

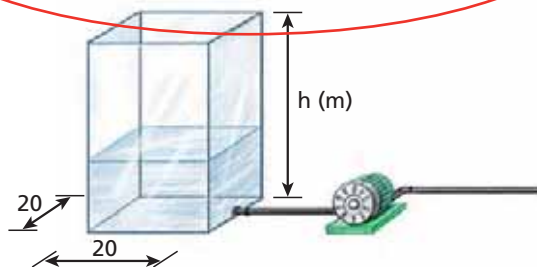
24 Percorri 100 m in 40 s e poi 100 m in 60 s.
 ► Qual è stata la tua velocità media nei 200 m percorsi? [2,0 m/s]

25 Un nastro trasporta oggetti di forma sferica, di raggio 5 cm, distanziati mediamente di 2 cm l'uno dall'altro e li fa cadere in uno scatolone. Lo scatolone può contenere 180 oggetti e viene riempito in un minuto.
 ► A quale velocità si muove il nastro trasportatore? [0,36 m/s]

26 Ti alleni a correre e vuoi mantenere una velocità media di 6,0 m/s per 1800 m. Percorri i primi 500 m a 5,0 m/s.
 ► Quale velocità devi mantenere nel secondo tratto

per ottenere la velocità media che ti eri prefissato sull'intero percorso? [6,5 m/s]

27 Una pompa spinge 6,0 litri d'acqua al minuto dentro un recipiente a sezione quadrata di lato 20 cm.
 ► A quale velocità sale il livello dell'acqua? [0,25 cm/s]



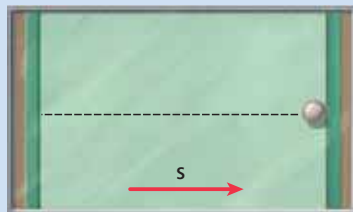
3 Il grafico spazio-tempo

28 ESEMPIO

Un software simula una palla da biliardo che rimbalza perpendicolarmente tra due sponde distanti sul monitor 20 cm. Il modulo della velocità non cambia e tra un rimbalzo e l'altro passano 2,5 s.
 ► Costruisci una tabella spazio-tempo e poi disegna il grafico per i primi 10 s del moto.

■ RISOLUZIONE

Scegliamo un sistema di riferimento come quello mostrato. All'istante iniziale $t = 0$ s la palla è a contatto con la sponda a sinistra.



Il modulo della velocità è

$$v = \frac{20 \text{ cm}}{2,5 \text{ s}} = 8,0 \text{ cm/s}$$

Scegliamo $\Delta t = 0,5$ s e costruiamo la tabella spazio-tempo.

t (s)	s (cm)	t (s)	s (cm)
0,0	0	5,0	0
0,5	4,0	5,5	4,0
1,0	8,0	6,0	8,0
1,5	12,0	6,5	12,0
2,0	16,0	7,0	16,0
2,5	20,0	7,5	20,0
3,0	16,0	8,0	16,0
3,5	12,0	8,5	12,0
4,0	8,0	9,0	8,0
4,5	4,0	9,5	4,0
		10,0	0

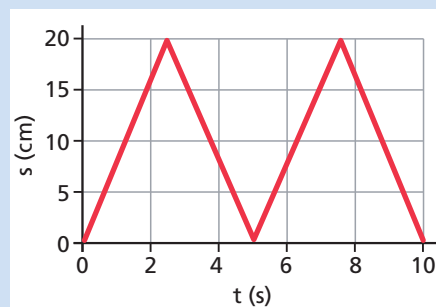
R Rimbalzo

R

R

R

Il grafico spazio-tempo è quello illustrato nella figura qui sotto.



4 Il moto rettilineo uniforme

37 QUANTO?

- Un satellite geostazionario orbita attorno alla Terra a una distanza di circa $36 \cdot 10^3$ km.
 - ▶ Quanto tempo impiega un segnale radio, che viaggia alla velocità della luce $c = 3 \cdot 10^8$ m/s, a raggiungere il suolo? $[1 \cdot 10^{-1} \text{ s}]$

38 QUANTO?

- Se lanci un grido di fronte a una lontana parete rocciosa, dopo qualche istante puoi percepirne l'eco. Il suono si propaga a 340 m/s e dopo 3 s senti l'eco.
 - ▶ Quanto dista la parete? $[5 \cdot 10^2 \text{ m}]$

- 39 Stai camminando a velocità costante lungo un rettilineo. Percorri due metri ogni secondo. Fai partire il cronometro quando ti trovi a 70 m dall'inizio

della strada (dove hai messo l'origine della coordinata s).

- ▶ Scrivi l'equazione del moto. $[s = 70 \text{ m} + (2 \text{ m/s})t]$

- 40 Il rettilineo dell'esercizio precedente è lungo 300 m; arrivato in fondo ti giri e torni indietro con lo stesso passo, facendo ripartire il cronometro.
 - ▶ Scrivi la nuova equazione del moto. $[s = 300 \text{ m} - (2 \text{ m/s})t]$

- 41 Un'automobile procede alla velocità costante di 100 km/h. Nell'istante $t_0 = 0$ s transita al chilometro 50.
 - ▶ A quale chilometro si troverà l'automobile nell'istante $t_1 = 15$ minuti? $[A1 \text{ km } 75]$

42 ESEMPIO ●●●

Il grafico a fianco descrive il moto di una persona lungo un corridoio.

- ▶ Qual è l'equazione del moto?

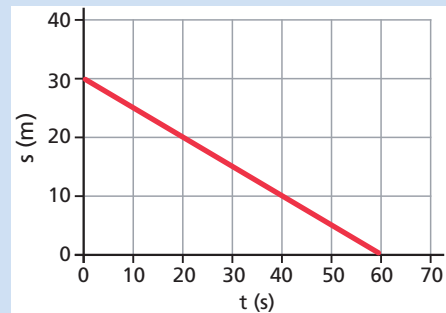
■ RISOLUZIONE

Il grafico è a pendenza costante, per cui si tratta di un moto uniforme. La legge del moto uniforme è

La posizione s_0 al tempo $t = 0$ s è

La velocità v è data dalla pendenza del grafico:

L'equazione del moto è



$$s = s_0 + vt$$

$$s_0 = 30 \text{ m}$$

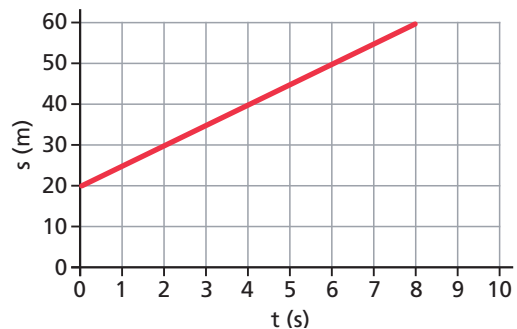
$$v = \frac{v_f - v_i}{\Delta t} = \frac{0 \text{ m} - 30 \text{ m}}{60 \text{ s}} = -0,50 \text{ m/s}$$

$$s = 30 \text{ m} - (0,50 \text{ m/s})t$$

- 43 Il grafico seguente descrive il moto di una valigia lungo il nastro trasportatore di un aeroporto.
 - ▶ Qual è l'equazione del moto?
 - ▶ Quanti metri percorre fra gli istanti $t_1 = 2$ s e $t_2 = 7$ s? $[s = (0,6 \text{ m/s})t; 3 \text{ m}]$



- 44 Il grafico seguente descrive il moto di un ciclista lungo un rettilineo.
 - ▶ Scrivi la sua legge oraria. $[s = 20 \text{ m} + (5 \text{ m/s})t]$



- ▶ Scrivi l'equazione del moto per ciascun carrello e disegna il grafico.
- ▶ In quale posizione avviene il sorpasso?

$$[v_B = 1 \text{ m/s}; s_A = 5 \text{ (m/s)t}; s_B = 24 \text{ m} + (-1 \text{ m/s)t}; s = 30 \text{ m}]$$

5 L'accelerazione

52 QUANTO?

- Un centometrista di buon livello accelera nei primi 4 s, arrivando a una velocità di circa 12 m/s, che poi mantiene sostanzialmente per il resto della corsa.
- ▶ Valuta la sua accelerazione media. [3 m/s²]

53 QUANTO?

- Il proiettile di un fucile è accelerato dai gas dell'esplosione mentre percorre la canna: possiamo valutare che il tempo durante il quale il proiettile percorre la canna sia dell'ordine del millisecondo. La velocità finale del proiettile è dell'ordine di 10³ m/s.
- ▶ Stima l'accelerazione media del proiettile. [10⁶ m/s² (~ 10⁵g)]

- 54 Un'automobile passa da 10 m/s a 22 m/s in 3,0 s.

