

7

LA VELOCITÀ



observe.co/Shutterstock

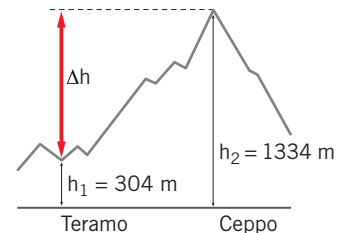
3. IL MOTO RETTILINEO

La variazione di una grandezza fisica

La lettera greca Δ (delta), posta davanti a una grandezza fisica g , indica la sua *variazione*, cioè la differenza tra due valori di g :

$$\Delta g = g_2 - g_1.$$

Se, come si vede nella **figura**, h_1 e h_2 indicano l'altitudine (rispetto al livello del mare) di due località che si trovano lungo una tappa di montagna del Giro d'Italia, $\Delta h = h_2 - h_1$ rappresenta il dislivello coperto dai corridori nell'andare da una località all'altra.



5. CALCOLO DELLA DISTANZA E DEL TEMPO

La formula della velocità media contiene tre grandezze: la velocità media, la distanza e il tempo. Se ne conosciamo due, possiamo ricavare la terza. Per esempio, se conosciamo la distanza e il tempo, dividendoli, otteniamo la velocità media.

Calcolo della distanza

- ◀ Che distanza percorre in mezz'ora una **ragazza che corre** alla velocità media di 3,0 m/s? Conosciamo Δt (0,5 h = 1800 s) e v_m (3,0 m/s). L'incognita, che vogliamo determinare, è Δs :



Eduard Steimakh/Shutterstock

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Per liberare l'incognita Δs , moltiplichiamo entrambi i membri dell'equazione per Δt :

$$v_m \cdot \Delta t = \frac{\Delta s}{\Delta t} \cdot \Delta t = \Delta s.$$

Pertanto

$$\Delta s = v_m \Delta t \quad (4)$$

Quindi la ragazza dell'esempio percorre la distanza

$$\Delta s = 3,0 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 1800 \text{ s} = 5400 \text{ m} = 5,4 \text{ km}.$$

Calcolo del tempo

Andando in automobile a una velocità media di 100 km/h, quanto tempo si impiega per andare da Palermo a Catania, che distano 210 km?

Conosciamo Δs (210 km) e v_m (100 km/h). L'incognita che vogliamo determinare è Δt . Partendo dalla formula (4)

$$\Delta s = v_m \Delta t$$

e dividendo entrambi i membri per v_m otteniamo

$$\frac{\Delta s}{v_m} = \frac{v_m \Delta t}{v_m}.$$

Pertanto:

$$\Delta t = \frac{\Delta s}{v_m}. \quad (5)$$

L'automobile dell'esempio impiega un tempo

$$\Delta t = \frac{210 \text{ km}}{100 \frac{\text{km}}{\text{h}}} = 2,10 \text{ h} = 2 \text{ h } 6 \text{ min}.$$



SPORT

Un tiro imparabile

«Nino non aver paura di sbagliare un calcio di rigore, non è mica da questi particolari che si giudica un giocatore», cantava Francesco De Gregori. E se certamente è vero, come sosteneva il cantautore romano, che il valore di un giocatore lo vedi «dal coraggio, dall'altruismo e dalla fantasia», è vero anche che per giocatori, tifosi e giornalisti un rigore parato è un rigore sbagliato. Le leggi della fisica danno ragione o torto a chi la pensa così?

- Qual è la velocità minima alla quale deve essere calciato un rigore per diventare un tiro imparabile?

Assumiamo che il rigorista calci la palla rasoterra e a fil di palo (per esempio il palo alla sinistra del portiere) e che il portiere si tuffi dopo aver visto da che parte è stato indirizzato il pallone.

Operiamo queste scelte perché si tratta di azioni usuali compiute da rigoristi e portieri: i primi cercano sempre di angolare al massimo il tiro e nel 60% dei casi calciano la palla rasoterra; i secondi, invece, restando in piedi fino all'ultimo, riescono a non essere "spiazzati" dal rigorista.

La porta di calcio è larga 7,32 m: dunque, per raggiungere il palo alla sua sinistra, il portiere deve coprire in tuffo una distanza $\Delta l \approx 3,7$ m. Questo valore dipende dal fatto che il portiere e anche il pallone in questa situazione non sono considerati oggetti puntiformi.

Un portiere può percorrere di slancio circa 2 m in 0,2 s: questo significa che la sua velocità in tuffo è dell'ordine di $v_{\text{tuffo}} = 10$ m/s.

Di conseguenza il tempo impiegato dal portiere (in verità dalla sua mano) in tuffo per giungere a fil di palo è:

$$\Delta t_{\text{tuffo}} = \frac{\Delta l}{v_{\text{tuffo}}} \approx 0,4 \text{ s.}$$

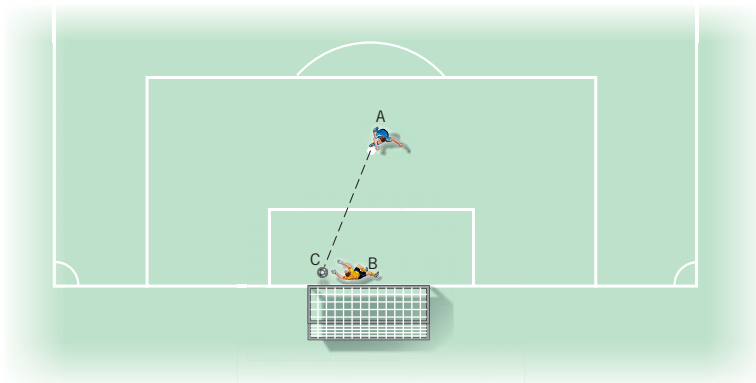
Il tempo di reazione a un impulso visivo di una persona allenata è di circa $\Delta t_{\text{reaz}} \approx 0,3$ s: così quando la mano del portiere giunge a fil di palo il pallone è partito da $\Delta t_{\text{reaz}} + \Delta t_{\text{tuffo}} = 0,4 \text{ s} + 0,3 \text{ s} = 0,7 \text{ s}$.

La distanza che deve percorrere il pallone per infilarsi rasoterra e a fil di palo è data dall'ipotenusa AC del triangolo che ha come vertici il dischetto del calcio di rigore (A), la posizione iniziale del portiere (B) e il palo (C):

$$AB = 11,0 \text{ m}$$

$$BC = 3,7 \text{ m}$$

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{(11,0 \text{ m})^2 + (3,7 \text{ m})^2} = 12 \text{ m.}$$



Poiché il tempo limite Δt_{min} che la palla ha a disposizione per infilarsi in rete senza essere intercettata dalla mano del portiere deve essere minore di 0,7 s, la velocità minima che la palla deve avere per infilarsi in rete imparabilmente a fil di palo è:

$$v_{\text{minima}} > \frac{AC}{\Delta t_{\text{min}}} = \frac{12 \text{ m}}{0,7 \text{ s}} = 17 \text{ m/s} = 6 \times 10 \text{ km/h.}$$

8. LA LEGGE ORARIA DEL MOTO

Dimostrazione della legge del moto rettilineo uniforme

Partiamo dall'espressione della velocità media:

$$v_m = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}.$$

Poiché il moto è rettilineo uniforme, la velocità è costante, dunque $v_m = v$.

Il moto inizia all'istante t_0 . Poniamo quindi $t_1 = t_0$, e sostituiamo t_2 con un istante di tempo generico t . Inoltre s_1 è la posizione iniziale, cioè $s_1 = s_0$, e al posto di s_2 sostituiamo la posizione s occupata dal corpo all'istante t .

La formula precedente diventa allora

$$v = \frac{s - s_0}{t - t_0},$$

da cui si ricava l'espressione

$$s - s_0 = v(t - t_0) \quad \Rightarrow \quad s = s_0 + v(t - t_0).$$

Abbiamo così ottenuto la legge più generale per la posizione nel moto rettilineo uniforme. Ponendo nella seconda formula (come si fa di solito) $t_0 = 0$ s, si trova la formula (8) precedente: $s = s_0 + vt$.

Calcolo dell'istante di tempo

Se conosciamo la posizione della motocicletta e la velocità a cui ha viaggiato, come possiamo determinare l'istante t , che ci dice quanto tempo è passato dalla partenza?

La posizione della motocicletta è data dalla formula $s = vt$. Dividendo entrambi i membri per v , mettiamo in evidenza l'incognita t :

$$\frac{s}{v} = \frac{vt}{v} \Rightarrow t = \frac{s}{v}$$

Per esempio, la motocicletta che mantiene una velocità di 35 m/s si troverà nella posizione $s = 28000$ m all'istante di tempo

$$t = \frac{s}{v} = \frac{28000 \text{ m}}{35 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 800 \text{ s}.$$

Se la posizione iniziale s_0 è diversa da zero, la formula per determinare t diviene

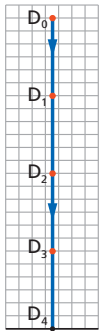
$$t = \frac{s - s_0}{v}.$$

10. ALTRI ESEMPI DI GRAFICI SPAZIO-TEMPO

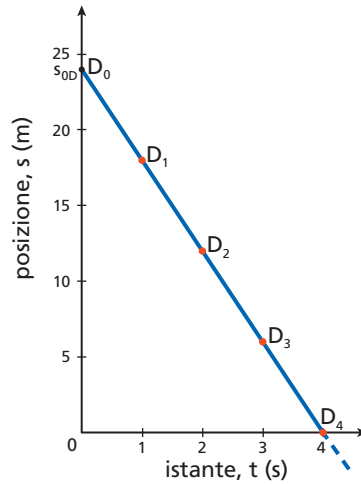
Vediamo qui di seguito altri esempi di grafici spazio-tempo e velocità-tempo.

Verso negativo

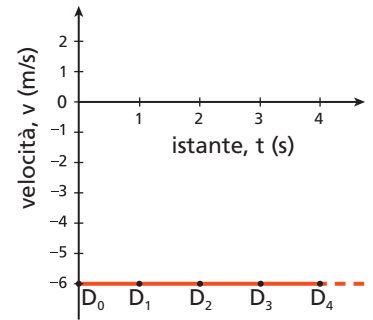
A L'atleta *D* parte dalla posizione $s_{0D} = 24$ m e torna a velocità costante verso la linea di partenza.



B Il suo **grafico spazio-tempo** è una retta inclinata verso il basso. Essa interseca l'asse *s* in s_{0D} e giunge in $s = 0$ m quando $t = 4$ s.

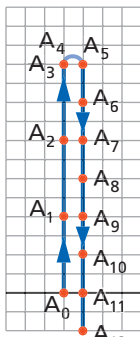


C Il **grafico velocità-tempo** è ancora una retta orizzontale (*v* costante), ma posta al di sotto dell'asse *t*, perché *v* è negativa.

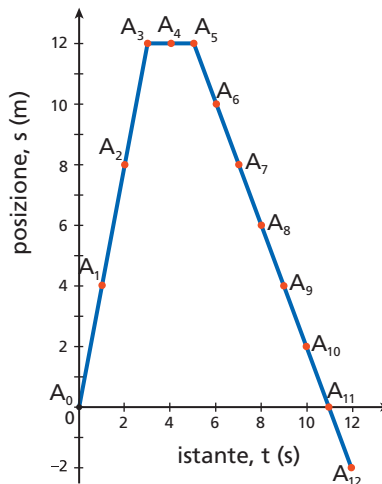


Andata e ritorno

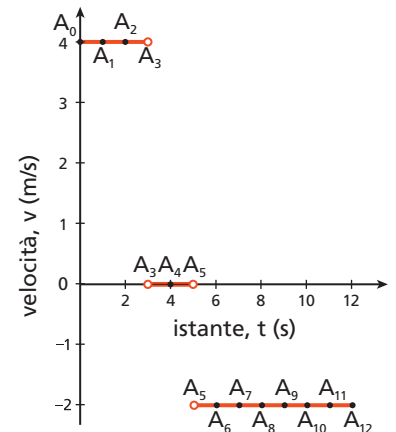
A *A* corre verso il fondo della pista, poi si ferma per 2 s e infine torna indietro lentamente, oltrepassando la linea di fondo.



B Il grafico contiene un tratto inclinato verso l'alto, uno orizzontale e uno verso il basso, che porta a valori negativi di *s*.

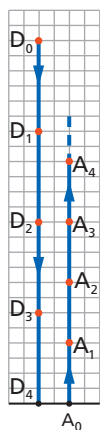


C Il grafico velocità-tempo passa da un valore positivo a zero, e poi a una velocità negativa.

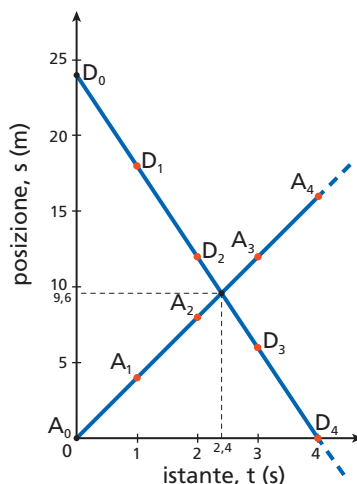


Incontro

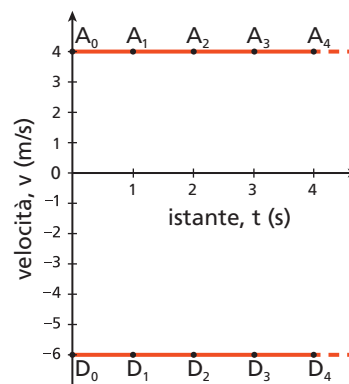
A Mentre *D* si muove verso la linea di partenza, *A* si muove nel verso positivo. Dopo 2,4 s *A* e *D* si incontrano a 9,6 m dalla linea del traguardo.



B Il grafico di *A* è inclinato verso l'alto, quello di *D* verso il basso. Si intersecano nel punto di coordinate (2,4 s; 9,6 m).

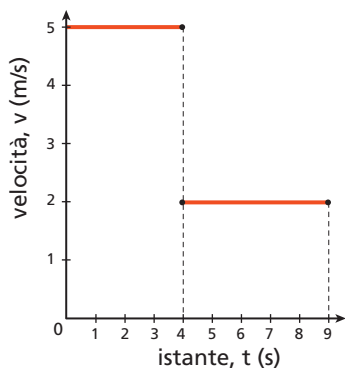


C Il grafico velocità-tempo di *A* è al di sopra dell'asse *t*, quello di *B* è al di sotto. Il valore assoluto della velocità di *D* è maggiore di quello di *A*.



