORSO UN SUO COMPAGNO DI CLASSE, RYOTA, UN GENIO IN FISICA, CHE ATTRAVERSO ESEMPI PRATICI LA AIUTA A CAPIRE LA TEORIA E PERFINO AD APPLICARLA PER MIGLIORARE LA SUA TECNICA DI GIOCO.

NE **"I MANGA DELLE SCIENZE: FISICA"** ACCOMPAGNERETE PASSO DOPO PASSO MEGUMI NEL SUO PERCORSO DI APPRENDIMENTO DELLA FISICA ATTRAVERSO OGGETTI REALI COME I PATTINI, LA FIONDA E IL SERVIZIO A TENNIS. IN POCO TEMPO DIVENTERETE ESPERTI DI CONCETTI COME LA QUANTITÀ DI MOTO, L'IMPULSO, IL MOTO PARABOLICO E LA RELAZIONE CHE C'È TRA FORZA, MASSA E ACCELERAZIONE.

IN MODO RAPIDO E DIVERTENTE IMPARERETE INOLTRE A:

- » APPLICARE I TRE PRINCIPI DELLA DINAMICA NELLA VITA QUOTIDIANA;
- » DETERMINARE COME SI MUOVONO DEGLI OGGETTI DOPO UNA COLLISIONE;
- » TRACCIARE DIAGRAMMI VETTORIALI E SEMPLIFICARE PROBLEMI COMPLESSI MEDIANTE L'USO DELLA TRIGONOMETRIA;
- » CALCOLARE COME VARIA L'ENERGIA CINETICA DI UN OGGETTO AL CRESCERE DELLA SUE ENERGIA POTENZIALE;

SE LA FISICA VI METTE IN CRISI O AVETE SEMPLICEMENTE BISOGNO DI UN RIPASSO, **"I MANGA DELLE SCIENZE: FISICA"** VI AIUTERA' A CAPIRE QUESTA MATERIA IN MODO ACCATTIVANTE, PRATICO E ORIGINALE.



Ohmsha

no starch
press

la Repubblica Le Scienze



Pubblicazione settimanale da vendersi esclusivamente
in abbinamento a la Repubblica oppure a Le Scienze.
Supplemento al numero in edicola.
9,90 euro + il prezzo di Repubblica oppure de Le Scienze.