- ▶ Qual è la sua accelerazione? [4,0 m/s²]

59 ESEMPIO

Un'auto viaggia a 90 km/h, frena e rallenta uniformemente fino a 40 km/h in 4,0 s.

- ▶ Quanto spazio percorre durante la frenata?
- ▶ Qual è la sua decelerazione?

■ RISOLUZIONE

- ▶ Durante la frenata la decelerazione è costante, quindi l'auto si muove con una velocità media

Lo spazio di frenata è

■ Risultato numerico

$$v_i = 90 \text{ km/h} = \frac{90}{3,6} \text{ m/s} = 25 \text{ m/s}$$

$$v_f = 40 \text{ km/h} = 11 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 4,0 \text{ s}$$

- ▶ La decelerazione è

■ Risultato numerico

$$v_i = 25 \text{ m/s}$$

$$v_f = 40 \text{ km/h} = 11 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 4,0 \text{ s}$$

- 55 Un arco da gara accelera la freccia da 0 m/s a 50 m/s in 50 cm.

- ▶ Calcola quanto vale l'accelerazione media della freccia.

$$[2,5 \cdot 10^3 \text{ m/s}^2]$$



M. Rehana / Shutterstock

- 56 Un'auto parte da ferma e si muove con accelerazione costante $a = 2,5 \text{ m/s}^2$.

- ▶ Quanto tempo impiega a raggiungere una velocità di 24 m/s? [9,6 s]

- 57 Un treno si muove alla velocità $v = 25 \text{ m/s}$. Poi decelera con $a = -0,8 \text{ m/s}^2$ per 15 s.

- ▶ Qual è la sua velocità finale? [13 m/s]

- 58 Nel parco a tema Ferrari di Abu Dhabi un'attrazione sarà il roller F1 Coaster, in grado di raggiungere la velocità di una monoposto. Nella fase iniziale un motore da più di ventimila cavalli spingerà il vagone da a 0 km/h a 100 km/h in 2 s.

- ▶ Esprimi questa accelerazione in unità g . [1,4g]

$$v_m = \frac{1}{2}(v_i + v_f)$$

$$s = v_m \Delta t$$

$$s = \frac{1}{2}(11 \text{ m/s} + 25 \text{ m/s})(4,0 \text{ s}) = 72 \text{ m}$$

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a = \frac{11 \text{ m/s} - 25 \text{ m/s}}{4,0 \text{ s}} = -3,5 \text{ m/s}^2$$

60 Un'automobile che si sta muovendo con velocità 100 km/h frena con decelerazione $a = -3,2 \text{ m/s}^2$ fino a fermarsi.

- ▶ Quanto tempo dura la frenata?
- ▶ Qual è lo spazio di frenata? [8,7 s; ~120 m]

61 Durante un test su pista, una monoposto di Formula 1 passa da 200 km/h a 300 km/h in 4,8 s.

- ▶ Calcola l'accelerazione media.
- ▶ Supponi che l'accelerazione sia costante e calcola lo spazio che percorre mentre passa da 200 km/h a 300 km/h. [5,8 m/s²; ~330 m]

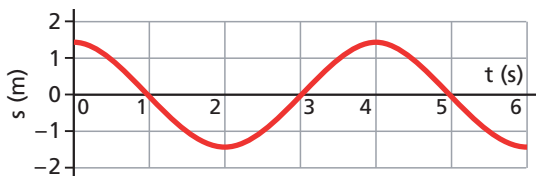
62 Al termine del rettilineo del Circuito di Shanghai, le monoposto di Formula 1 frenano violentemente, passando da 316 km/h a 79 km/h in 2,72 s.

- ▶ Calcola la decelerazione in m/s².
- ▶ Calcola lo spazio di frenata. [-24,2 m/s²; 149 m]

63 Un pallone cade da circa 3 m e arriva a terra con velocità 7,8 m/s. Rimbalza sul pavimento deformandosi e risale verso l'alto con velocità 6,4 m/s; torna giù e rimbalza nuovamente risalendo con velocità 5,3 m/s. E così via. Durante ogni rimbalzo il pallone resta a contatto con il terreno per 0,04 s.

- ▶ Calcola il valore e il segno dell'accelerazione in unità g durante i primi due rimbalzi.
- ▶ Disegna uno schizzo del grafico accelerazione-tempo. [Se consideriamo $a = +g$ durante la caduta, si ha: $a_1 = -36g$, $a_2 = -30g$]

64 Il seguente grafico spazio-tempo è quello di un'altalena che sta oscillando.



L'altalena è stata spostata di 1,5 m dalla posizione centrale di equilibrio e lasciata andare. In 4,0 s l'altalena ha effettuato un'oscillazione.

- ▶ In quali intervalli di tempo l'accelerazione è positiva e in quali intervalli di tempo è negativa?

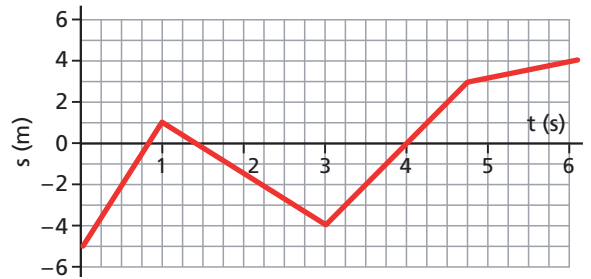
65 Un elettrone che si muove nel cannone elettronico di un tubo a raggi catodici è sottoposto a un'accelerazione di $1,0 \cdot 10^{14} \text{ m/s}^2$, mentre percorre 1,0 cm. L'elettrone percorre poi a velocità costante i restanti 10 cm che lo separano dallo schermo.

- ▶ Calcola il tempo totale che l'elettrone impiega per arrivare sullo schermo. [85 ns]

6 Il grafico velocità-tempo

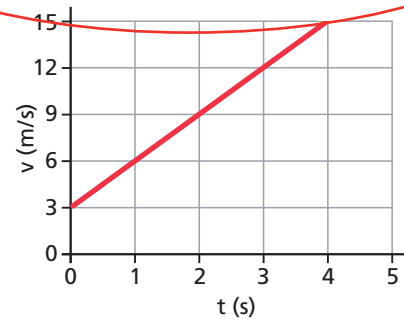
66 Nel grafico è riportato il moto di un carrello.

- ▶ Disegna il corrispondente grafico della velocità.



67 Il grafico riporta l'andamento della velocità di un corpo in funzione del tempo.

- ▶ Scrivi la legge velocità-tempo del corpo. [v = 3 m/s + (3 m/s²) t]



68 La tabella seguente riporta i dati del moto di un carrello su una rotaia.

t (s)	s (m)	t (s)	s (m)	t (s)	s (m)
0,00	0,00	2,25	-2,64	4,50	1,69
0,25	-1,17	2,50	-2,19	4,75	1,86
0,50	-2,06	2,75	-1,68	5,00	1,88
0,75	-2,71	3,00	-1,13	5,25	1,72
1,00	-3,13	3,25	-0,56	5,50	1,38
1,25	-3,34	3,50	0,00	5,75	0,81
1,50	-3,38	3,75	0,53	6,00	0,00
1,75	-3,25	4,00	1,00		
2,00	-3,00	4,25	1,39		

- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo.
- ▶ Costruisci la colonna delle velocità.
- ▶ Disegna il grafico velocità-tempo.

7 Il moto rettilineo uniformemente accelerato

69 QUANTO?

Il Thrust Air 2000 è un prototipo di montagne russe in cui la navicella che ospita i passeggeri è accelerata da 0 km/h a 130 km/h in meno di 2 s.

► Quanto vale la sua accelerazione? [2 · 10 m/s²]



70 Un motociclista frena e diminuisce la sua velocità di 40 km/h in 4 s.

► Quanto vale la sua decelerazione? [3 m/s²]

71 Un'auto parte da ferma con accelerazione 1,5 m/s² per 4,0 s e poi continua con accelerazione 2,5 m/s² per 2,0 s.

► Qual è la velocità finale dell'auto? [11 m/s]

72 Un'auto parte da ferma e aumenta la sua velocità di 2,8 m/s ogni secondo, fino a raggiungere la velocità $v = 21$ m/s.