Deduzione del grafico spazio-tempo dal grafico velocità-tempo

Finora abbiamo disegnato il grafico spazio-tempo a partire dalla descrizione del moto. È però possibile dedurre il grafico spazio-tempo anche dalla conoscenza del grafico velocità-tempo; tale deduzione è particolarmente semplice, come si vede negli esempi seguenti, quando il moto avviene con velocità costanti.



Rallentamento

L'atleta *E* parte dalla posizione $s_{0E} = 10$ m. Viene registrata la sua velocità, che è rappresentata nel grafico velocità-tempo a lato.

Per 4 s *E* corre verso il traguardo alla velocità di 5 m/s. Quindi percorre una distanza

$$\Delta s_1 = (5 \text{ m/s}) \times (4 \text{ s}) = 20 \text{ m.}$$

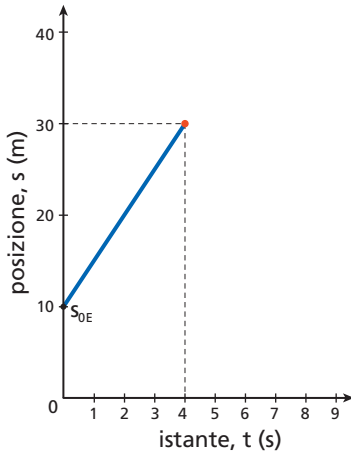
Poi l'atleta cammina verso il traguardo per 5 s alla velocità di 2 m/s, percorrendo una seconda distanza

$$\Delta s_2 = (2 \text{ m/s}) \times (5 \text{ s}) = 10 \text{ m.}$$

A All'istante $t = 4$ s la sua posizione è:

$$s = s_{0E} + \Delta s_1 = (10 + 20) \text{ m} = 30 \text{ m}.$$

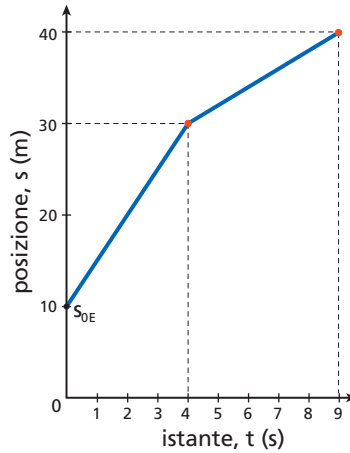
Il suo grafico spazio-tempo fino a questo istante è illustrato nella figura.



B All'istante $t = (4 + 5) \text{ s} = 9 \text{ s}$ E si trova in:

$$s = s_{0E} + \Delta s_1 + \Delta s_2 = 40 \text{ m}.$$

Il grafico spazio-tempo è una spezzata, con il secondo tratto meno inclinato del primo.



Inversione di marcia

L'atleta F parte dalla posizione $s_{0F} = 30$ m e la sua velocità è rappresentata nel grafico velocità-tempo a lato.

Per 5 s F corre verso la linea di partenza con una velocità (negativa) di valore assoluto 4 m/s. Quindi percorre una distanza negativa

$$\Delta s_1 = (-4 \text{ m/s}) \times (5 \text{ s}) = -20 \text{ m}.$$

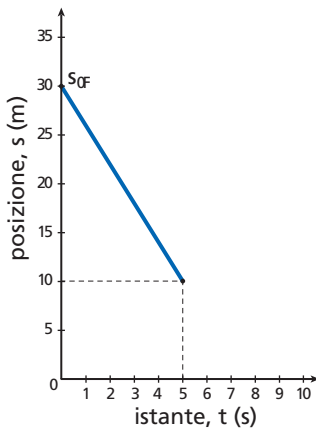
Poi F si volta di scatto e corre verso il traguardo per altri 5 s alla velocità di 5 m/s, percorrendo una distanza positiva

$$\Delta s_2 = (5 \text{ m/s}) \times (5 \text{ s}) = 25 \text{ m}.$$

All'istante $t = 5$ s la sua posizione è:

$$s = s_{0F} + \Delta s_1 = (30 - 20) \text{ m} = 10 \text{ m}.$$

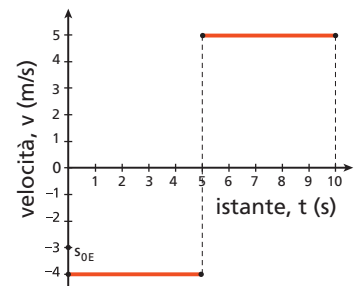
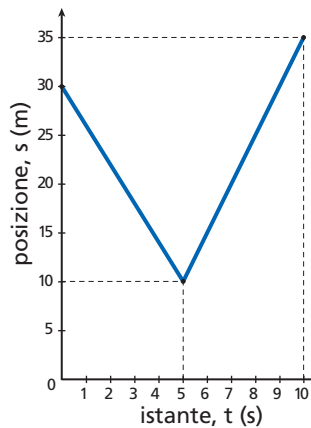
A Il suo grafico spazio-tempo fino a questo istante è illustrato nella figura. È inclinato verso il basso perché la velocità è negativa.



B All'istante $t = (5 + 5) \text{ s} = 10 \text{ s}$ F si trova in:

$$s = s_{0F} + \Delta s_1 + \Delta s_2 = 35 \text{ m}.$$

Il grafico spazio-tempo è una spezzata, con il secondo tratto inclinato verso l'alto.



ESERCIZI

1. IL PUNTO MATERIALE IN MOVIMENTO

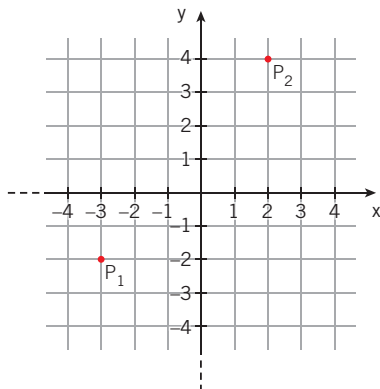
DOMANDE SUI CONCETTI

- 1** Descrivi che forma hanno le traiettorie: di una mela che cade dall'albero; della punta di una lancetta dell'orologio.
- 2** Associa il moto di vari oggetti alla relativa traiettoria.

MOTO DI	SEGMENTO	ARCO DI CIRCONFERENZA	SPIRALE	CIRCONFERENZA
Ascensore				
Punta di un cavatappi				
Bambina su altalena				
Cavallo di una giostra per bambini				

ESERCIZI NUMERICI

- 8** Una biglia si muove su un tavolo da P_1 a P_2 .
★★★



- Determina le coordinate dei due punti.

3. IL MOTO RETTILINEO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 9** Prima il termometro della mia camera segnava 23 °C. Ora segna 29 °C. Indicando con T la temperatura, riempi gli spazi vuoti della seguente tabella.

GRANDEZZA FISICA	SIMBOLO	VALORE
Temperatura iniziale	T_1	
Temperatura finale	T_2	
Variazione temperatura	Δt	

[23 °C; 29 °C; 6 °C]

- 10** Spiega in 3 righe la differenza che intercorre tra il concetto di “traiettoria” e quello di “distanza percorsa”, facendo i dovuti esempi, se necessario.

ESERCIZI NUMERICI

- 14** Il 1° aprile 2013 un euro valeva 1,2806 dollari. Il 27 aprile 2013 il cambio euro-dollaro è aumentato dell'1,74% rispetto alla prima data.

- Calcola il tasso di cambio euro-dollaro al 27 aprile 2013.

[1 € = 1,3029 \$]

4. LA VELOCITÀ MEDIA

ESERCIZI NUMERICI

- 20** **SPORT** Il figlio del vento

★★★ Il “figlio del vento”, Carl Lewis, stabilì diversi record di velocità. Durante la sua lunga e gloriosa carriera sportiva, corse i 100 m in 9,86 s (1991), i 200 m in 19,75 s (1983) e la staffetta 4 × 100 m in 37,40 s (1992).

- In quale gara Lewis ha corso in media più velocemente?

[Staffetta]

- 21** Chi fa jogging usa come unità di misura il minuto al chilometro (min/km). Una persona mantiene un ritmo di 4,0 min/km.

- Calcola la velocità media (in km/h) corrispondente.

- ▶ Trasforma questa velocità in m/s.

[15 km/h ; 4,2 m/s]

- 22** ★★★ Durante un rally automobilistico un concorrente percorre un tratto rettilineo e passa ai controlli dei giudici di gara. I controlli alla partenza, al primo e al secondo rilevamento sono i seguenti:

s (km)	0,0	3,0	10
t (min)	0,0	2,0	5,0

Calcola:

- ▶ la velocità media dell'automobile tra la partenza e il primo rilevamento;
- ▶ la velocità media dell'automobile tra il primo rilevamento e il secondo rilevamento;
- ▶ la velocità media dell'automobile sull'intero percorso.

[90 km/h; 140 km/h; 120 km/h]

5. CALCOLO DELLA DISTANZA E DEL TEMPO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 31** Per andare da casa a scuola in motorino, impieghi 10 min alla velocità media di 30 km/h. È corretto dire che in media percorri 1 km in 0,5 min?

ESERCIZI NUMERICI

- 32** ★★★ Cerca su Internet la distanza in linea d'aria tra Milano e Bologna.

- ▶ Quanto tempo impiega un aereo per andare da Milano a Bologna alla velocità media di 252 km/h?

[48 min]

- 33** **STORIA** L'osservatorio astronomico

- ★★★ Nell'antico osservatorio astronomico di Japur in India, che esiste ancora oggi, l'ombra dello gnomone di una gigantesca meridiana orizzontale si muove alla velocità di un quarto di millimetro al secondo e il suo movimento è perfettamente percepibile.



Jorg Hackemann/Shutterstock

- ▶ Che distanza percorre in 10 min?

[15 cm]

- 34** **NATURA** Il ghepardo reale

- ★★★ Il ghepardo reale è in grado di raggiungere picchi di velocità tra i 110 e i 120 km/h, la velocità più elevata tra tutti i mammiferi terrestri.

- ▶ Che distanza riesce a percorrere, al massimo della sua velocità, in un arco di tempo pari a 3,0 s?

[circa 100 m]

- 35** ★★★ Due amici, che programmano una vacanza in bicicletta, partono da Roma e fanno l'ipotesi di mantenere una media di 20 km/h.

- ▶ Quanti chilometri percorrerebbero in 8,0 h?
- ▶ Quanti giorni ci vorrebbero per arrivare a Milano, che dista 575 km, pedalando senza fermarsi?

[1,6 × 10² km; 1 d 5 h]

- 36** **FACCIAMO DUE CONTI** Gli impulsi al cervello

- ★★★ Nel corpo umano gli impulsi nervosi viaggiano a una velocità media di circa 10² m/s. In piscina, prima di immergerti, provi la temperatura dell'acqua con un piede.

- ▶ Stima l'intervallo di tempo nel quale l'impulso generato dal contatto con l'acqua raggiunge il tuo cervello.

[circa 0,02 s]

- 37** **SPAZIO** La distanza di Proxima Centauri

- ★★★ La velocità della luce nel vuoto vale circa 300000 km/s. Proxima Centauri, la stella più vicina a noi dopo il Sole, dista dalla Terra 4,22 a.l., dove un anno-luce è la distanza percorsa dalla luce in un anno.

- ▶ Quanti chilometri dista dalla Terra la stella Proxima Centauri?

[4,00 × 10¹³ km]

- 38** ★★★ Il fronte di migrazione di un gruppo di uccelli migratori procede a una velocità media pari a circa 40 km al giorno.

- ▶ Quanto vale la velocità media del fronte di migrazione in km/h e in m/s?
- ▶ Quanto tempo impiega il gruppo di uccelli a percorrere 1000 km?

[1,7 km/h, 0,47 m/s; 25 d]

- 39** ★★★ Il rintocco di una campana lontana 1 km indica che è mezzogiorno in punto.

- ▶ In realtà quando sento il suono che ore sono?

Suggerimento: per la velocità del suono, usa il valore $3,32 \times 10^2$ m/s.

[Mezzogiorno e 3 secondi]

40 ★★★ In una gara a cronometro due ciclisti partono a 3,0 min l'uno dall'altro. La distanza da percorrere è di 60 km e i due ciclisti tagliano il traguardo facendo lo stesso tempo. Il ciclista più lento ha una velocità media di 40 km/h.

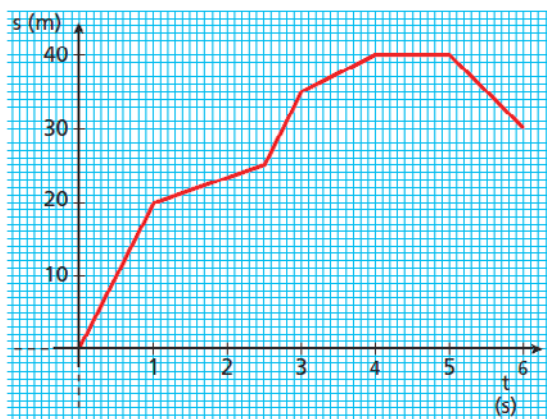
- ▶ Quanto vale la velocità media del ciclista più veloce?
- ▶ Quanto tempo ha impiegato il ciclista più veloce?

[41 km/h; 87 min]

6. IL GRAFICO SPAZIO-TEMPO

ESERCIZI NUMERICI

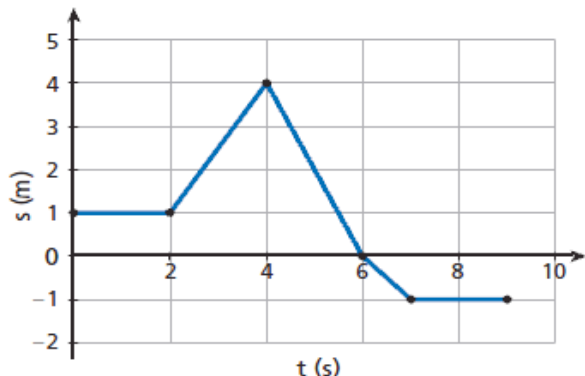
49 ★★★ Considera il grafico spazio-tempo disegnato qui sotto.



- ▶ Descrivi il moto rappresentato dal grafico nei successivi intervalli di tempo.
- ▶ Calcola la velocità media in ognuno dei tratti indicati.