► Quanti metri percorre durante questa accelerazione? [79 m]

73 Una pallina, che è partita da ferma, rotola giù lungo una rampa con accelerazione 0,96 m/s². La rampa è lunga 12 m.

► Quanto tempo impiega ad arrivare in fondo? [5,0 s]

74 Un'auto viaggia a 64 km/h, frena e decelera fino scendere a 30 km/h. Mentre sta frenando l'auto percorre 60 m.

► Qual è il valore della sua decelerazione? [-2,1 m/s²]

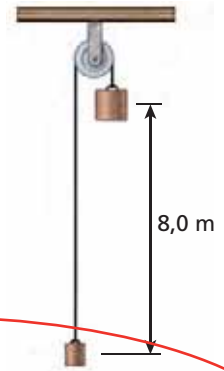
75 Mentre sale lungo un piano inclinato, un carrello è sottoposto a un'accelerazione costante verso il basso di 0,80 m/s². Il carrello è lanciato verso l'alto con velocità iniziale 4,0 m/s.

► Determina dopo quanto tempo il carrello torna al punto di partenza.

► Determina qual è la distanza massima dal punto di partenza. [10 s; 10 m]

76 Attaccati a una carrucola (figura) ci sono due oggetti diversi, che inizialmente distano 8,0 m. L'oggetto più pesante scende con accelerazione 1,0 m/s², tirando su l'oggetto più leggero.

► Calcola dopo quanto tempo i due oggetti si incrociano. [2,8 s]



77 Un'auto, che si sta muovendo con velocità 30 m/s, frena con decelerazione costante $a = -5,0$ m/s², fino a fermarsi.

► Calcola quanto tempo dura la frenata.

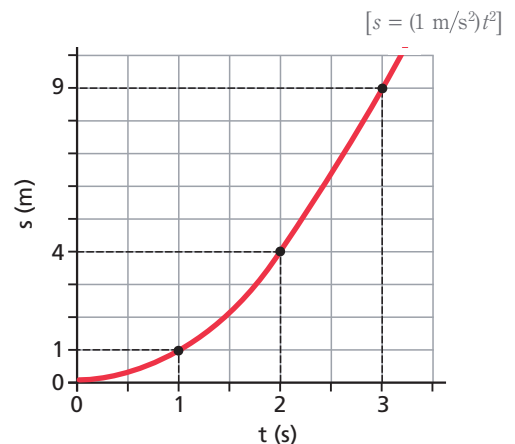
► Calcola quanto è lunga la frenata. [6,0 s; 90 m]

78 Un'automobile accelera in modo costante e passa da 8,5 m/s a 13,6 m/s nello spazio di 35 m.

► Calcola la sua accelerazione. [1,6 m/s²]

79 Il seguente grafico spazio-tempo è relativo al moto di un carrello.

► Determina la legge oraria del carrello.



80 Stai viaggiando in auto a 16 m/s; acceleri e dopo 5,0 s la tua velocità è 24 m/s.

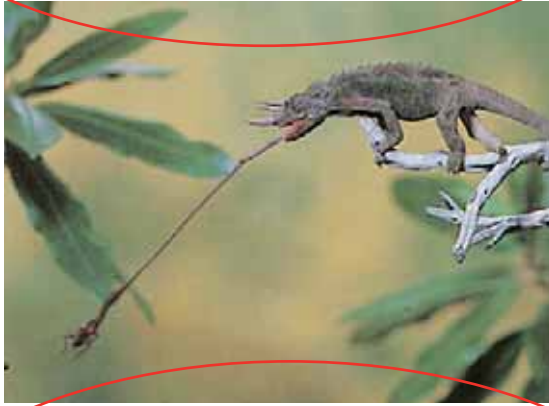
► Quanto spazio hai percorso durante l'accelerazione? [100 m]

81 Nel grafico della pagina seguente sono riportate le leggi orarie di un'auto di rapinatori (linea rossa) e di un'auto della polizia (linea blu). Nell'istante in cui i malviventi sfrecciano a 40 m/s accanto all'auto della polizia, i poliziotti partono da fermi con accelerazione costante di 8,0 m/s².

► Determina dopo quanti secondi e dopo quanti metri l'auto della polizia raggiunge quella dei rapinatori.

rare mediamente di 25 cm. Il diametro della punta appiccicosa è di 1,5 cm. Un insetto posto a 25 cm dalla bocca del camaleonte si muove in direzione perpendicolare alla lingua nell'istante in cui parte l'attacco.

- Calcola la minima velocità che gli permette di salvarsi. [0,16 m/s]



Arendieclub

110 Vento in poppa

Le correnti a getto sono venti perenni che soffiano da ovest verso est a 11 km di quota. La loro velocità varia dai 50 km/h d'estate a 120 km/h d'inverno. Queste correnti sono comunemente utilizzate dalle compagnie aeree per risparmiare tempo sui voli di linea. La distanza tra Parigi e New York è di 5800 km, e gli aerei intercontinentali viaggiano a circa 900 km/h di velocità di crociera.

- Calcola la differenza di tempo tra andata e ritorno su questa rotta per un volo invernale. [1 h 45m]

111 Decollo sul filo del rasoio

Per potersi staccare dal terreno un Boeing 747 deve raggiungere la velocità di 290 km/h. Le piste di decollo degli aeroporti per questi velivoli sono lunghe fino a 4800 m.

- Qual è l'accelerazione minima che deve mantenere un Boeing 747 per decollare? [0,7 m/s²]

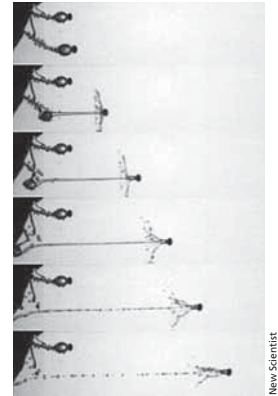


Ramon Berk / Shutterstock

112 Un cannone speciale

Per riprodursi i funghi spargono nell'ambiente le loro spore. Molti di essi le lasciano cadere e si affidano al vento per diffonderle tutto intorno. Un particolare tipo di fungo, però, usa un sistema veramente speciale. Mediante un «microcannone» chimico eietta le spore a una distanza di oltre 2 m e a una velocità di 25 m/s. Utilizzando telecamere ad altissima velocità, in grado di riprendere 250000 immagini al secondo, nel 2008 si è scoperto che le spore sono accelerate fino a 180000 g.

- Calcola la durata della fase di accelerazione. [1,4 · 10⁻⁵ s]



New Scientist

113 Il moto di un ghiacciaio

Un ghiacciaio può scorrere con la velocità di circa mezzo millimetro al secondo.

- Quanto vale questa velocità in metri al giorno?
- Quanto vale la portata (in m³/giorno) se il ghiacciaio è alto 80 m e largo 1,2 km?

[43 m/giorno; circa 4 milioni di m³/giorno]

114 Prossima fermata: spazio

Uno dei progetti fantascientifici più audaci è la creazione di un ascensore spaziale con cui portare equipaggi in orbita attorno alla Terra a basso costo. L'altezza che si ipotizza è di 36500 km, che corrisponde alle orbite in cui si trovano i satelliti meteo-



NASA

rologici e per le comunicazioni. Il trasporto di esseri umani deve avvenire con accelerazione non troppo elevata. Bisogna inoltre prevedere che da metà percorso l'ascensore deve decelerare ($a \Rightarrow -a$).

- ▶ Calcola il tempo necessario alla salita supponendo $a = (3/2)g$. [53 min]

115 Caduta con il freno

I paracadutisti che si lanciano da alta quota non mantengono un'accelerazione costante per tutta la caduta. A causa dell'attrito con l'aria la discesa passa da un moto accelerato a uno a velocità costante con $v = 180$ km/h. Considera un paracadutista che si lancia da 4000 m e che raggiunge la velocità massima di caduta in 15 s. Il paracadute viene aperto, per motivi di sicurezza, a 1000 m di quota.

- ▶ Calcola l'accelerazione media dopo 15 s.
- ▶ Calcola il tempo impiegato a raggiungere la quota di apertura del paracadute.
- ▶ Calcola l'accelerazione media tra 4000 m e 1000 m. [3,3 m/s²; 68 s; 0,74 m/s²]

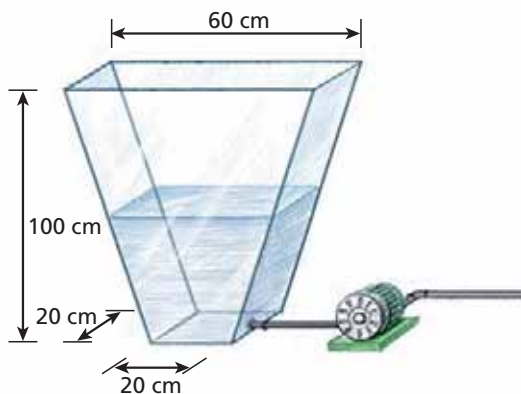
116 Balzo felino

I gatti riescono a saltare fino a 1,6 m di altezza. La spinta viene fornita sia dalle gambe posteriori sia dai muscoli della schiena per uno spazio di accelerazione di circa 30 cm.