[20 m/s, 3,3 m/s, 20 m/s, 5 m/s, 0 m/s, -10 m/s]

50 ★★★ Considera il grafico spazio-tempo disegnato qui sotto.



- ▶ Descrivi il moto rappresentato dal grafico nei successivi intervalli di tempo.
- ▶ Calcola la velocità media in ognuno dei tratti indicati.

[0 m/s, 1,5 m/s, -2 m/s, -1 m/s, 0 m/s]

51 ★★★ Luigi parte all'istante $t = 0$ s da casa propria, presa come origine $s = 0$ m, e si sposta lungo una traiettoria rettilinea di 2 m in 3 s. Poi si ferma al semaforo per 5 s; in seguito si sposta di altri 4 m in 4 s finché si accorge di aver dimenticato il portafoglio a casa. Quindi cambia verso lungo la stessa traiettoria rettilinea e raggiunge di nuovo l'origine all'istante $t = 14$ s.

- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo del moto di Luigi.

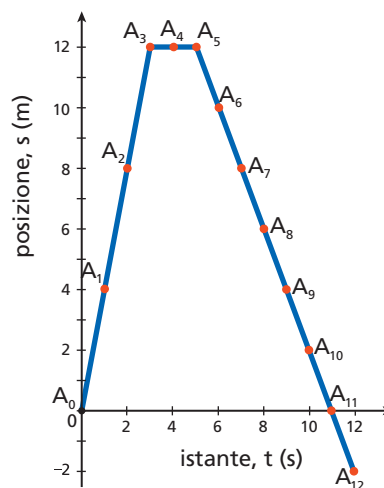
10. ALTRI ESEMPI DI GRAFICI SPAZIO-TEMPO

ESERCIZI NUMERICI

76 ★★★ Il corridore A corre verso il fondo della pista, poi si ferma per 2 s e infine torna indietro lentamente, oltrepassando la linea di fondo.

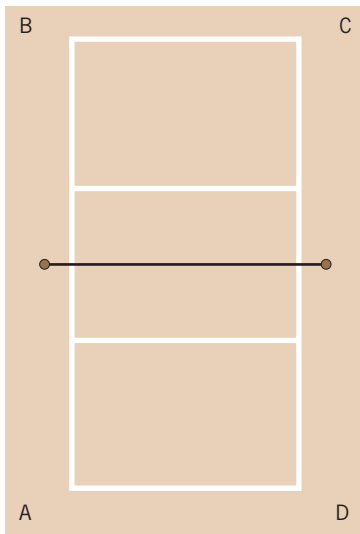
- ▶ Quanto vale la velocità media di A?

[-0,17 m/s]



77 ★★★ Due atleti corrono lungo il perimetro di un campo da pallavolo rappresentato in figura. Il primo parte dal vertice A e percorre il tratto AB a una velocità di 4,0 m/s, il tratto BC a 3,6 m/s, il CD a 3,0 m/s e l'ultimo tratto DA a 3,6 m/s. Il secondo atleta comincia a correre dal vertice B del campo e impiega 4,0 s per il tratto BC, 8,0 s per il tratto CD e 4,0 s per il tratto DA. ($AB = 18$ m; $BC = 9$ m; $CD = 18$ m; $DA = 9$ m).

- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo e velocità-tempo per i due atleti.
- ▶ Quale dei due atleti impiega il tempo minore per tornare/arrivare all'angolo A?



[Primo atleta]

78 ★★★ In una gara ciclistica a cronometro gli atleti partono con 2,0 min di distacco l'uno dall'altro. Le posizioni dove vengono calcolati i tempi intermedi in minuti sono posizionate dopo 15 km e 32 km dalla partenza, mentre l'intera tappa è lunga 48 km.

- ▶ Disegna i grafici spazio-tempo e velocità-tempo per i due atleti.
- ▶ In quale tratto avviene il sorpasso?

[Tra il primo e il secondo traguardo intermedio]

PROBLEMI GENERALI

8 ★★★ Un treno Freccia Rossa impiega 3 h e 30 min a percorrere la distanza tra Milano e Roma (632 km), con una sosta a Bologna di 4,0 min e una sosta a Firenze di 8,0 min.



Pinobub/Stutterstock

- ▶ Quanto vale la velocità media del treno sull'intero percorso?
- ▶ Quanto varrebbe la velocità media del treno se non facesse soste intermedie?

[$1,8 \times 10^2$ km/h; $1,9 \times 10^2$ km/h]

9 ★★★ La pantera può tenere una velocità di 100 km/h per circa 20 s, ma poi deve fermarsi. L'antilope, invece, può raggiungere in corsa una velocità massima di 85 km/h, ma riesce a mantenerla a lungo. In una radura, la pantera e l'antilope scattano contemporaneamente quando la loro distanza è 15 m e si muovono in linea retta.

- ▶ Trasforma le velocità in m/s.
- ▶ Rappresenta su una retta la posizione iniziale della pantera (0 m) e quella dell'antilope.
- ▶ Scrivi la legge del moto della pantera.
- ▶ Scrivi la legge del moto dell'antilope.
- ▶ Calcola quali posizioni occuperebbero dopo 20 s.
- ▶ La pantera riesce a raggiungere l'antilope?

[$s_p = 5,6 \times 10^2$ m; $s_a = 4,9 \times 10^2$ m; 27,8 m/s, 23,6 m/s; sì]

10 ★★★ **FUORI DAGLI SCHEMI** In un cartone animato un gatto scocca una freccia per colpire un topo mentre questi cerca di raggiungere la sua tana che si trova a 5,0 m di distanza. Il topo corre alla velocità di 20 km/h e la freccia a 30 km/h. Inizialmente il gatto e il topo distano 10 m.

- ▶ Disegna su una retta orientata le posizioni iniziali del gatto e del topo e la posizione della tana.
- ▶ Calcola il tempo che impiega il topo a raggiungere la sua tana.
- ▶ Calcola la distanza percorsa dalla freccia nello stesso intervallo di tempo.
- ▶ Riesce a mettersi in salvo il topo?

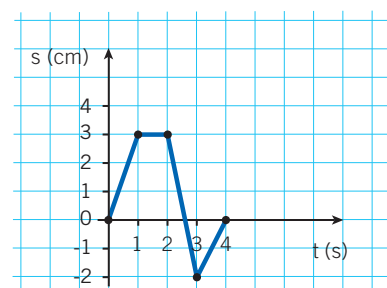
[0,89 s; 7,4 m; sì]

11 ★★★ Un'automobile attraversa un semaforo alla velocità di 72 km/h. Nello stesso istante, uno scooter che si trova 1,5 km più avanti, mantiene una velocità di 36 km/h.

- ▶ Quanto tempo impiega l'automobile a raggiungere lo scooter?
- ▶ A che distanza dal semaforo si trovano i due veicoli quando avviene il sorpasso?

[2,5 min; 3,0 km]

12 ★★★ Il grafico rappresenta la posizione di una formica che si sta muovendo lungo il tronco di un albero.

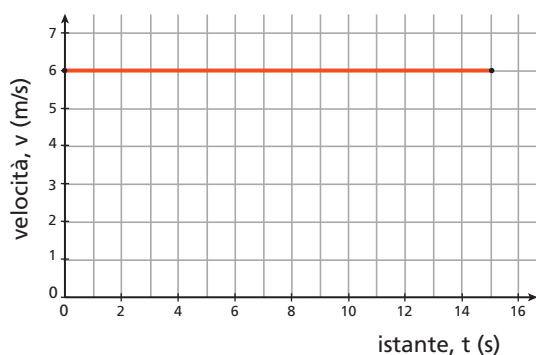


- ▶ Descrivi il moto della formica.
- ▶ Quanto vale la velocità media della formica nei quattro tratti?
- ▶ Quanto vale la velocità media della formica sull'intero percorso?

[0,03 m/s; 0 m/s; -0,05 m/s; 0,01 m/s; 0 m/s]

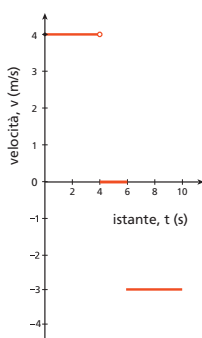
- 13** ★★★ Un punto materiale che si muove su una retta parte dall'origine del sistema di riferimento e si muove con il grafico velocità-tempo della figura.

- ▶ Disegna il corrispondente grafico spazio-tempo.



- 14** ★★★ Un atleta inizia a muoversi dalla linea di partenza della pista e il suo moto è descritto dal grafico velocità-tempo della figura.

- ▶ Disegna il grafico spazio-tempo relativo a questo moto.



- 15** ★★★ A 100 m dal traguardo in una gara dei 400 m, l'atleta B, in seconda posizione, ha una velocità di 8,4 m/s. L'atleta A, in prima posizione, in vantaggio di 2,00 m sull'avversario, mantiene la velocità di 8,1 m/s.



Duomo Photography Inc./Getty Images

- ▶ Chi vince la gara?
- ▶ Con quanti metri di distacco dal secondo?

[B; 1,6 m]

- 16** ★★★ Durante la semifinale del torneo del Roland Garros del 2013 tra lo spagnolo Nadal e il serbo Djokovic, una macchina fotografica scatta ogni 5,0 ms una fotografia della pallina da tennis che viaggia a 180 km/h.

- ▶ Calcola di quanto si muove la pallina a ogni scatto.
- ▶ Considera la macchina fotografica ferma e il suo campo visivo di 3,0 m. Dopo quanto tempo la pallina scompare dalle foto?
- ▶ In quante foto consecutive comparirà?

[0,25 m; 0,060 s; 12]

- 17** **SPORT** Ostacoli olimpici

- ★★★ Nella finale olimpica di Londra 2012 della gara dei 110 m ostacoli, Aries Merritt scende dall'ultimo ostacolo (che dista 14,02 m dal traguardo) 35 ms prima dell'ostacolista Jason Richardson. Merritt corre a una velocità di 10,30 m/s e Richardson di 10,45 m/s.

- ▶ Calcola chi arriverà prima tra i due corridori statunitensi.

[Merritt]

- 18** **SPORT** Pedali da campione

- ★★★ Vincenzo Nibali ha corso i primi 65 km di una tappa del Giro d'Italia a una velocità media di 44 km/h. La tappa era lunga 158 km e il ciclista italiano ha impiegato 3 h 45 min 23 s per completarla.

- ▶ A che velocità media ha corso gli ultimi 93 km?

[41 km/h]

- 19** **SPORT** Cento metri da record

- ★★★ Nel 1964 durante le Olimpiadi di Tokyo, Bob Hayes fa registrare il primo record del mondo sui 100 metri con cronometraggio di tipo automatico correndo in 10,06 s.

- ▶ Se Bob Hayes avesse gareggiato contro Usain Bolt alle Olimpiadi di Londra del 2012, quanti metri di distacco ci sarebbero stati tra i due? Nella finale il tempo di Bolt fu di 9,63 s.

[4,27 m]

- 20** ★★★ Due auto gareggiano su 45 giri di un circuito di 5,473 m. La prima macchina viaggia a una velocità media di 243 km/h, la seconda di 232 km/h.

- ▶ Quando la prima macchina arriva al traguardo, quanti giri deve ancora compiere la seconda prima di poter tagliare il traguardo?

[2]

26 LA FISICA DEL CITTADINO Programmare un viaggio
 ★★★

Abiti nella città A ma devi andare in un ufficio che si trova nella città B. Usando l'automobile puoi scegliere tra due possibilità:

(Tieni conto che la benzina per l'automobile costa 1,790 €/L.)

STRADA NORMALE			
D	v_m	b	p
73 km	65 km/h	13 km/L	0 €
PERCORSO MISTO			
TANGENZIALE			
D	v_m	b	p
6 km	75 km/h	16 km/L	0 €
AUTOSTRADA			
D	v_m	b	p
59 km	120 km/h	18 km/L	4 €
STRADA NORMALE			
D	v_m	b	p
13 km	40 km/h	14 km/L	0 €

Domanda 1:

Osserva con attenzione le tabelle precedenti.

- ▶ Quale delle due alternative presenta la distanza più breve?

Domanda 2:

Calcola i tempi di percorrenza nei singoli casi presentati.

- ▶ Quale delle due alternative è più rapida?

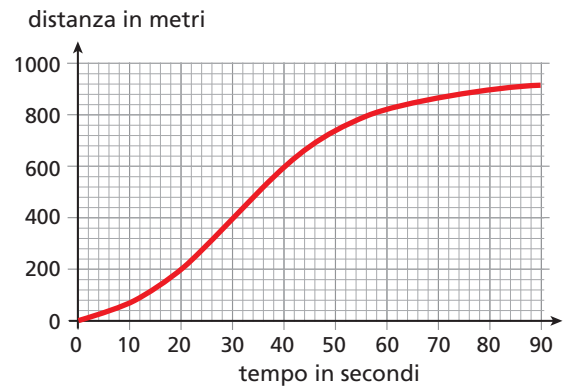
Domanda 3:

Calcola le spese per benzina e pedaggi nei diversi tratti.

- ▶ Quale delle due alternative porta a una spesa minore?

GIOCHI DI ANACLETO

6 Il grafico rappresenta parte di un tragitto di un'auto in città considerando la distanza percorsa in funzione del tempo.



- ▶ Quale delle seguenti distanze è più vicina a quella percorsa dall'auto fra 52 e 64 secondi dalla partenza?

- a. 40 m.
- b. 60 m.
- c. 80 m.
- d. 120 m.

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2006)

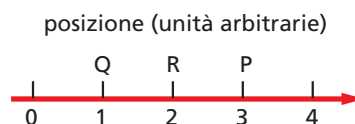
7 Un maratoneta corre a una velocità costante di 15 km/h. Quando mancano 7,5 km alla fine, un uccello inizia a volare avanti e indietro, dal corridore al traguardo, e mantenendo una velocità media di 30 km/h, fino a quando il corridore taglia il traguardo.

- ▶ Quanta strada percorrerà l'uccello in tutto questo tempo?

- a. 10 km.
- b. 15 km.
- c. 20 km.
- d. 30 km.

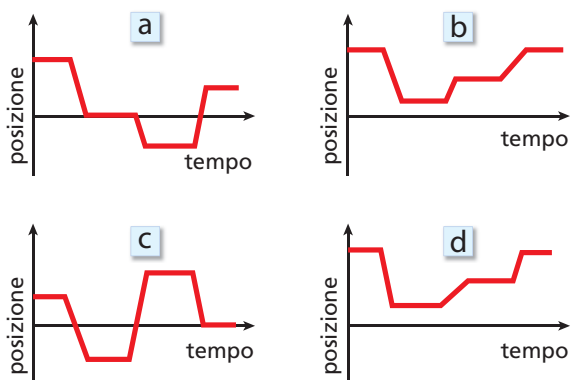
(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2005)

8 Una persona si trova inizialmente nel punto P (vedi figura).



Vi sosta per un po', e quindi si muove in linea retta fino al punto Q, dove sta fermo per qualche momento. Poi corre rapidamente fino a R, vi si ferma per un po', e torna in P camminando lentamente.

- ▶ Quale dei seguenti grafici tempo-posizione rappresenta correttamente questa sequenza di soste e di movimenti?



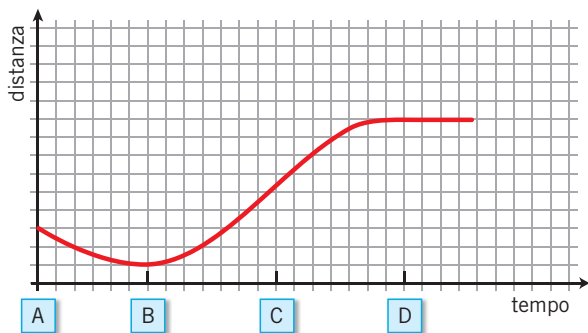
(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2004)

- 9** Gianni esce di casa e corre all'edicola per comprare la sua rivista preferita: in media, correndo, riesce a fare 120 passi al minuto. Al ritorno, sfogliando le pagine del giornale, cammina piano, a 60 passi al minuto. In tutto ha dovuto camminare per 15 minuti. Allora l'edicola dista dalla casa di Gianni:

- a. 180 passi.
- b. 600 passi.
- c. 900 passi.
- d. 1800 passi.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2002)

- 10** Un carrello si muove lungo una rotaia. Il grafico rappresenta la distanza del carrello da un traguardo posto in un punto della rotaia in funzione del tempo. In quale istante è massima la velocità del carrello?



(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2000)

8

L'ACCELERAZIONE



Taras Vyshnya/Shutterstock

5. IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

La caduta dei corpi

Un **sasso**, lasciato cadere da fermo, scende velocemente verso il basso e aumenta continuamente la propria velocità. Al contrario, una foglia o un palloncino pieno d'aria, lasciati cadere dalla stessa altezza, scendono molto più lentamente e spesso seguono un tragitto complicato.



Dima Kalinin/Shutterstock

Nel trattato *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze*, pubblicato nel 1638, Galileo Galilei dichiarò che questa differenza di comportamento era dovuta soltanto alla presenza dell'attrito con l'aria, che agisce in modo molto diverso sul sasso e sulla foglia (o sul palloncino). Secondo Galileo

se non ci fosse l'attrito con l'aria, tutti i corpi cadrebbero verso il basso descrivendo un moto uniformemente accelerato. L'accelerazione è uguale a $9,8 \text{ m/s}^2$.



Questa accelerazione, quindi, è uguale per tutti i corpi e non dipende né dalla loro massa né dal particolare materiale di cui sono fatti.

Le argomentazioni di Galileo erano contrarie all'esperienza comune, ma la conferma della loro validità giunse poco dopo la metà del Seicento per opera di Robert Boyle; egli mise oggetti di peso e forma diversi dentro un tubo nel quale aveva fatto il vuoto, cioè aveva aspirato dell'aria (**figura**). Capovolgendo il tubo, tutti gli oggetti toccano il fondo nello stesso istante.

Un esperimento analogo e molto famoso fu effettuato nel 1761, quando George Adams fece cadere una moneta e una piuma in un tubo in cui era stato praticato il vuoto. In assenza dell'aria, la piuma e la moneta caddero l'una a fianco dell'altra.

Una ripetizione dell'esperimento di Adams è riportata nella **fotografia**: non rallentata dall'aria, la piuma cade fianco a fianco della mela. Nel 1971, lo stesso esperimento fu ripetuto dall'astronauta David Scott sulla superficie della Luna, che è priva di atmosfera, lasciando cadere insieme una piuma e un martello.

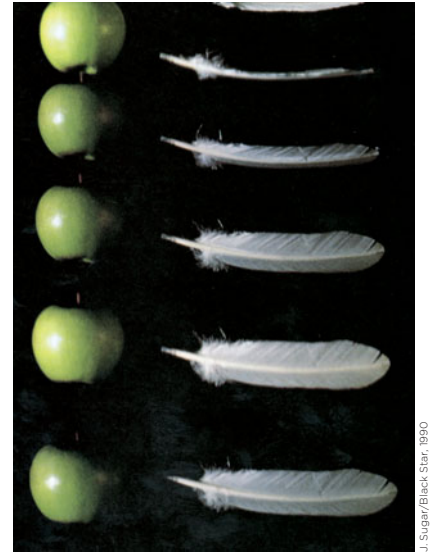
L'ipotesi di Galileo è stata così verificata da moltissimi altri esperimenti di precisione, effettuati non soltanto sulla Terra ma anche sulla Luna.

L'accelerazione con cui cadono (in assenza di aria) tutti i corpi che si trovano sulla superficie della Terra è di solito indicata con il simbolo speciale g ed è chiamata **accelerazione di gravità**. Dai dati dell'esperimento di caduta della mela, abbiamo calcolato che il suo valore numerico è:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}. \quad (3)$$

Sulla Terra, un oggetto che cade aumenta, ogni secondo, la sua velocità di quasi 10 m/s (cioè di quasi 36 km/h).

Sulla Luna il valore di g è $1,6 \text{ m/s}^2$, circa 1/6 di quello sulla Terra. A ogni corpo celeste corrisponde un particolare valore dell'accelerazione di gravità: per esempio, su Marte è $3,7 \text{ m/s}^2$. Altri valori sono riportati nella **tabella**.



J. Sugar/Black Star, 1990

ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ	
Corpo celeste	$g(\text{m/s}^2)$
Sole	274
Mercurio	3,7
Venere	8,9
Terra	9,8
Luna	1,6
Marte	3,7
Giove	23,1
Saturno	9,0
Urano	8,7
Nettuno	11,0

6. IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO CON PARTENZA DA FERMO

Dimostrazione della formula (4)

Nella formula (2) poniamo:

- $a_m = a$ (l'accelerazione a è costante e quindi sempre uguale all'accelerazione media);
- $v_1 = 0 \text{ m/s}$ (il corpo parte da fermo);
- $t_1 = 0 \text{ s}$ (facciamo partire il cronometro nell'istante in cui il corpo inizia a muoversi);
- $v_2 = v$ e $t_2 = t$ (all'istante generico t il corpo ha la velocità generica v).

Così facendo otteniamo l'espressione

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

da cui si ottiene la (4) semplicemente moltiplicando i due membri per t .

7. IL CALCOLO DEL TEMPO

Un **tuffatore** si lascia cadere da un trampolino posto a 3,0 m di altezza. Quanto tempo impiega per arrivare a toccare l'acqua?

La posizione del tuffatore è data dalla formula



Alex Emanuel Kocch/Black Star, 1990

$$s = \frac{1}{2} at^2.$$

Conosciamo $s = 3,0$ m e l'accelerazione di gravità $a = 9,8$ m/s². Vogliamo conoscere il tempo t . Mettiamo in evidenza t^2 dividendo i due membri per a e moltiplicandoli per 2:

$$2 \frac{s}{a} = 2 \frac{1}{2} \frac{at^2}{a} \Rightarrow t^2 = \frac{2s}{a}.$$

Così otteniamo la relazione

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} \quad (6)$$

posizione (m)
accelerazione (m/s²)

istante di tempo (s)

Questa formula esprime il tempo impiegato da un punto materiale, che *parte da fermo* e ha accelerazione costante a , a giungere alla posizione s partendo dalla posizione $s = 0$ m.

Esempio

Consideriamo il tuffatore che cade (da fermo) da un trampolino alto 3,0 m.

► Calcola la durata della caduta.

Scegliamo come istante $t = 0$ s quello in cui inizia la caduta e come quota $s = 0$ m quella a cui si trova il trampolino.

È conveniente utilizzare un sistema di riferimento rivolto verso il basso, per cui il pelo dell'acqua si trova nella posizione $s = 3,0$ m.

Nello stesso sistema di riferimento l'accelerazione di gravità risulta positiva ($g = + 9,8$ m/s²) perché fa aumentare la velocità del tuffatore.

Con queste scelte la durata della caduta è uguale all'istante finale t , che si calcola con la formula (6) e risulta:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (3,0 \text{ m})}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = \sqrt{\frac{6,0}{9,8} \frac{\text{m}}{\frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 0,78 \sqrt{\text{s}^2} = 0,78 \text{ s}.$$

10. GALILEO GALILEI E IL METODO SPERIMENTALE

Come ha fatto Galileo a scoprire che tutti i corpi cadrebbero a terra nello stesso modo, se non ci fosse l'attrito dell'aria? Non è una verità evidente, che sta davanti agli occhi di tutti.

Al contrario è un'affermazione che va contro il senso comune: un vaso di fiori che cade dal secondo piano arriva a terra ben prima di una foglia che si è staccata dalla pianta. Come è spiegato nel paragrafo 5, grazie agli esperimenti oggi sappiamo che Galileo ha ragione.

Nel Seicento, ai tempi di Galileo, per spiegare la caduta dei gravi si faceva riferimento alla teoria di Aristotele, secondo la quale la velocità di caduta è direttamente proporzionale alla massa del corpo: una pietra di 10 kg sarebbe 10 volte più veloce di un sasso da 1 kg. Galileo ha avuto il coraggio di mettere in dubbio ciò che diceva Aristotele, la cui autorità era all'epoca indiscutibile. Per prima cosa ha demolito logicamente la sua affermazione, inventando un esperimento ideale, il cui risultato porta a una contraddizione.

Immagina di far cadere due oggetti diversi dalla stessa altezza; secondo Aristotele, quando arrivano a terra il più pesante ha una velocità v_p maggiore della velocità v_l di quello più leggero. Poi immagina di legare i due oggetti insieme con una corda sottile:

- puoi aspettarti che quello più leggero e lento ostacoli il moto dell'altro e sia tirato da esso; quindi la velocità comune con cui i due arrivano a terra dovrebbe *essere compresa* tra v_p e v_l ;
- ma si può ragionare in un altro modo: i due oggetti uniti formano un unico corpo, più pesante di ciascuno dei due; stando così le cose, la velocità comune con cui i due arrivano a terra dovrebbe essere *maggiore* di v_p .

Due ragionamenti diversi ma corretti, entrambi basati sulla teoria di Aristotele, portano a risultati incompatibili tra loro. Ciò è inaccettabile e quindi dobbiamo ammettere che l'idea di partenza è sbagliata. Così, con un esperimento ideale Galileo ha dimostrato la falsità della teoria.

Il passo successivo consiste nell'inventare un nuovo modello che descriva in modo accurato il fenomeno. Ancora una volta Galileo fa ricorso a un esperimento, questa volta reale.

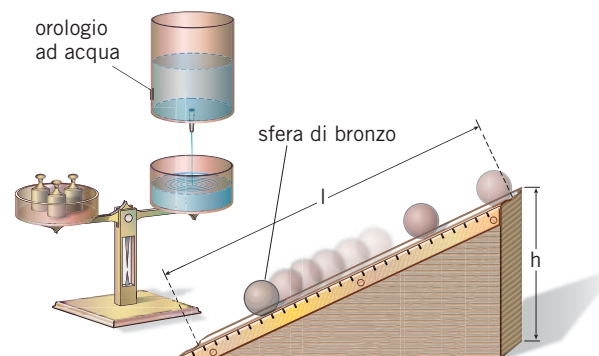
La caduta libera come caso limite del piano inclinato

L'esperimento ha lo scopo di verificare l'ipotesi che i corpi cadano con accelerazione costante, cioè aumentino la velocità in modo direttamente proporzionale al tempo. Tuttavia i mezzi tecnici a sua disposizione non gli permettono di misurare la velocità istantanea. Mentre per valutare le lunghezze gli basta un metro, misurare con precisione i brevi intervalli di tempo necessari ai corpi per toccare terra costituisce un problema.

Allora, visto che il moto di caduta libero è troppo veloce per essere studiato, Galileo realizza la caduta libera al rallentatore grazie a un piano inclinato, ben levigato per ridurre l'attrito, su cui rotola una sfera di bronzo, che può quindi raggiungere il suolo in tempi più lunghi, misurabili con gli strumenti a sua disposizione. Inoltre, l'attrito con l'aria non modifica in modo apprezzabile il moto della pesante sfera di bronzo.

L'apparato sperimentale è composto da:

- un **piano inclinato** con una scanalatura;
- un **regolo** (cioè un metro) di ottone suddiviso in intervalli uguali;
- una **sfera di bronzo**;
- un **orologio ad acqua**. Il tempo di caduta della sfera è ottenuto pesando la quantità d'acqua che, durante la discesa della sfera lungo il piano, fuoriesce da un secchio attraverso un sottile cannello e si raccoglie in un recipiente posato sul piatto di una bilancia (**figura**).



Galileo misura il tempo di caduta della sfera per diverse lunghezze del percorso. Poi, confrontando tempi di discesa e lunghezze, verifica che esiste una proporzionalità diretta fra le distanze percorse Δs e i quadrati dei corrispondenti intervalli di tempo $(\Delta t)^2$; questo è vero per diverse inclinazioni del piano e anche quando cambiano la massa e la composizione della sfera:

$$\Delta s = \alpha(\Delta t)^2.$$

Da ciò arriva alla formulazione di una legge generale sul moto di caduta libera, che si ottiene *al limite* anche quando il piano inclinato è in posizione verticale. Tradotta in parole, la legge afferma che, se non ci fosse l'attrito con l'aria, tutti i corpi cadrebbero con un moto uniformemente accelerato.

Il metodo sperimentale

Galileo è stato un rivoluzionario. Ha avuto il coraggio di mettere in dubbio ciò che i suoi contemporanei ritenevano ovvio e soprattutto ha inventato il metodo sperimentale, su cui si fonda la scienza. Secondo questo metodo, un'affermazione è vera se è verificata dagli esperimenti e non se si basa sul principio di autorità («l'ha detto Aristotele»). Gli esperimenti sono il banco di prova di una teoria: fino a quando la verificano, la teoria è vera; basta un solo esperimento che la contraddica per renderla falsa. Ripercorriamo i passi del metodo sperimentale, facendo riferimento alla caduta dei gravi.