- Considera l'accelerazione costante in questo tratto.
- ▶ Calcola la velocità a 30 cm.
 - ▶ Quanto vale l'accelerazione tra 0 cm e 30 cm?
 - ▶ Esprimi l'accelerazione in g . [5 m/s; 42 m/s²; 4,3 g]

117 Come cresce il livello?

Una pompa spinge 6,0 litri d'acqua al minuto dentro un recipiente la cui forma è quella riportata in figura. Il recipiente ha una base quadrata di lato 20 cm. Procedendo verso l'alto la sezione diventa rettangolare: un lato resta 20 cm, l'altro lato au-



menta fino ad arrivare a 60 cm, quando l'altezza è a 100 cm.

A causa dell'allargarsi della sezione, la velocità di salita dell'acqua non è costante, ma diminuisce man mano che l'acqua sale. Indica con s l'altezza (variabile) dell'acqua.

- ▶ Determina la relazione tra s e la velocità v di salita dell'acqua.

Il livello s dell'acqua cresce in funzione del tempo secondo la legge:

$$s = 50(\sqrt{1 + 0,01 \cdot t} - 1)$$

con s espresso in centimetri e t in secondi.

- ▶ Determina quanto tempo impiega il recipiente a riempirsi.
- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo.

[$v = 5/(20 + 0,4 \cdot s)$ cm/s; 800 s]

L'ARTE DELLA STIMA

118 Bombardamento di neutrini

Nel settembre 2006 è stato svolto un esperimento scientifico tra i laboratori del CERN, a Ginevra, e quelli del Gran Sasso. Dal CERN sono stati mandati fasci di particolari particelle (neutrini) poi analizzate dai laboratori italiani. I neutrini hanno la caratteristica di passare indenni attraverso la materia solida, per cui la loro traiettoria può essere considerata rettilinea. La velocità a cui viaggiano i neutrini è praticamente quella della luce ($3 \cdot 10^8$ m/s).

- ▶ Stima il tempo impiegato dai neutrini a raggiungere il Gran Sasso. [$2 \cdot 10^{-3}$ s]

119 Digestione lenta

L'intestino tenue umano assorbe i nutrienti del cibo digerito dallo stomaco. Ha inizio nel colon e termina all'altezza dell'appendice ed è lungo 7 m. Il cibo lo attraversa in circa 3 ore grazie ai movimenti ondulatori dei fasci muscolari che lo ricoprono.

- ▶ Stima la velocità media del cibo nell'intestino tenue. [$6 \cdot 10^{-4}$ m/s]

120 Il Sole «sporco»

Le macchie solari sono regioni della superficie del Sole a temperatura più bassa dell'ambiente circostante (5000 °C contro 6000 °C). Questi «difetti» appaiono periodicamente sulla superficie della nostra stella e vengono facilmente osservate dai telescopi.

Il moto in due dimensioni

Konstantin Miranov / Shutterstock

1 Le grandezze vettoriali che descrivono il moto

I vettori posizione e spostamento

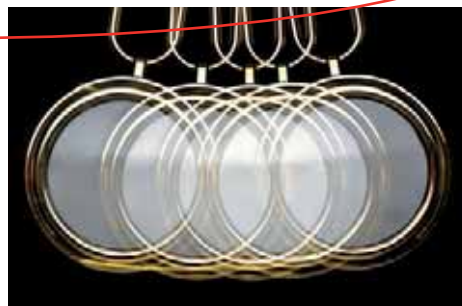
In molte situazioni i corpi si muovono lungo traiettorie curve che stanno su un piano...

1 ... la palla in una schiacciata di pallavolo.



Maszy / Shutterstock

2 ... come l'estremità del pendolo in un orologio.



Aganfar / Shutterstock



Giulia Romani

Per descrivere questi moti si utilizza un sistema di riferimento formato da:

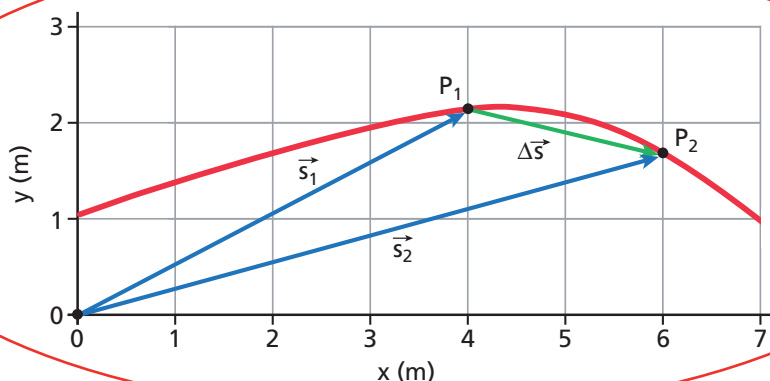
- due **assi coordinati**, perpendicolari fra loro, con un punto in comune detto **origine**; gli assi sono scelti in modo che la traiettoria del corpo giaccia nel piano definito da essi;
- un **orologio** per misurare i tempi.

Ogni punto P della traiettoria di un corpo è individuato da un **vettore posizione** \vec{s} che unisce l'origine O a P .

Consideriamo un corpo che passa dalla posizione s_1 all'istante t_1 alla posizione s_2 all'istante t_2 .

Il **vettore spostamento** $\Delta\vec{s} = \vec{s}_2 - \vec{s}_1$ è la variazione del vettore posizione.

Il modulo del vettore posizione si misura in metri, quindi anche il modulo del vettore spostamento si misura in metri.



Nei moti in una dimensione la direzione dello spostamento coincide con quella della traiettoria, mentre nei moti su un piano lo spostamento può avvenire lungo una direzione qualsiasi del piano.

Il vettore velocità

Nel moto rettilineo la velocità media è $v = \Delta s / \Delta t$. Nel moto in due dimensioni lo spostamento $\Delta \vec{s}$ è un vettore, quindi

il **vettore velocità media** \bar{v} è il rapporto tra il vettore spostamento $\Delta \vec{s}$ e l'intervallo di tempo Δt in cui è stato compiuto:

$$\bar{v} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} \quad (1)$$

DENTRO LA FORMULA

- La velocità media si ottiene dividendo il vettore spostamento $\Delta \vec{s}$ per il numero positivo Δt , quindi:
 - è un vettore;
 - ha la stessa direzione dello spostamento;
 - ha lo stesso verso dello spostamento.
- Il modulo \bar{v} della velocità media si misura in metri al secondo (m/s).
- Se un corpo è nella posizione s_1 all'istante t_1 e nella posizione s_2 all'istante t_2 , la sua velocità media nell'intervallo di tempo fra t_1 e t_2 si calcola con la formula

$$\bar{v} = \frac{\vec{s}_2 - \vec{s}_1}{t_2 - t_1}$$

Esempi

Mezzofondista in curva	7 m/s
Pallina da tennis in una battuta	$5 \cdot 10$ m/s
Corpo all'equatore rispetto al centro della Terra	$5 \cdot 10^2$ m/s
Meteorite rispetto alla superficie terrestre	$3 \cdot 10^4$ m/s

7 Un uomo attraversa un fiume percorrendo un ponte il cui profilo può essere approssimato con un quarto di circonferenza. Il fiume è largo 36 m e camminando a velocità costante impiega 1,8 minuti.

- ▶ Calcola il modulo dello spostamento e la distanza percorsa.
- ▶ Disegna i vettori velocità all'inizio, a metà e alla fine del ponte e calcolane il modulo.

[36 m, 57 m; 0,52 m/s]

8 Una bicicletta viaggia a una velocità costante pari a 21 km/h su un falsopiano avente una pendenza del 2% (cioè tale che in 100 m percorsi orizzontalmente si alza di 2 m).

- ▶ Qual è lo spostamento compiuto, orizzontalmente e verticalmente, dopo 2 minuti?
- ▶ Calcola la distanza percorsa. [0,70 km, 14 m; 0,70 km]

9 Uno sciatore parte da fermo con accelerazione costante lungo una pista di 0,21 km. In fondo alla pista il modulo della sua velocità è di 8,2 m/s.

- ▶ Determina il modulo dell'accelerazione dello sciatore.
- ▶ Calcola le componenti orizzontale e verticale dell'accelerazione se la pista è inclinata di 30° rispetto all'orizzontale.

[0,16 m/s²; 0,14 m/s², 0,080 m/s²]

10 Un ragazzo, durante una caccia al tesoro, cammina in un bosco per 1,4 ore spostandosi di 1,6 km verso Nord, poi di 0,74 km verso Ovest e infine di 0,58 km in direzione Sud-Est, formando un angolo di 30° rispetto al Sud.