Osservazione di un fenomeno: tutti i corpi cadono e il loro moto è influenzato dall'attrito dell'aria.

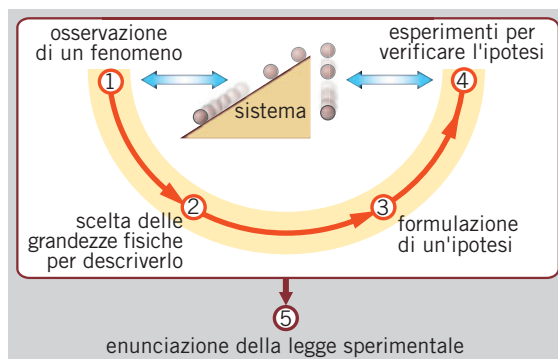
Scelta delle grandezze fisiche per descriverlo: lunghezza, tempo, velocità, accelerazione.

Formulazione di un'ipotesi: se l'attrito con l'aria è trascurabile, i corpi cadono con accelerazione costante.

Esperimenti per verificare l'ipotesi: misura della relazione fra tempi e lunghezze nella caduta dal piano inclinato, caduta libera come piano inclinato a 90 gradi, in condizioni tali che l'attrito sia trascurabile. Se gli esperimenti contraddicono l'ipotesi, occorre scartarla e inventarne una nuova.

Enunciazione della legge sperimentale:

$$\Delta s = \alpha(\Delta t)^2.$$



Le leggi sperimentali costituiscono delle conoscenze particolari che sono integrate in strutture logiche più complete, le teorie fisiche. Per esempio, la legge di caduta dei gravi può essere dedotta a partire dai principi della dinamica, che sono le leggi su cui si basa tutta la meccanica.

Le teorie, infatti, sono costruite in modo da permettere di derivare da esse tutte le leggi sperimentali note in un certo ambito della fisica. L'accordo con le leggi sperimentali conferma la teoria.

Proprio come dice Galileo in un brano ormai famoso:

«... così si costuma e conviene nelle scienze le quali alle conclusioni naturali applicano le dimostrazioni matematiche, come si vede ne i prospettivi, negli astronomi, ne i meccanici, ne i musici ed altri, li quali con sensate esperienze confermano i principii loro, che sono i fondamenti di tutta la seguente struttura» (Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze, giornata terza*).

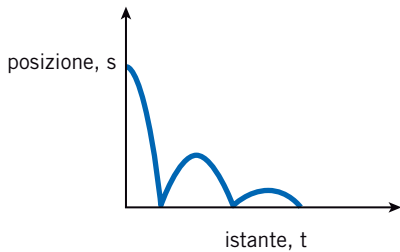
In esso egli afferma che questo è il metodo corretto delle scienze che utilizzano le dimostrazioni matematiche, così come fanno gli studiosi della prospettiva (*perspettivi*), gli astronomi, gli ingegneri (*mecanici*), i *musicisti* e altri che, con gli esperimenti (*sensate esperienze*) confermano i loro principi, su cui si fonda tutta la costruzione teorica successiva.

ESERCIZI

1. IL MOTO VARIO SU UNA RETTA

DOMANDE SUI CONCETTI

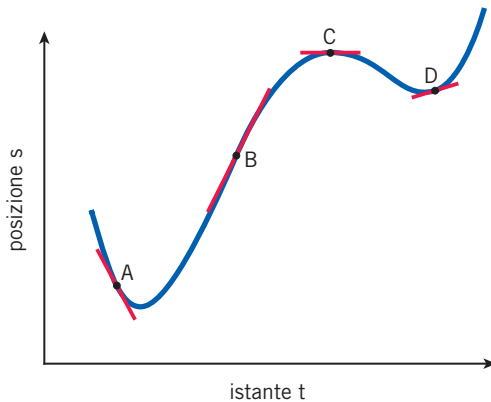
- 3** Che tipo di moto compie una palla calciata verso l'alto?
- 4** Descrivi a parole il moto vario rappresentato nel grafico spazio-tempo riportato nella figura.



2. LA VELOCITÀ ISTANTANEA

DOMANDE SUI CONCETTI

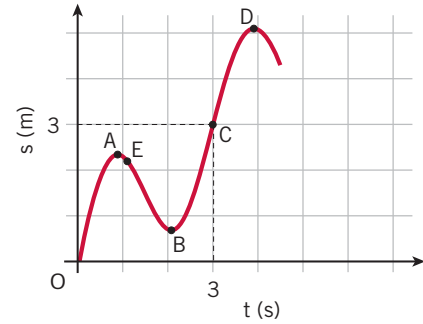
- 6** La figura qui sotto rappresenta il grafico spazio-tempo di un oggetto che si muove di moto rettilineo.



- Ordina, in senso crescente, le velocità istantanee v_A, v_B, v_C, v_D nei 4 punti del grafico.
- 7** Disegna il grafico spazio-tempo di un'auto che si muove in avanti con velocità istantanea crescente.

ESERCIZI NUMERICI

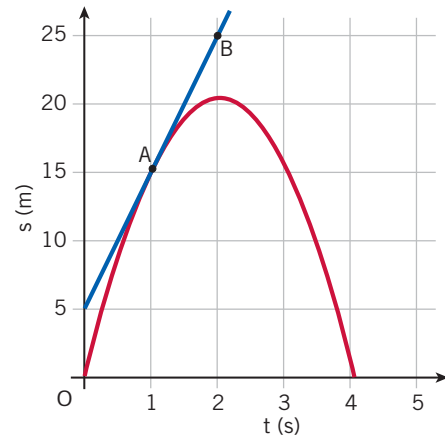
- 13** La figura rappresenta il grafico spazio-tempo di un moto vario.



- Quali dei punti indicati corrispondono a velocità nulla? Quali a velocità positiva? Quali a velocità negativa?
- Calcola la velocità media nei primi 2 secondi.
- In quanti altri istanti la velocità istantanea è uguale alla velocità media della domanda precedente?

[A, B, e D; C, E; 1,0 m/s; 3 (tra O e A, tra B e C, tra C e D)]

- 14** La figura rappresenta il grafico spazio-tempo di un oggetto lanciato verticalmente verso l'alto.



- Stima il valore della velocità istantanea nell'istante $t = 1$ s (le coordinate di A non possono essere dedotte esattamente dalla figura, ma se ne può dare una stima approssimata).
- C'è un altro istante di tempo in cui l'oggetto ha la stessa velocità istantanea che ha nell'istante $t = 1$ s?
- Spiega perché l'oggetto non ha mai la stessa velocità in due diversi istanti di tempo.

[10 m/s; no; non ci sono due punti del grafico in cui le rette tangenti siano parallele]

3. L'ACCELERAZIONE MEDIA

ESERCIZI NUMERICI

21 PROBLEMA SVOLTO

Calcolo dell'accelerazione media

Una motocicletta parte dal semaforo quando scatta il verde (istante $t = 0$) e accelera, ma poi deve diminuire la velocità per fermarsi al semaforo rosso successivo. La tabella sotto mostra la velocità del motore a intervalli di 2 s.



Brendan Howard/Shutterstock

Istante (s)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Velocità (m/s)	0	7,4	9,6	11,2	13,0	13,0	12,4	10,8	8,6	5,2	0

Determina l'accelerazione media della motocicletta

- nel tratto compreso tra $t = 2$ s e $t = 4$ s;
- nel tratto compreso tra $t = 10$ s e $t = 12$ s.

DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Istante iniziale 1		2 s	
	Istante finale 1		4 s	
	Velocità iniziale 1		Da determinare	Leggere la tabella sopra
	Velocità finale 1		Da determinare	Leggere la tabella sopra
	Istante iniziale 2		10 s	
	Istante finale 2		12 s	
	Velocità iniziale 2		Da determinare	Leggere la tabella sopra
	Velocità finale 2		Da determinare	Leggere la tabella sopra
INCOGNITE	Accelerazione		?	
	Posizione finale		?	

RAGIONAMENTO E RISOLUZIONE

• L'accelerazione media tra i 2 s e i 4 s è: $a_m = \frac{9,6 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 7,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \text{ s} - 2 \text{ s}} = 1,1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

• L'accelerazione media tra i 10 s e i 12 s è: $a_m = \frac{12,4 \frac{\text{m}}{\text{s}} - 13,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{12 \text{ s} - 10 \text{ s}} = -0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

CONTROLLO DEL RISULTATO

Nel primo tratto la velocità della motocicletta aumenta; di conseguenza l'accelerazione è positiva. Invece nel secondo tratto, in cui la motocicletta rallenta, l'accelerazione risulta negativa.

4. IL GRAFICO VELOCITÀ-TEMPO

DOMANDE SUI CONCETTI

26 “Andrea cammina su un marciapiede con passo inizialmente spedito, ma successivamente sempre più lento, fino a fermarsi”.

- ▶ Riscrivi questa frase usando termini, concetti e grandezze caratteristiche della fisica (velocità, accelerazione, positivo/a, negativo/a ecc.).

27 “Marta è ai blocchi di partenza della gara dei 100 metri. Via! Marta si alza, inizia a correre, raggiunge il ritmo di corsa e taglia il traguardo, dopo il quale smette gradualmente di correre fino a fermarsi”.

- ▶ Riscrivi questa frase usando termini, concetti e grandezze caratteristiche della fisica (velocità, accelerazione, positivo/a, negativo/a ecc.).

28 Disegna un grafico velocità-tempo che abbia accelerazione media $2,5 \text{ m/s}^2$ nei primi 3 s, 0 m/s^2 nei successivi 4 s e $-1,0 \text{ m/s}^2$ nei successivi 3 s.

ESERCIZI NUMERICI

34 La tabella rappresenta i dati parziali di tempo e velocità relativi a una moto sportiva. Riporta i dati in un foglio di calcolo e rispondi alle domande sotto la tabella.

	$t(s)$	$v(km/h)$
1	0,0	0,0
2	5,0	146
3	7,1	191
4	8,9	214
5	10,5	232

- ▶ Rappresenta i dati in un grafico velocità-tempo.
- ▶ Calcola le accelerazioni medie per passare da v_1 a v_2 , da v_2 a v_3 , da v_3 a v_4 , da v_4 a v_5 .
- ▶ Verifica che l'accelerazione media non è uguale alla media delle accelerazioni.

35 Nella tabella sono riportati i dati ottenuti con la telemetria su un'auto in moto rettilineo.

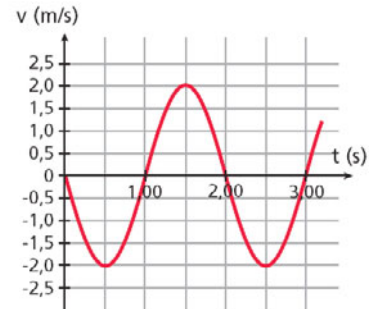
$t(s)$	$v(km/h)$
0	0
10	100,8
20	129,6
25	129,6
40	36,0

- ▶ Costruisci il grafico velocità-tempo (anche usando un Foglio di Calcolo).
- ▶ Calcola le accelerazioni medie tra 0 s e 10 s, tra 10 s e 20 s, tra 20 s e 25 s e tra 25 s e 40 s.

[$2,8 \text{ m/s}^2$, $0,80 \text{ m/s}^2$, 0 m/s^2 , $-1,7 \text{ m/s}^2$]

36 Un pendolo oscilla. Quando è nel punto più basso della sua traiettoria raggiunge la massima velocità; rallenta mentre risale; negli estremi di oscillazione ha velocità zero.

- ▶ In quali istanti l'accelerazione è massima?



[0,50 s, 1,50 s, 2,50 s...]

5. IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

DOMANDE SUI CONCETTI

37 Tenendo le braccia allargate all'altezza delle spalle, lascia cadere da una mano una gomma e dall'altra un foglio di carta. Che cosa puoi dire del loro comportamento in caduta?

- ▶ Ora appallottola il foglio di carta in modo molto compatto e ripeti l'esperimento. Come puoi interpretare la differenza di comportamento tra i due casi?

38 **DOMANDA SVOLTA**

La gravità costante

L'accelerazione di gravità su un corpo celeste è una costante in ogni caso? Anche su un meteorite grande quanto un pianeta ma di forma irregolare?

RISPOSTA

L'esperienza che facciamo sulla Terra non ci consente di dire che su un qualsiasi altro corpo celeste si verificherà qualcosa di analogo. Ma la legge di gravitazione universale di Newton che spiega l'origine dell'accelerazione di gravità ci permette di affermare che l'accelerazione di gravità è costante su corpi celesti sferici.

39 Una palla lasciata cadere a terra da una certa altezza rimbalza più volte e alla fine si ferma.

- ▶ Perché?

ESERCIZI NUMERICI

41 La stessa pallina dell'esercizio precedente viene lasciata cadere sulla Luna, da un'altezza differente. La durata della caduta è la stessa.

- ▶ Qual è la sua velocità al momento dell'impatto col suolo?

[2,2 m/s]

42 L'accelerazione di gravità g_M di Marte vale $3,7 \text{ m/s}^2$.

- ▶ Esprimila come percentuale dell'accelerazione terrestre g .

[$g_M = 38\% g$]

43 La tabella riporta i dati relativi a un oggetto in caduta libera su Giove all'interno di un tubo in cui è stato fatto il vuoto.

	$t(\text{s})$	$v(\text{m/s})$
1	0	0
2	0,1	2,6
3	0,2	5,2
4	0,3	7,8
5	0,4	10,4

- ▶ Riporta i dati su un Foglio di Calcolo, verifica che le accelerazioni medie sono costanti e calcola l'ac-

celerazione di gravità in quel punto di Giove.

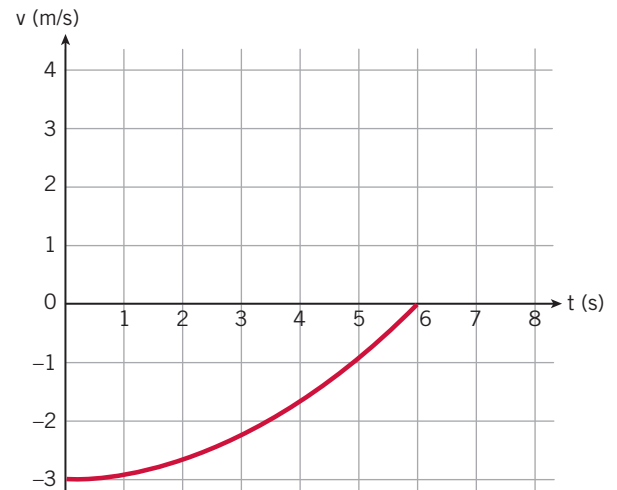
- ▶ Controlla i calcoli utilizzando due coppie di dati per ricavare l'accelerazione su Giove.