- ▶ Calcola modulo e componenti del vettore spostamento del ragazzo.
- ▶ Quanto vale la sua velocità media?

[1,2 km, 1,1 km a Nord, 0,45 km a Ovest; 2,1 km/h]

11 Un'automobile che viaggia alla velocità di 24 m/s rallenta uniformemente e si porta, in un intervallo di tempo pari a 6,6 s, alla velocità di 18 m/s, mentre percorre una curva che ne cambia di 90° il vettore velocità.

- ▶ Calcola il modulo dell'accelerazione media.

[4,5 m/s²]

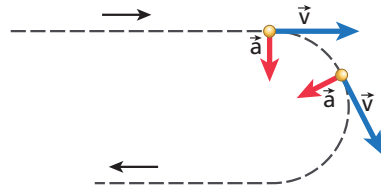
12 Un operatore radar fermo individua una nave a 10 km a Sud della sua posizione. Un'ora dopo la stessa nave è a 20 km a Sud-Est della sua posizione. La nave si muove con velocità costante sempre nella stessa direzione.

- ▶ Calcola la sua velocità durante questo intervallo di tempo.

[15 km/h, a 16° a Sud-Est]

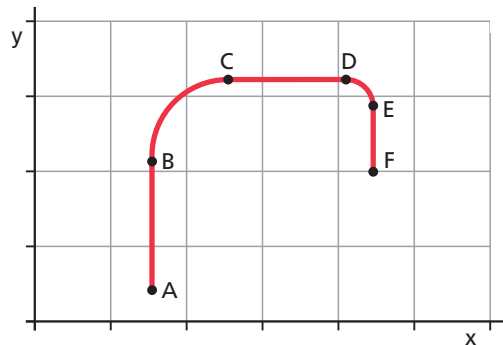
13 Una particella si muove con una velocità pari a $8,4 \cdot 10^4$ m/s. A partire da un certo istante è sottoposta a un'accelerazione di modulo $6,3 \cdot 10^{10}$ m/s² e in ogni istante perpendicolare alla velocità.

- ▶ Dopo quanto tempo la particella avrà invertito la direzione del suo moto? [4,2 · 10⁻⁶ s]



14 La figura mostra il percorso di un'automobile, costruito con segmenti e archi di circonferenza. L'automobile parte ferma dal punto A. Dopo che ha raggiunto il punto B procede con velocità di modulo costante finché non raggiunge il punto E. Infine si ferma nel punto F.

- ▶ Qual è la direzione orientata del vettore velocità \vec{v} nel mezzo di ciascun tratto: AB, BC, CD, DE, EF? (Usa come riferimento l'asse x.)
- ▶ In quali di questi punti l'automobile ha un'accelerazione e quali sono la sua direzione e il suo verso?
- ▶ Confronta i moduli dell'accelerazione per i tratti BC e DE.



[AB 90°, BC 45°, CD 0°, DE -45°, EF 90°;
AB semiasse +y; BC centro dell'arco di circonferenza,
DE centro dell'arco di circonferenza, EF semiasse -y;
 $a_{DE} > a_{BC}$]

2 Composizione dei moti

3 Il moto di caduta libera dei proiettili

15 QUANTO?

Un'auto percorre a 90 km/h un calvacchia sulla linea ferroviaria ad alta velocità, quando sta passando un treno a 180 km/h.

- ▶ Stima il modulo della velocità relativa tra auto e treno. [2 · 10² km/h]

16 In un grande magazzino la scala mobile sale alla velocità di 1,2 m/s. L'altezza tra i due piani dell'edificio è di 4,0 m e la scala ha un'inclinazione di 30°. Un ragazzo si muove sulla scala mobile alla velocità di 0,80 m/s rispetto a essa.

- ▶ Calcola quanto tempo impiega a salire di un piano. [4,0 s]

17 Un nuotatore risale la corrente di un fiume che scorre a 0,80 m/s. Il nuotatore riesce a mantenere per 2,0 minuti una velocità di 1,3 m/s rispetto all'acqua.

- ▶ Calcola di quanto risale il fiume. [60 m]

18 Il nuotatore del problema 17 nuota nello stesso verso della corrente.

- ▶ Determina di quanto si sposta rispetto alla riva in 3,0 minuti. [0,38 km]

19 Un aereo vola verso Sud alla velocità di 790 km/h, quando incontra una corrente a getto che spira verso Ovest a 250 km/h.

- ▶ Calcola il modulo della velocità dell'aereo rispetto a terra. [~ 830 km/h]

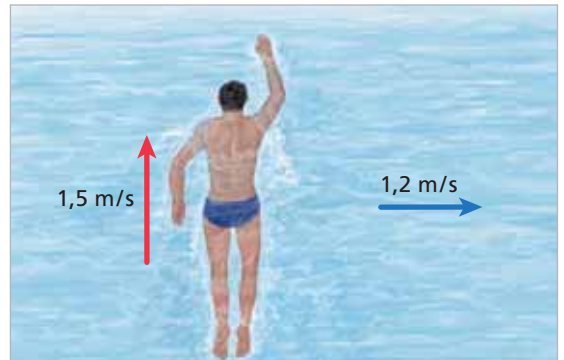
20 Un aereo vola con una velocità di 250 km/h rispetto all'aria ferma. Un vento soffia a 80 km/h nella direzione Nord-Est.

- ▶ In quale direzione e verso dovrebbe puntare l'aereo per dirigersi a Nord?
- ▶ Calcola la velocità dell'aereo rispetto al suolo.

[13° a Ovest rispetto a Nord; 300 km/h]

21 Gabriele attraversa a nuoto un fiume mantenendo una velocità di 1,5 m/s rispetto all'acqua. La velocità della corrente è 1,2 m/s.

- ▶ Calcola il modulo della velocità di Gabriele rispetto a riva. [1,9 m/s]



22 Considera la situazione del problema precedente. Il fiume è largo 30 m.

- ▶ Calcola quanto tempo impiega Gabriele ad attraversare il fiume.
- ▶ Di quanto si sposta verso valle? [20 s; 24 m]

23 ESEMPIO

Durante una tempesta di neve i fiocchi cadono con un'inclinazione $\alpha = 85^\circ$ rispetto alla verticale. In assenza di vento i fiocchi cadono con una velocità di 1,4 m/s.

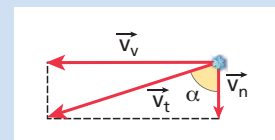
- ▶ Calcola la velocità del vento, sapendo che soffia in direzione orizzontale.

RISOLUZIONE

La velocità totale v_t dei fiocchi è la somma vettoriale della velocità del vento v_v e della velocità di caduta v_n :

Le velocità della neve e del vento sono perpendicolari:

$$\vec{v}_t = \vec{v}_v + \vec{v}_n$$



$$v_n = v_t \cos \alpha$$

$$v_v = v_t \sin \alpha$$

$$\Rightarrow v_t = \frac{v_n}{\cos \alpha} \Rightarrow v_v = v_n \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = v_n \operatorname{tg} \alpha$$

Risultato numerico

$$\alpha = 85^\circ \quad v_n = 1,4 \text{ m/s}$$

$$v_v = (1,4 \text{ m/s})(\operatorname{tg} 85^\circ) = 16 \text{ m/s}$$

24 Un treno passa in una stazione con una velocità di 25 m/s. Una borsa cade dal portapacchi e arriva sul pavimento con una velocità verticale di 5,5 m/s.

- ▶ Quanto vale il modulo della velocità finale della borsa rispetto alla stazione? [26 m/s]

25 Sull'oblò di una nave le gocce di pioggia tracciano delle linee inclinate di 72° rispetto alla verticale mentre la nave si muove a 43 km/h.

- ▶ Calcola la velocità di caduta della pioggia. [3,9 m/s]

26 Un ragazzo corre, in pianura, sotto la pioggia con l'ombrello aperto a una velocità di 3,5 m/s, mentre la pioggia cade lungo la verticale a 5,3 m/s.

- ▶ Calcola l'angolo di inclinazione ottimale dell'ombrello, rispetto alla verticale.
- ▶ Determina il modulo della velocità delle gocce d'acqua che colpiscono l'ombrello. [33°; 6,4 m/s]

27 Nello scompartimento di un treno, un bambino lancia una palla verso l'alto con velocità 5,1 m/s. La velocità della palla per un osservatore a terra è di 22 m/s.

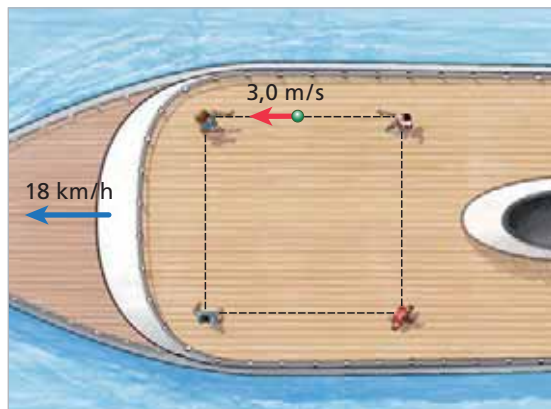
- ▶ Calcola la velocità del treno. [21 m/s]

28 Una canoista che pagaia a una velocità di 0,72 m/s decide di attraversare un fiume largo 92 m. Parte dal punto O e, mantenendo la canoa in direzione perpendicolare alle sponde, approda dall'altro lato del fiume, in un punto che si trova 55 m più a valle del punto di partenza.

- ▶ Determina la velocità della corrente del fiume.
- ▶ Calcola la velocità della canoa. [0,43 m/s; 0,84 m/s]

29 Quattro amici, Alberto (A), Beatrice (B), Carlo (C) e Donatella (D), sono disposti ai vertici di un quadrato e giocano a frisbee sul ponte di una nave. La nave viaggia a 18 km/h e i ragazzi si passano il frisbee a una velocità di 3,0 m/s.

- ▶ Determina il modulo della velocità del frisbee nei vari passaggi rispetto a un peschereccio ancorato in mare. [A → B: 2,0 m/s, B → C: 5,8 m/s, C → D: 8 m/s, D → A: 5,8 m/s]



30 Un nuotatore cerca di attraversare un fiume largo 80 m nuotando a una velocità di 1,6 m/s rispetto all'acqua. Egli raggiunge la riva in un punto 40 m a valle sulla sponda opposta al punto di partenza.

- ▶ Calcola la velocità della corrente del fiume.

- ▶ Determina il modulo della velocità del nuotatore rispetto alla riva.
- ▶ Quale direzione avrebbe dovuto scegliere per arrivare al punto direttamente opposto a quello di partenza? [0,8 m/s; 1,8 m/s; 30° verso monte]

31 Un treno merci si muove con la velocità costante di 10 m/s. Un uomo in piedi su un pianale lancia una palla in aria e la riprende quando cade. Rispetto al pianale la velocità iniziale della palla è di 15 m/s in direzione verticale verso l'alto.

- ▶ Calcola quali sono il modulo, la direzione e il verso della velocità iniziale della palla dal punto di vista di un secondo uomo in piedi sul marciapiede.
- ▶ Quanto tempo resta in aria la palla secondo l'uomo sul treno e secondo l'uomo sul marciapiede ($g = 10 \text{ m/s}^2$)?
- ▶ Qual è la distanza orizzontale percorsa dalla palla al momento in cui viene ripresa, secondo l'uomo sul treno e secondo quello sul marciapiede?
- ▶ Qual è la minima velocità della palla durante il suo volo secondo l'uomo sul treno e secondo quello sul marciapiede?
- ▶ Qual è l'accelerazione della palla secondo l'uomo sul treno e secondo quello sul marciapiede?

[18 m/s, 56° rispetto all'orizzontale nel verso del moto del treno; 3,0 s per entrambi; 0 m, 30 m; 0 m/s, 10 m/s; g per entrambi]

4 Moto di un proiettile lanciato in direzione orizzontale

32 QUANTO?

- ▶ Nel 2010 il torneo di tennis Roland Garros di Parigi è stato vinto da Francesca Schiavone. La velocità della pallina da tennis del suo miglior servizio raggiunge $2 \cdot 10^2 \text{ km/h}$. Trascura la resistenza dell'aria.



51 Un idrante espelle un getto d'acqua in una direzione che forma un angolo di 60° con il terreno. L'acqua esce alla velocità di 22 m/s. In queste condizioni, la velocità verticale è 19 m/s, mentre quella orizzontale è 11 m/s. Supponi che l'acqua si muova come un proiettile e trascura l'attrito dell'aria.

- ▶ Qual è l'altezza massima del getto?
- ▶ A che distanza arriva il getto? [18 m; 43 m]

52 Un cannone ha un angolo di inclinazione di 45° . Esso spara un proiettile con una velocità di 300 m/s.

- ▶ Calcola la quota che raggiunge il proiettile.
- ▶ Quanto tempo resta in aria?
- ▶ Determina la gittata. [2,3 km; 43 s; 9,2 km]

53 Un pallone è calciato con una velocità iniziale verticale di 10 m/s e una velocità orizzontale di 12 m/s. Trascura l'attrito dell'aria.

- ▶ Quanto tempo impiega per raggiungere l'altezza massima?
- ▶ Quale distanza sull'orizzontale avrà percorso? [1,0 s; 12 m]

54 Un proiettile viene lanciato con la velocità iniziale di 50 m/s e l'inclinazione di 60° rispetto all'orizzontale.

- ▶ Determina modulo e direzione della velocità nel suo punto più alto.
- ▶ Determina modulo, direzione e verso della sua accelerazione. [25 m/s in orizzontale; $9,8 \text{ m/s}^2$ verso il basso]

55 Una palla viene lanciata con un'inclinazione di 30° rispetto all'orizzontale e una velocità iniziale di 30 m/s. Una seconda palla è lanciata con la stessa velocità iniziale, ma a 60° rispetto all'orizzontale.

- ▶ Calcola il tempo che ciascuna palla trascorre in aria.
- ▶ Calcola la distanza percorsa da ciascuna palla prima di ritornare a terra.
- ▶ Traccia le traiettorie delle due palle sullo stesso diagramma. [3,1 s; 5,3 s; 80 m per entrambe]

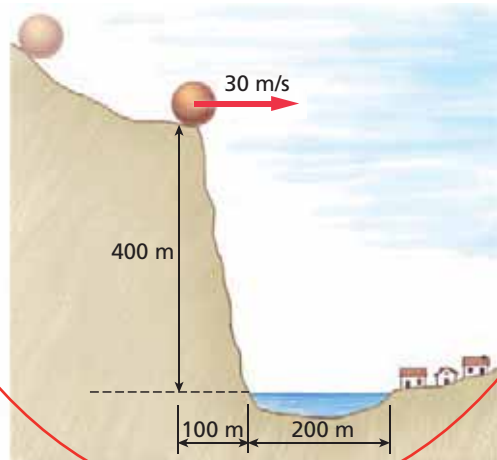
56 Una palla da baseball viene lanciata verso un giocatore con una velocità iniziale di 20 m/s e con un'inclinazione di 45° rispetto all'orizzontale. Nel

momento in cui viene lanciata la palla, il giocatore è a 50 m dal lanciatore e inizia a correre.

- ▶ Determina con quale velocità, in quale direzione e verso deve correre il giocatore per prendere la palla alla stessa altezza dalla quale era stata lanciata. [3,2 m/s verso la palla]

57 Un grosso masso poggia su una rupe che sovrasta di 400 m un piccolo villaggio. Il masso è in una posizione tale che, se rotolasse giù, si distaccherebbe dalla rupe con la velocità di 30 m/s. A valle c'è uno stagno del diametro di 200 m, e la sua riva si trova a 100 m dalla base della rupe. Le prime case del villaggio si trovano sull'altra riva dello stagno. Uno studente sostiene che il masso cadrà nello stagno.

- ▶ Lo studente ha ragione?
- ▶ Calcola la componente orizzontale della velocità.
- ▶ Calcola quale sarà la velocità del masso quando toccherà il suolo.
- ▶ Quanto tempo resterà in aria il masso? [sì; 30 m/s; 30 m/s; 9,0 s]



58 Durante una gara di motocross una motocicletta corre in direzione di un fossato. Sul bordo di questo è stata costruita una rampa con un angolo di 10° per permettere alla motocicletta di saltare il fossato che è largo 7,0 m.

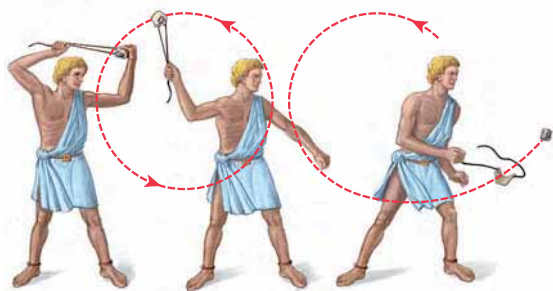
- ▶ Calcola la velocità minima che la motocicletta deve avere all'uscita della rampa per superare il fossato. [14 m/s]

59 ESEMPIO

Un fucile spara proiettili che escono dalla canna con una velocità di 250 m/s. Se il proiettile deve colpire un bersaglio distante 100 m, posto allo stesso livello della bocca, il fucile deve mirare a un punto posto sopra il bersaglio. Trascura la resistenza dell'aria.