[$g_G = 26 \text{ m/s}^2$]

6. IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO CON PARTENZA DA FERMO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 48** Nel grafico velocità-tempo rappresentato nella figura, l'area tra il grafico e l'asse delle ascisse, tra 0 s e 6 s, è al di sotto dell'asse.



- ▶ Possiamo ancora dire che il valore di questa area è uguale alla distanza percorsa?

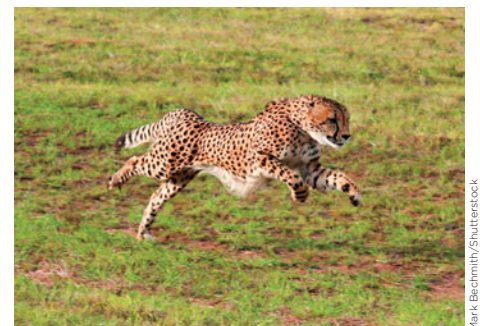
ESERCIZI NUMERICI

52 PROBLEMA SVOLTO

Calcolo dell'accelerazione e della distanza percorsa nel moto uniformemente accelerato

Il ghepardo è l'animale più veloce che si conosca, e può raggiungere picchi di velocità pari a 113 km/h . È stato registrato che il ghepardo può passare dallo stato di quiete alla velocità di $70,0 \text{ km/h}$ in $2,00 \text{ s}$.

- ▶ Quanto vale l'accelerazione del ghepardo, supponendo che sia costante?
- ▶ Dopo quanti metri raggiunge la velocità di $36,0 \text{ km/h}$?



Mark Bachmuth/Shutterstock

DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Velocità iniziale	v_0	0 m/s	
	Velocità dello scatto	v_1	70,0 km/h	Velocità finale al termine dell'accelerazione
	Durata dell'accelerazione	t_1	2,00 s	
	Velocità del ghepardo	v_2	36,0 km/h	Velocità intermedia tra v_0 e v_1
INCOGNITE	Accelerazione	a	?	Durante lo scatto
	Posizione finale	s_2	?	Quando il ghepardo raggiunge la velocità v_2

RAGIONAMENTO

- Con partenza da fermo, l'accelerazione è la variazione di velocità divisa per il tempo impiegato.
- Equivalenza: $70,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{70,0}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 19,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.
- Per trovare la posizione del ghepardo, nell'istante in cui raggiunge la velocità v_2 , conviene calcolare *prima* tale istante di tempo (che chiamiamo t_1), anche se ciò non è detto nel testo del problema.
- Equivalenza: $36,0 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{36,0}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

RISOLUZIONE

L'accelerazione si ricava dalla legge $v = at \Rightarrow a = \frac{v}{t} = \frac{19,4 \text{ m/s}}{2,00 \text{ s}} = 9,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$.

Determiniamo l'istante t_1 isolando $t = t_1$ ancora nella formula $v = at \Rightarrow t_1 = \frac{v}{a} = \frac{10,0 \text{ m/s}}{9,70 \text{ m/s}^2} = 1,03 \text{ s}$.

Calcoliamo la posizione del ghepardo all'istante t_1 con la formula $s = \frac{1}{2} at_1^2$ (posizione nel moto uniformemente accelerato con partenza da fermo):

$$\frac{1}{2} at_1^2 = \frac{1}{2} \times \left(9,70 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \times (1,03 \text{ s})^2 = 5,15 \text{ m}.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

Dopo circa 1 s il ghepardo ha percorso 5 m. Con un amico, prova a determinare la distanza che riesci a percorrere in un secondo con partenza da fermo (puoi usare il cronometro dell'orologio da polso o del telefonino).

53 ★★★ Un motoscafo trascina una persona che fa sci d'acqua. Il motoscafo parte da fermo e, muovendosi di moto uniformemente accelerato, porta la persona alla velocità di 40 km/h impiegando 7,5 s.

- Quale distanza ha percorso?

[42 m]

54 ★★★ Un autobus viaggia alla velocità di 40 km/h. Un'auto parte da ferma quando è affiancata dall'autobus, con accelerazione costante e dopo 10 s affianca nuovamente l'autobus.

- Calcola l'accelerazione dell'auto.

[2,2 m/s²]

7. IL CALCOLO DEL TEMPO

DOMANDE SUI CONCETTI

61 FUORI DAGLI SCHEMI Un camion percorre una certa distanza con un'accelerazione costante. Un'auto percorre una distanza doppia con accelerazione doppia di quella del camion.

- Quale dei due mezzi impiega più tempo?

62 Di quanto bisogna aumentare la distanza percorsa in un moto uniformemente accelerato, con partenza da fermo, per raddoppiare il tempo necessario per percorrerla?

ESERCIZI NUMERICI

63 ★★★ In una sequenza di un cartone animato, un coyote lascia cadere un grosso masso dal bordo di una rupe alta 500 m rispetto alla strada sottostante.

► Quanto tempo impiega il masso ad arrivare al suolo?

[10 s]

64 **SPAZIO** La spinta del razzo

★★★ Un razzo in partenza si stacca dalla piattaforma di lancio e percorre i primi 4,2 km lungo una traietto-

ria verticale. La spinta dei motori fa sì che il razzo abbia un'accelerazione costante di 6 g.

► Quanto tempo impiega?

[12 s]

65 ★★★ L'accelerazione di gravità sulla Luna vale 1/6 di quella terrestre. Un astronauta sulla Luna lascia cadere un sasso da un'altezza di 1,4 m.

► In quanto tempo il sasso arriva al suolo?

[1,3 s]

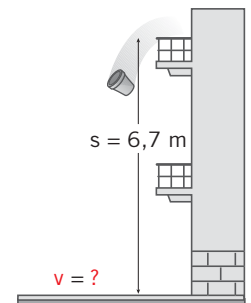
66 **PROBLEMA SVOLTO**

★★★

Determinazione della velocità al suolo

Un vaso, che si trovava sul parapetto di un balcone al secondo piano, a 6,7 m di altezza, cade a terra.

► A che velocità arriva al suolo?



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Posizione iniziale	s	6,7 m	Il vaso parte da fermo
	Accelerazione	g	9,8 m/s ²	
INCOGNITE	Velocità finale	v	?	

RAGIONAMENTO

- Il vaso si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato con partenza da fermo e accelerazione pari a g .
- È possibile calcolare la velocità finale con la formula $v = at = gt$ se conosco l'istante t in cui il vaso arriva al suolo.
- Quindi, per prima cosa calcolo la durata della caduta.

RISOLUZIONE

L'istante finale si calcola sostituendo i valori numerici nella formula per il tempo:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}} = \sqrt{\frac{2s}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 6,7 \text{ m}}{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}} = 1,2 \text{ s.}$$

Ora siamo in grado di calcolare la velocità finale con la formula $v = gt$:

$$v = gt = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1,2 \text{ s} = 12 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

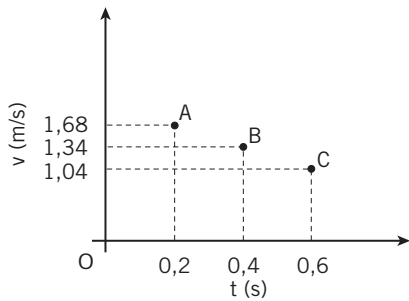
Una velocità di 12 m/s corrisponde a $(12 \times 3,6) \text{ km/h} = 43 \text{ km/h}$. Pertanto, quando si fa un incidente automobilistico alla velocità di 40 km/h, è come se si cadesse dal secondo piano.

Le persone tendono a sottovalutare molto il pericolo che si corre in incidenti anche a velocità relativamente bassa. È per questo che, in auto, è necessario indossare sempre le cinture di sicurezza.

8. IL MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO CON VELOCITÀ INIZIALE

ESERCIZI NUMERICI

76 Un astronauta sulla Luna lancia un sasso verso l'alto. Nella figura sono rappresentate le velocità del sasso in alcuni istanti.



- ▶ Qual è la velocità con cui il sasso è stato lanciato?
- ▶ In quale istante il sasso smetterà di salire?

$[v_0 = 2,0 \text{ m/s}; t_f = 1,3 \text{ s}]$

77 Un maratoneta percorre un tratto di gara muovendosi secondo la legge $s = 2,3 \text{ m} + (0,60 \text{ m/s})t + (0,80 \text{ m/s}^2)t^2$, in cui la posizione s è misurata rispetto a un giudice di gara.

- ▶ Qual è la sua posizione iniziale? Qual è la sua velocità iniziale? Qual è la sua accelerazione?
- ▶ Usa il Foglio di Calcolo per calcolare la posizione del maratoneta in almeno 6 istanti e per disegnare il grafico spazio-tempo.

$[2,3 \text{ m}; 0,60 \text{ m/s}; 1,6 \text{ m/s}^2]$

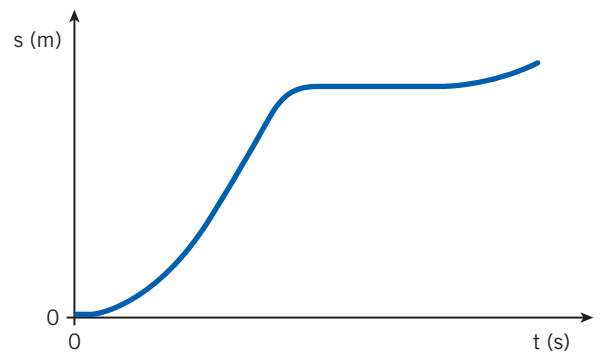
9. ESEMPI DI GRAFICI VELOCITÀ-TEMPO

DOMANDE SUI CONCETTI

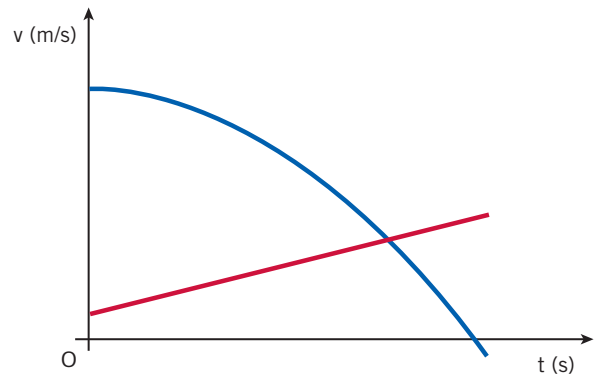
79 Questa è la cronaca della corsa dei 100 metri, per la quale sono favoriti i corridori Bianchi e Rossi. "Pronti ai blocchi di partenza. Via! Bianchi parte bene, mentre Rossi è più lento, ai 20 metri Bianchi ha 1 m di vantaggio, ai 50 metri li ha ancora, aumenta il suo vantaggio, agli 80 metri ha 1,5 m di vantaggio e li mantiene fino alla fine, vincendo facilmente!"

- ▶ Disegna un grafico spazio-tempo dei due corridori che sia coerente con la cronaca della gara.

80 Descrivi come varia la velocità del moto rappresentato nel grafico spazio-tempo mostrato nella figura e disegna un diagramma velocità-tempo coerente con esso.

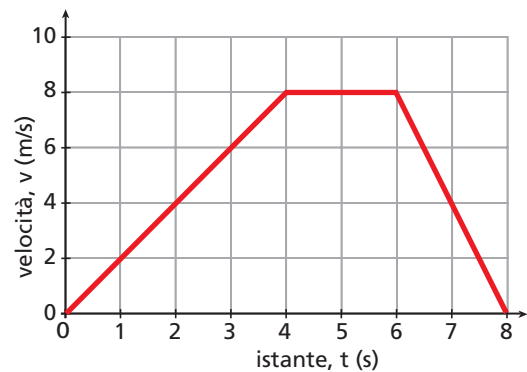


- 81** Una palla è lanciata verso l'alto.
 - ▶ Nel suo grafico velocità-tempo a quale istante corrisponde la massima velocità?
- 82** Inventa un breve racconto di due veicoli o persone in movimento in accordo con i grafici spazio-tempo rappresentati nella figura.



ESERCIZI NUMERICI

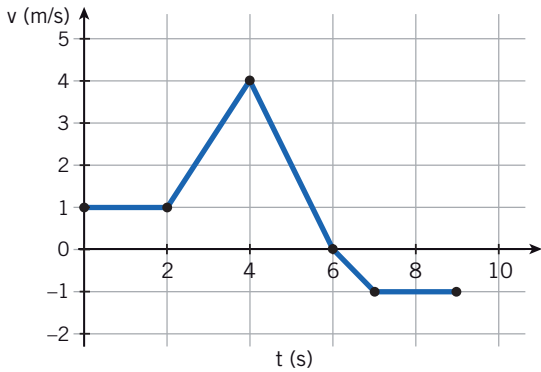
84 Osserva il grafico velocità-tempo.



- ▶ Calcola l'accelerazione nei vari intervalli di tempo.
- ▶ Disegna il corrispondente grafico accelerazione-tempo.

$[2 \text{ m/s}^2, 0 \text{ m/s}^2, -4 \text{ m/s}^2]$

85 Il grafico nella figura rappresenta la variazione nel tempo della velocità di una persona che si muove a piedi.



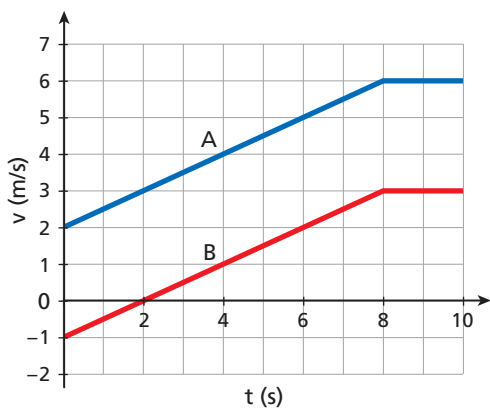
- ▶ Descrivi il moto nei vari intervalli di tempo.
- ▶ Calcola l'accelerazione nei vari tratti.
- ▶ Disegna il grafico accelerazione-tempo a partire dal grafico velocità-tempo.
- ▶ Descrivi il moto rappresentato dallo stesso grafico in un diagramma $s-t$, con la distanza s espressa in metri sull'asse delle ordinate.