- ▶ Calcola a quale distanza verticale si trova questo punto.

- ▶ Calcola la gittata massima trascurando l'attrito dell'aria. [95 m]



- 85** Due trenini viaggiano nello stesso verso su due rotaie circolari concentriche, rispettivamente di raggio 1,12 m e 1,58 m, con velocità pari a 0,21 m/s e 0,22 m/s. All'istante $t = 0$ s i due trenini sono allineati sullo stesso raggio.

- ▶ Dopo quanto tempo si troveranno nuovamente allineati?
- ▶ Calcola l'angolo tra i due allineamenti.

[130 s; 317°]

- 86** Un ciclista sta pedalando con una cadenza di 75 pedalate al minuto. Ha una corona (ruota dentata sui pedali) da 42 denti e un pignone (ruota dentata sulla ruota posteriore) da 14 denti. La ruota ha un diametro di 0,71 m.

- ▶ A quale velocità sta procedendo? [30 km/h]

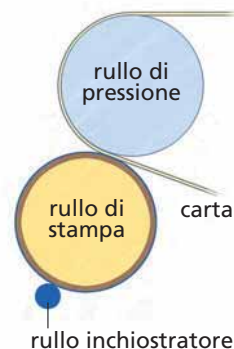
- 87** Una particella percorre una circonferenza di 4 cm di raggio. Essa impiega 8 s per compiere un giro.

- ▶ Disegna in scala la traiettoria della particella e indica le posizioni corrispondenti a intervalli di 1 s. Traccia i vettori spostamento per questi intervalli di 1 s. Essi coincidono con i vettori velocità media per questi intervalli.
- ▶ Determina graficamente la variazione della velocità media $\Delta \bar{v}$ per due intervalli consecutivi di 1 s.
- ▶ Confronta il rapporto $\Delta \bar{v} / \Delta t$ misurato in questo modo con l'accelerazione istantanea calcolata in base all'espressione $a_r = v^2 / r$.

$$[\Delta \bar{v} / \Delta t = 2,8 \text{ cm/s}^2; a_r = 2,5 \text{ cm/s}^2]$$

- 88** Per stampare i quotidiani si utilizza un sistema detto rotativa, basato su un sistema di rulli sui quali è riportata la matrice della pagina da stampare. Uno schema semplice è mostrato in figura. Il rullo inchiostatore ha un diametro di 18 cm, mentre il rullo di stampa ha un diametro di 214 cm e stampa 10 fogli ogni giro. Un quotidiano è costituito in media da 18 fogli e ha una tiratura di 122000 copie.

- ▶ Calcola la frequenza di rotazione del rullo inchiostatore se il quotidiano viene stampato in una notte (8 ore). [91 Hz]



- 89** Un aereo vola a 54 m/s in orizzontale quando esegue una picchiata in caduta libera. Dopo aver perso $1,1 \cdot 10^3$ m di quota, interrompe la caduta descrivendo un arco di circonferenza di raggio $9,1 \cdot 10^2$ m (cabrata).

- ▶ Quanto vale l'accelerazione all'inizio della cabrata? [27 m/s²]

- 90** Una pulsar è una stella di neutroni che emette radiazioni pulsanti a causa della rapida rotazione intorno al suo asse. Nel gruppo Terzan 5 della costellazione del Sagittario si trova una delle pulsar più veloci, che ruota con una frequenza di 0,72 kHz. Il diametro di questa pulsar è di 16 km.

- ▶ Calcola la velocità tangenziale di un punto sull'equatore della stella.
- ▶ Qual è il valore minimo dell'accelerazione di gravità alla superficie, in unità di g ?

[36 · 10⁶ m/s; ~ 1,7 · 10¹⁰ g]

97 La marcia ideale

Quando si guida un'automobile a velocità costante, è consigliabile scegliere la marcia per cui i giri del motore si mantengono a circa $2 \cdot 10^3$ giri/min. Considera un'automobile che viaggia a 110 km/h, che abbia una marcia con un rapporto tra i giri del motore e quelli della ruota di $3/2$ e che utilizzi uno dei modelli più diffusi di copertone (diametro = 660 mm).

- ▶ Calcola i giri del motore.
- ▶ Quanto vale la differenza percentuale al regime ottimale? [1330 giri/min; 33%]

98 Lancio «perfetto»

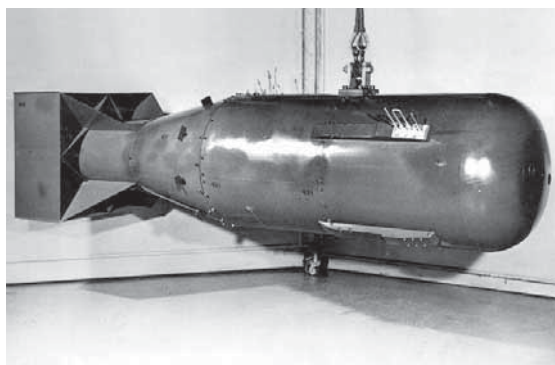
La quota minima per l'apertura di un paracadute è di 750 m. Un paracadute militare mantiene una velocità di discesa di circa 7 m/s.

- ▶ Determina lo spostamento del punto di atterraggio con un vento laterale di 3 m/s. [320 m]

99 La prima bomba atomica

Alle 8:14 del 6 agosto 1945 venne utilizzata per la prima volta una bomba nucleare in un'azione di guerra. Little Boy fu sganciata da un bombardiere B-29 (Enola Gay) che volava a 9467 m di quota e a una velocità di 528 km/h. La detonazione avvenne a 580 m dal suolo per massimizzarne l'effetto distruttivo. Trascura l'attrito dell'aria.

- ▶ Calcola la traiettoria di Little Boy (in unità del Sistema Internazionale).
- ▶ Dopo quanti secondi dal lancio avvenne la detonazione? [$P = (147 \cdot t; 9467 - 4,9 \cdot t^2); 43$ s]



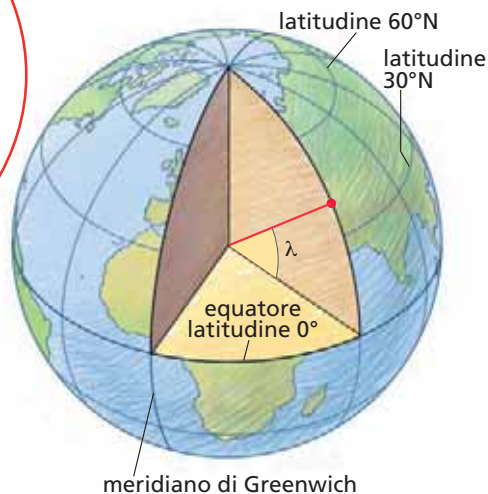
United States Department of Energy

100 È più accelerato un orso polare o un leone?

Il diametro della Terra è $1,3 \cdot 10^7$ m. Un corpo sulla superficie terrestre si muove con moto circolare uniforme attorno all'asse di rotazione terrestre.

- ▶ Determina l'espressione che lega l'accelerazione centripeta del corpo e la sua latitudine (λ).

$$[a_c = 3,4 \cdot 10^{-2} \cdot \cos \lambda \text{ m/s}^2]$$

**101 Un tiro morbido**

Un calcio di rigore viene effettuato a una distanza di 11 m dalla linea di porta (altezza 2,44 m). Il *cucchiaio*, o pallonetto, è un tiro lento e centrale. Considera un calcio di rigore a cucchiaio in cui la palla (diametro 22 cm) raggiunge un'altezza massima di 3 m e atterra 1 m oltre la linea di porta. Trascura l'attrito dell'aria.

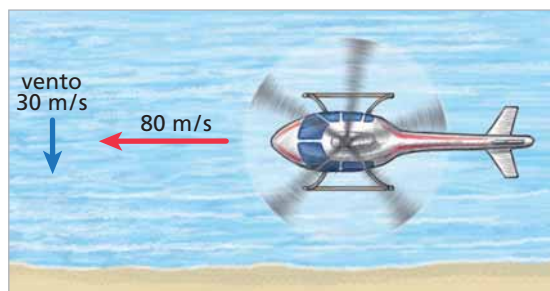
- ▶ Calcola le componenti del vettore velocità della palla al momento del calcio.
- ▶ Quanto vale il tempo di volo della palla?
- ▶ La palla riesce a passare sotto la traversa?

$$[\vec{v} = (7,7 \text{ m/s}, 7,7 \text{ m/s}); 1,6 \text{ s}; \text{si}]$$

102 Vento di mare

Un elicottero della guardia costiera vola a 80 m/s mentre dal mare soffia un vento teso a 30 m/s perpendicolarmente alla spiaggia. Il pilota vuole sorvolare una spiaggia nel senso della sua lunghezza.