[0,0 m/s²; 1,5 m/s²; -2,0 m/s²; -1,0 m/s²; 0,0 m/s²]

PROBLEMI GENERALI

7 ★★★ Il grafico nel diagramma $v-t$ rappresenta il moto di due corridori, Alberto e Biagio, che si stanno allenando per una gara di atletica.

- ▶ Descrivi il moto dei due corridori.
- ▶ Dal grafico puoi stabilire se Alberto e Biagio procedono affiancati?
- ▶ Calcola le loro accelerazioni.
- ▶ Disegna il grafico accelerazione-tempo di ciascuno dei due nello stesso diagramma a partire dal grafico $v-t$.



[0,5 m/s²]

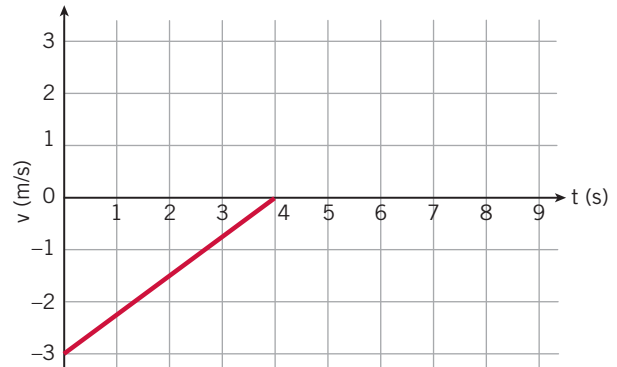
8 ★★★ In una afosa giornata estiva vuoi lanciare una bottiglietta d'acqua a un amico che sta per passare sotto

la tua finestra posta a 5,0 m dal suolo. L'amico, in bicicletta, si muove alla velocità costante di 10 m/s.

- ▶ Quanto tempo occorre alla bottiglietta per raggiungere terra se la lasci cadere senza lanciarla?
- ▶ A che distanza dal piede della verticale deve stare l'amico quando lasci la bottiglia?

[1,0 s; 10 m]

9 ★★★ Un'auto procede in retromarcia, come rappresentato dal grafico velocità-tempo mostrato nella figura.



- ▶ Calcola la distanza percorsa dall'auto in 4 s.

[6 m]

10 ★★★ Mario ed Elisa si vedono quando sono a 24 m di distanza tra loro e si vanno incontro; Mario con velocità costante di 1,2 m/s, Elisa, partendo da ferma, con accelerazione costante di 0,2 m/s².

- ▶ Dopo quanto tempo si incontrano? Che distanze hanno percorso?

Suggerimento: scegli come origine degli assi la posizione iniziale di Mario e come verso positivo quello che va da Mario a Elisa.

[11 s; 13 m, 11 m]

11 ★★★ Massimo lascia cadere dal tetto di un edificio alto 16 m una pallina, nello stesso istante in cui Adele, al suolo, lancia verticalmente verso l'alto una seconda pallina, identica alla prima, con velocità $v_{0,A} = 10$ m/s. Trascura l'attrito con l'aria.

- ▶ In quale istante le due palline si trovano alla stessa distanza dal suolo?
- ▶ Qual è la velocità minima con cui Adele deve lanciare la pallina affinché possa trovarsi, in un certo istante, alla stessa altezza della prima?

Suggerimento: scegli come origine il suolo e come verso positivo quello verso l'alto.

[1,6 s; 8,9 m/s]

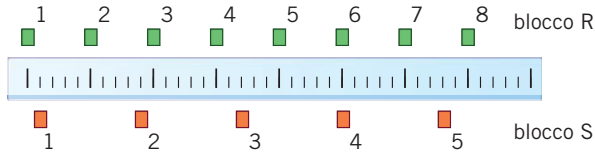
12 ★★★ **FUORI DAGLI SCHEMI** Il moto di un aereo è descritto dalla legge $v(t) = b + ct^3$, in cui la velocità v è espressa in km/h.

- ▶ Quali sono le unità di misura dei parametri b e c ?

[km/h; km/h⁴]

GIOCHI DI ANACLETO

3 Nella figura sono schematizzati due blocchi, R e S, che si muovono nella medesima direzione, da sinistra a destra. I quadrati numerati rappresentano le posizioni assunte dai blocchi a intervalli di tempo di 0,5 s.

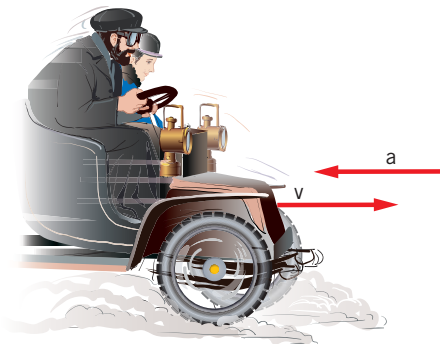


► Le accelerazioni dei due blocchi sono:

A	Ambedue positive.	L'accelerazione di "R" è maggiore dell'accelerazione di "S".
B	Ambedue nulle.	L'accelerazione di "R" è uguale all'accelerazione di "S".
C	Ambedue positive.	L'accelerazione di "R" è uguale all'accelerazione di "S".
D	Ambedue positive.	L'accelerazione di "R" è minore dell'accelerazione di "S".

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2010)

4 L'illustrazione mostra un'auto che sta rallentando. Inizialmente il veicolo viaggia alla velocità di 15 m/s, ma rallenta con una decelerazione di 4,4 m/s².



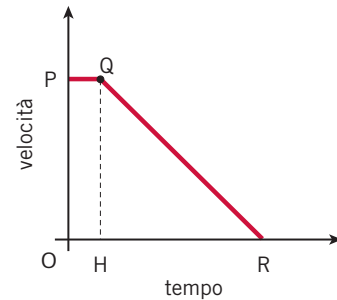
► Quanto tempo impiegherà l'auto a portarsi, rallentando, alla velocità di 4 m/s?

- a. 0,91 s.
- b. 2,5 s.
- c. 3,4 s.
- d. 60 s.

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2010)

5 Un ciclista sta pedalando lungo una strada di campagna quando, improvvisamente, una fila di oche esce da dietro una siepe e gli attraversa la strada; egli naturalmente stringe subito i freni e si ferma. In figura si vede come varia nel tempo la velocità del

ciclista: il punto O corrisponde all'istante in cui la prima oca è spuntata fuori dalla siepe, il punto H al momento in cui il ciclista ha cominciato ad azionare i freni, il punto R a quello in cui si è fermato.

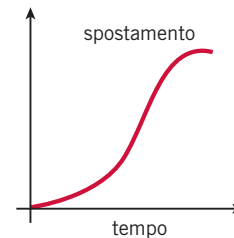


► Per trovare la distanza percorsa dalla bicicletta dal momento in cui è stato azionato il freno a quello in cui si è fermata si deve calcolare

- a. l'area del trapezio PQRO.
- b. l'area del triangolo QRH.
- c. il coefficiente angolare della retta QR.
- d. il coefficiente angolare della retta PQ.

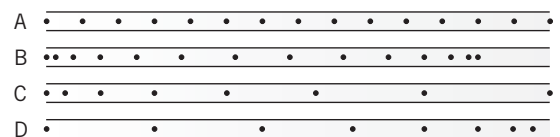
(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2009)

6 Nel grafico è rappresentato lo spostamento in funzione del tempo per un oggetto che si muove su una superficie orizzontale.



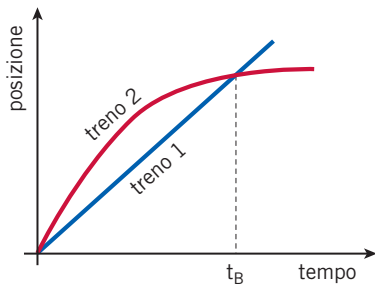
Le strisce rappresentano il tracciato dei punti di un marcatempo su un nastro con un'estremità unita all'oggetto. Il marcatempo segna, a intervalli di tempo uguali, un punto sul nastro che si srotola mentre l'oggetto si muove. In ognuno dei quattro casi mostrati il nastro è orientato in modo che il punto più a sinistra sia quello che è stato tracciato per primo.

► Quale fra le figure sottostanti rappresenta in modo più verosimile il moto dell'oggetto?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2005)

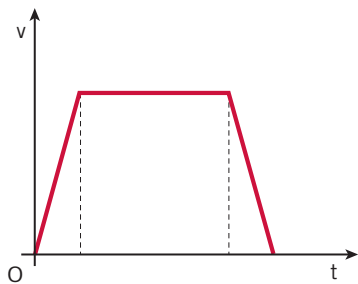
7 I grafici rappresentano le posizioni in funzione del tempo di due treni che corrono lungo binari paralleli.



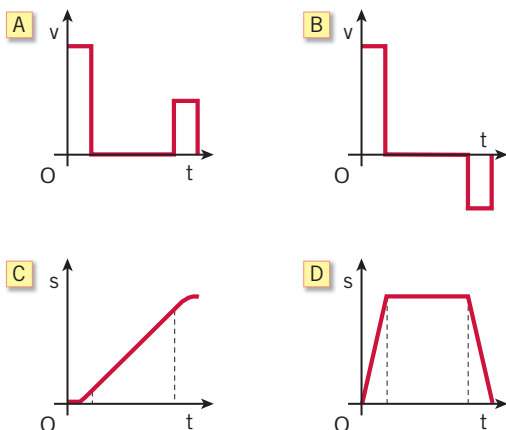
- Quale delle seguenti affermazioni è corretta?
- a. Nell'istante t_B i due treni hanno la stessa velocità.
 - b. La velocità di entrambi i treni aumenta sempre.
 - c. In un certo istante, prima di t_B , i due treni hanno la stessa velocità.
 - d. In qualche istante i due treni hanno la stessa accelerazione.

(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 2004)

8 Il grafico mostra l'andamento nel tempo della velocità di un carrello che si muove lungo una rotaia rettilinea.

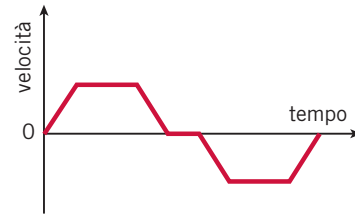


► Quale dei seguenti grafici rappresenta meglio l'andamento nel tempo della posizione del carrello sulla rotaia?

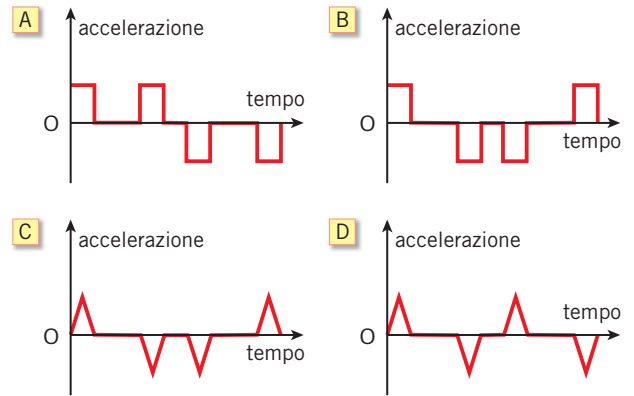


(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 1999)

e torna indietro. Qui si vede schematizzato l'andamento della velocità dell'ascensore nel tempo.



► Quale dei seguenti grafici mostra l'andamento dell'accelerazione dell'ascensore in funzione del tempo?



(Tratto dai *Giocchi di Anacleto*, anno 1999)

9 Un ascensore sale dal piano terra all'ultimo piano

9

I MOTI NEL PIANO



erandamx/Shutterstock

4. L'ACCELERAZIONE NEL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

Il moto circolare uniforme e i moti della Terra

Il moto circolare uniforme permette di descrivere bene i due moti principali della Terra:

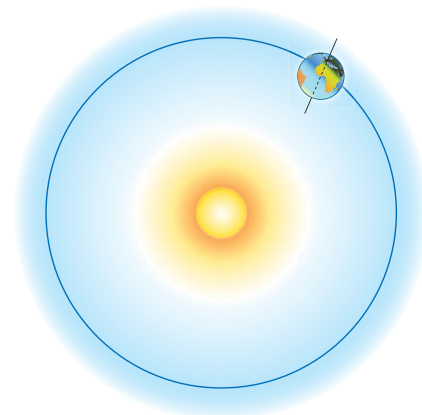
- il moto di rotazione attorno al suo asse;
- il moto di rivoluzione attorno al Sole.

Descriviamo questi moti in un sistema di riferimento in cui il Sole è fermo.

A Nel moto di rotazione, un punto della superficie terrestre descrive un moto circolare uniforme con il centro della traiettoria sull'asse terrestre e un periodo del moto di circa 24 ore.



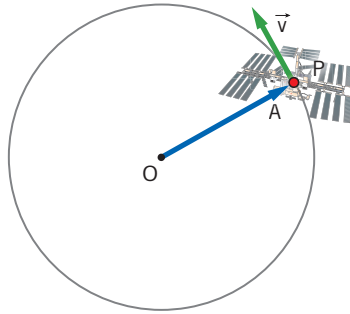
B Per la prima legge di Keplero, nel moto di rivoluzione la Terra percorre un'ellisse. Questa però è poco schiacciata e per calcoli non troppo precisi la si approssima con una circonferenza.



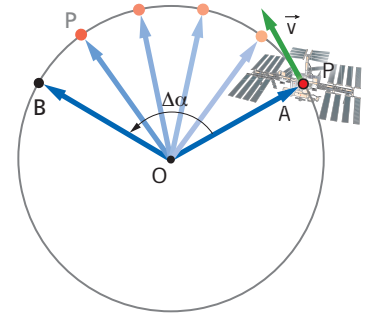
5. LA VELOCITÀ ANGOLARE

Un satellite ruota intorno alla Terra al di sopra dell'atmosfera.

A Il vettore posizione \vec{r} , che individua un punto P della circonferenza in cui si trova il satellite, si chiama **raggio vettore**.



B Mentre il satellite si muove dal punto A al punto B, il raggio vettore spazza l'angolo al centro $A\hat{O}B$, che misura $\Delta\alpha$.