- ▶ Come deve orientare l'elicottero mantenendo una velocità rispetto all'aria di 80 m/s?
- ▶ Qual è la velocità dell'elicottero rispetto alla spiaggia? [74 m/s]



L'ARTE DELLA STIMA

103 La Terra si ferma

- Stima il modulo del vettore velocità rispetto al terreno che avrebbe un corpo posto all'equatore se la Terra smettesse improvvisamente di ruotare su sé stessa. $[5 \cdot 10^2 \text{ m/s}]$

104 Tornado!

- I tornado, o trombe d'aria, sono vortici d'aria che si formano in presenza di forti sbalzi di temperatura e umidità nei differenti strati dell'atmosfera. I tornado vengono classificati, secondo la velocità del vento, dalla scala Fujita.
 - ▶ Stima l'accelerazione centripeta dell'aria sul bordo di un tornado F3 con diametro di base di 150 m. $[70 : 100 \text{ m/s}^2]$



National Severe Storms Laboratory (NSL)

105 Il segreto del cobra sputatore

- I cobra sputatori attaccano i loro nemici mirando agli occhi e causando cecità permanente. La distanza massima che raggiunge il veleno è di 2 m.
 - ▶ Stima la velocità a cui viene spruzzato. $[\sim 5 \text{ m/s}]$



Ludfan Comanin/Shutterstock

106 L'anno più lungo

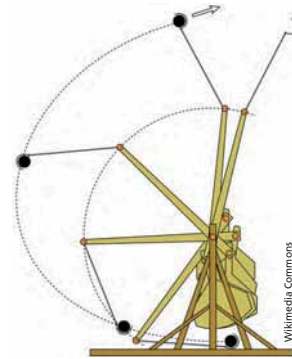
- L'anno galattico è il periodo di tempo impiegato dal Sole per completare una rivoluzione intorno al centro della Via Lattea. La velocità del Sole lungo la

sua orbita è stimata in 220 km/s e dalla sua nascita ha percorso tra le 20 e le 25 orbite.

- ▶ Stima il raggio dell'orbita del Sole attorno al centro galattico. $[2 \cdot 10^{17} \text{ km}]$

107 L'antenato dei cannoni

- Il trabucco è stato una delle armi d'assedio più importanti durante il medioevo. Un trabucco era in grado di scagliare pietre con un angolo di lancio di circa 20° fino a 300 m di distanza.
 - ▶ Stima la velocità dei proiettili al momento del lancio. $[70 \text{ m/s}]$



Wikimedia Commons

108 Una macchia su Giove

- La Grande Macchia Rossa è un enorme vortice posto 22° a Sud dell'equatore di Giove, che ruota con un periodo di circa 6 giorni terrestri. È presente da almeno 300 anni e le sue prime descrizioni affidabili risalgono a Giovanni Cassini. La macchia ha una forma ellittica, con assi pari a circa $3 \cdot 10^4 \text{ km}$ e $1,3 \cdot 10^4 \text{ km}$. Approssima la Grande Macchia Rossa con una circonferenza avente raggio pari alla media degli assi.
 - ▶ Stima l'accelerazione centripeta della polvere sul bordo della Grande Macchia Rossa. $[3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2]$



NASA/JPL/University of Arizona



SYMBOLS

IN SYMBOLS	IN WORDS	EXAMPLES	
+	plus, add	$a + b$	a plus b
-	minus, take away, subtract	$a - b$	a minus b
±	plus or minus		
×	times, multiplied by	$a \times b$	ab , a times b
· (dot product)		$a \cdot b$	ab , a times b
÷	divided by	$\frac{a}{b}$	a over b , a divided by b in fractions, a is called the <i>numerator</i> and b the <i>denominator</i>
$\frac{\quad}{\quad}$ (vinculum or fraction bar)		how to read fractions $\frac{1}{2}$, $\frac{5}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{7}{10}$, $\frac{\pi}{4}$, ...	one half, five halves, two thirds, seven tenths, pi over four, ...
=	is equal, equals, is	$a = b$ $1 + 2 = 3$	a equals b or a is equal to b one plus two is (equals) three
≈	is approximately equal to		
≠	is not equal to	$a \neq b$	a is different from b , a is not equal to b
<	inequality signs	$a < b$	a is (strictly) less than b
>		$a > b$	a is (strictly) greater than b
≪		$a \ll b$	a is much less than b
≫		$a \gg b$	a is much greater than b
≥		$a \geq b$	a is greater than or equal to b
≤	$a \leq b$	a is less than or equal to b	
%	percent	5 %	five percent

square root left (round) bracket cubed (to the third) squared

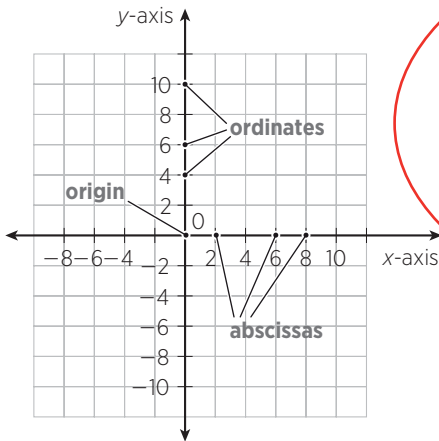
$$\sqrt{\left\{ (0.25 \cdot 12) - \left[1 - \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{6} \right) \right] \right\}^3 - \left(\frac{3}{4} + \frac{1}{2} - 3.5 \right)^2} = \frac{13}{4}$$

curly bracket point two five square bracket three fourths one half right (round) bracket



GRAPHS

CARTESIAN PLANE



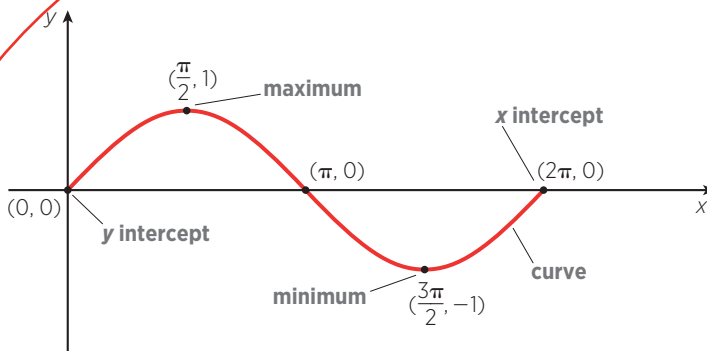
In mathematics, the graph of a function f is the collection of all ordered pairs $(x, f(x))$.

Graphing on a Cartesian plane is sometimes referred to as *to plot* or *draw* a curve.

A *curve* is a set of points that form or can be joined by a continuous line on a graph.

To *plot* means to place a point on a coordinate plane using its x -coordinate (*abscissa*) and y -coordinate (*ordinate*).

MAIN FEATURES OF THE GRAPH OF A FUNCTION



- **Range:** the set of y -coordinates corresponding to the points on a graph. In the example above, the *range* is $[-1; 1]$ (minus one; one).
- **x -intercept:** the point where the graph crosses the x -axis. In the example, there are three x -intercepts, corresponding to $x = 0$, $x = \pi$ and $x = 2\pi$.
- **y -intercept:** the value on the x -axis where a graph crosses the y -axis. In the example, the only y -intercept is the origin of the Cartesian plane $(0,0)$.
- **Domain:** the set of x -coordinates corresponding to the points on a graph. In the example, the *domain* is $[0; 2\pi]$ (zero; two pi).
- **Asymptote:** a line that a curve approaches as it heads towards infinity. The *asymptotes* can be horizontal, vertical and oblique.



FORMULAE

SUBJECT	IN SYMBOLS	IN WORDS
Uniform motion	$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$	Average velocity equals change in displacement divided by elapsed time.
Uniform accelerated motion	$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	Average acceleration equals change in velocity divided by elapsed time.
	$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	Final displacement equals initial displacement plus initial speed multiplied by time plus half the acceleration multiplied by the square of the time.
Uniformly circular motion	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	Magnitude of angular velocity equals two pi divided by the period, equals two pi multiplied by frequency.
	$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$	Linear speed equals two pi multiplied by the radius of the circular motion divided by period, equals angular velocity multiplied by the radius.
	$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$	Magnitude of centripetal acceleration equals the square of the linear velocity divided by the radius of the circular motion, equals the square of the angular velocity multiplied by the radius.