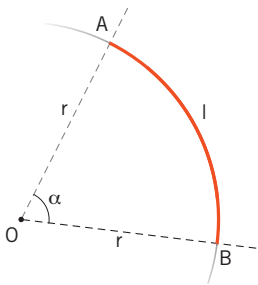
Si definisce velocità angolare ω di un moto circolare uniforme il rapporto tra l'angolo al centro $\Delta\alpha$ e il tempo Δt impiegato dal raggio vettore a spazzare tale angolo.

$$\text{velocità angolare (rad/s)} = \frac{\text{angolo al centro (rad)}}{\text{intervallo di tempo (s)}} \quad (9)$$

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t}$$

Nel Sistema Internazionale di unità le ampiezze degli angoli si misurano in radianti (rad), per cui la velocità angolare si misura in radianti al secondo (rad/s).

La velocità angolare rappresenta la rapidità con cui il raggio vettore spazza l'angolo al centro determinato da un punto che si muove di moto circolare.



L'angolo in radianti

Dato un angolo $A\hat{O}B$, la sua ampiezza in radianti si definisce considerando una circonferenza di raggio r centrata nel vertice O e indicando con l la lunghezza dell'arco AB di circonferenza intercettato dall'angolo (figura).

L'ampiezza α di un angolo, espressa in radianti, è data dal rapporto tra la lunghezza dell'arco AB e il valore del raggio della circonferenza:

$$\text{ampiezza dell'angolo (rad)} = \frac{\text{lunghezza dell'arco (m)}}{\text{lunghezza del raggio (m)}} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{l}{r}$$

RELAZIONE TRA RADIANTI E GRADI

In generale, se indichiamo con α l'ampiezza in radianti di un angolo e con g° la sua misura in gradi, vale la relazione:

$$\frac{\alpha}{g^\circ} = \frac{\pi}{180^\circ}$$

Di conseguenza, l'angolo che misura un radiante è quello che intercetta un arco di circonferenza lungo quanto il raggio della circonferenza stessa. Il suo valore in gradi è di circa $57^\circ 18'$. L'angolo giro intercetta l'intera circonferenza, cioè ha $l = 2\pi r$. Quindi l'ampiezza in radianti dell'angolo giro è

$$\text{angolo giro in radianti} = \frac{2\pi r}{r} = 2\pi.$$

Nota che, secondo la definizione (10), l'ampiezza in radianti di un angolo è un numero puro, visto che è data dal quoziente di due grandezze con le stesse unità di misura (il metro).

Partendo dall'angolo giro si possono ottenere le ampiezze in radianti degli altri angoli di uso comune. I loro valori sono contenuti nella tabella seguente.

ANGOLI IN GRADI E RADIANTI									
gradi	0°	30°	45°	60°	90°	120°	180°	270°	360°
radianti	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	$2\pi/3$	π	$3\pi/2$	2π

Il valore della velocità angolare

In un moto circolare uniforme con periodo T , il raggio vettore descrive un angolo retto (ampio $\pi/2$) nel tempo $T/4$, un angolo piatto (ampio π) nel tempo $T/2$ e un angolo giro (ampio 2π) nel tempo T .

Si vede, quindi, che

nel moto circolare uniforme gli angoli al centro spazzati dal raggio vettore sono direttamente proporzionali ai corrispondenti intervalli di tempo.

Il valore di ω può allora essere calcolato prendendo un angolo $\Delta\alpha$ qualunque e il corrispondente valore di Δt . La cosa più semplice è scegliere $\Delta\alpha = 2\pi$ e $\Delta t = T$, ottenendo:

$$\omega = \frac{\Delta\alpha}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (11)$$

Questa espressione permette di scrivere in modo diverso il valore di v : partendo dalla formula (5) otteniamo

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)r = \omega r \Rightarrow v = \omega r. \quad (12)$$

I diversi punti di una giostra, per esempio, si muovono di moto circolare uniforme con lo stesso periodo T e la stessa velocità angolare ω . Però i punti più vicini al centro della giostra sono più lenti di quelli che si trovano sul bordo. Ciò è espresso dalla formula $v = \omega r$, secondo cui il modulo v della velocità dei punti della giostra aumenta in modo direttamente proporzionale alla loro distanza dal centro.

In modo analogo alla (12), anche la formula per l'accelerazione centripeta può essere riscritta in modo da contenere la velocità angolare ω . Infatti, partendo dalla (8) e utilizzando la (12) si ottiene

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(\omega r)^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r \Rightarrow a_c = \omega^2 r. \quad (13)$$

Esempio

La diga delle Tre Gole, nella Repubblica Popolare Cinese, possiede turbine con un diametro di 10,4 m, che compiono 75,0 rotazioni al minuto. In un giorno, una di queste turbine può produrre 17 milioni di kilowattora di energia elettrica.

- Determina la velocità angolare di rotazione della turbina e il valore dell'accelerazione centripeta subita dalle sue parti più esterne.



Le turbine della diga delle Tre Gole



Visto che le turbine compiono 75 giri in un minuto, il loro periodo T di rotazione (cioè l'intervallo di tempo necessario per compiere un giro) è

$$T = \frac{1 \text{ min}}{75,0} = \frac{60 \text{ s}}{75,0} = 0,800 \text{ s};$$

di conseguenza, per la formula (11) il valore della velocità angolare ω è:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,28 \text{ rad}}{0,800 \text{ s}} = 7,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

Le turbine hanno un diametro di 10,4 m e quindi un raggio $r = (10,4 \text{ m})/2 = 5,20 \text{ m}$. Allora, per la formula (13) l'accelerazione centripeta delle parti più lontane dall'asse di rotazione è

$$a_c = \omega^2 r = \left(7,85 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 \times (5,20 \text{ m}) = 320 \frac{\text{rad}^2 \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 320 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

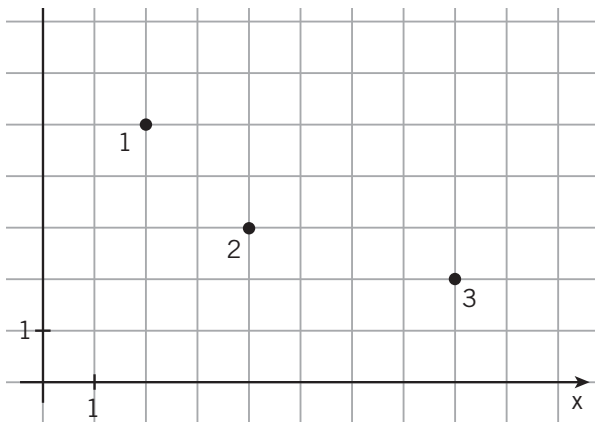
Nel calcolo precedente l'unità di misura «rad²» non compare nel risultato perché, come è stato spiegato in precedenza, essa è un numero puro.

ESERCIZI

1. VETTORE POSIZIONE E VETTORE SPOSTAMENTO

DOMANDE SUI CONCETTI

- 2** Cammini con un contapassi lungo un viale che ha la forma di un arco, precisamente di un quarto di circonferenza.
- ▶ La distanza percorsa segnata dal contapassi è uguale alla lunghezza del vettore spostamento?
- 3** Stai cercando la casa di un amico di cui conosci l'indirizzo. Giunto all'ultimo posto che conosci, ti fermi a chiedere informazioni a un passante. Questa persona ti dice di andare dritto per cento metri, poi di voltare a destra e proseguire per cinquanta metri.
- ▶ A quale aspetto della descrizione di un moto corrispondono le informazioni inizialmente in tuo possesso?
 - ▶ A quale aspetto corrispondono le indicazioni del passante?
- 4** La figura qui di seguito mostra tre successive posizioni di un punto materiale.
- ▶ Determina con una misura diretta le coordinate di ciascuna posizione.
 - ▶ Traccia i tre vettori posizione e determina la lunghezza di ciascuno di essi.
 - ▶ Traccia i tre vettori spostamento che è possibile individuare in questa situazione.
 - ▶ Specifica la relazione che lega i tre vettori spostamento fra loro.



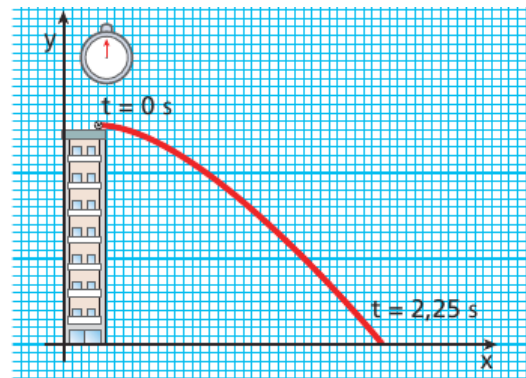
2. IL VETTORE VELOCITÀ

DOMANDE SUI CONCETTI

- 8** La direzione e il verso del vettore velocità possono essere dedotti dalla traiettoria.
- ▶ Questo vale anche per il modulo del vettore velocità?
- 9** “Su un intervallo di tempo di 1 s, il vettore spostamento e il vettore velocità media hanno uguale lunghezza.”
- ▶ Questa affermazione è vera?

ESERCIZI NUMERICI

- 16** Nella figura è disegnata la traiettoria di un pallone che viene calciato dal tetto di un palazzo. Puoi determinare la scala del disegno sapendo che il palazzo è alto 25 m.



- ▶ Traccia il vettore spostamento del pallone e determina i suoi componenti.
- ▶ Determina i componenti del vettore velocità media e il suo modulo.

[33 m, -25 m; 15 m/s, -11 m/s, 19 m/s]

- 17** Un aereo vola con velocità di componenti $v_x = 520$ km/h, $v_y = -340$ km/h.
- ▶ Determina il modulo della velocità dell'aereo esprimendola in m/s.
 - ▶ Determina la distanza che l'aereo percorre in 2 h e 20 min.

[173 m/s; $1,5 \times 10^3$ km]

3. MOTO CIRCOLARE UNIFORME

ESERCIZI NUMERICI

26
★★★

PROBLEMA SVOLTO

Frequenza e velocità nel moto circolare uniforme

In una missione lo Space Shuttle descrive un'orbita circolare attorno alla Terra. Il raggio dell'orbita è $6,76 \times 10^6$ m (ciò significa che la navicella orbita a un'altezza di 380 km sopra la superficie terrestre) e il suo periodo è $5,53 \times 10^3$ s (poco più di un'ora e mezza).

- ▶ Quanto vale la frequenza del moto dello Shuttle?
- ▶ Quanto vale il modulo della sua velocità?

DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Raggio dell'orbita	r	$6,76 \times 10^6$ m	Orbita circolare
	Periodo dell'orbita	T	$5,53 \times 10^3$ s	
INCOGNITE	Frequenza	f	?	
	Modulo della velocità	v	?	

RAGIONAMENTO

- La frequenza si calcola come inverso del periodo T .
- Il valore della velocità è dato dalla formula $v = \frac{2\pi r}{T}$.

RISOLUZIONE

Calcoliamo quindi la frequenza: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{5,53 \times 10^3 \text{ s}} = 1,81 \times 10^{-4} \text{ Hz}$.

Ora sostituiamo i valori numerici nella formula per la velocità: $v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{6,28 \times 6,76 \times 10^6 \text{ m}}{5,53 \times 10^3 \text{ s}} = 7,68 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

CONTROLLO DEL RISULTATO

Quella del risultato è una velocità molto elevata rispetto a quelle a cui siamo abituati. Per rendercene conto meglio, calcoliamola in chilometri all'ora:

$$v = 7,68 \times 10^3 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \times 7,68 \times 10^3 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 2,77 \times 10^4 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Lo Shuttle si muove a una velocità di quasi 28 000 km/h.

27
★★★ Nel lancio del martello un atleta compie 3 giri su se stesso in 2,7 s prima di lasciare andare l'attrezzo. Il martello è lungo 132 cm e ciascun braccio dell'atleta misura 78 cm. Assumi che la velocità di rotazione sia costante.

- ▶ Calcola la frequenza e il periodo della rotazione.
- ▶ Calcola la velocità della rotazione.

[1,1 Hz; 0,91 s; 15 m/s]

28
★★★ Nella gabbia di un criceto c'è una ruota girevole con un raggio pari a 10 cm. Il criceto la spinge in modo da fare 36 giri al minuto.

- ▶ Qual è la frequenza del moto della ruota?
- ▶ Se il criceto si muovesse allo stesso modo su un piano rettilineo, a quale velocità si sposterebbe?

[0,60 Hz; 0,38 m/s]

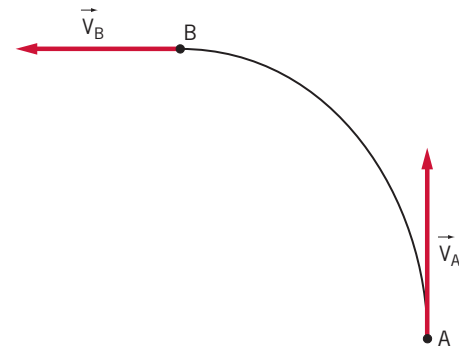
4. L'ACCELERAZIONE NEL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

DOMANDE SUI CONCETTI

- 32** Nel moto circolare uniforme c'è un istante in cui il vettore accelerazione centripeta è parallelo al vettore velocità?
- 33** Due auto percorrono due curve: la prima ha raggio doppio della seconda. Anche la velocità della prima auto è il doppio della velocità della seconda.
- Che relazione c'è fra le accelerazioni centripete subite dalle due auto?

ESERCIZI NUMERICI

- 39** Un'automobilina percorre un quarto di una circonferenza di raggio 1,8 m da A a B con velocità di modulo costante pari a 4,7 m/s.



- Determina il vettore accelerazione media in modulo, direzione e verso.

[11 m/s²; inclinato a 45° verso il centro dell'arco di circonferenza]

40 PROBLEMA SVOLTO

Accelerazione centripeta sulla giostra

Una giostra si muove di moto circolare uniforme con un periodo di 5,2 s. La distanza dei ragazzi dal centro di rotazione è di 3,2 m.

- Calcola il modulo dell'accelerazione centripeta sui ragazzi.
- Esprimi l'accelerazione in unità di g (l'accelerazione di gravità).

DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Periodo	T	5,2 s	
	Raggio del moto circolare	r	3,2 m	
INCOGNITE	Modulo dell'accelerazione centripeta	a_c	?	

RAGIONAMENTO

- Il valore dell'accelerazione centripeta è data dalla legge $a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$.
- Per esprimere l'accelerazione in unità di g , bisogna dividere il suo valore per g .

RISOLUZIONE

Sostituiamo i valori nella legge per l'accelerazione centripeta:

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 \times (3,2 \text{ m})}{(5,2 \text{ s})^2} = 4,7 \text{ m/s}^2.$$

Dividiamo l'accelerazione centripeta per l'accelerazione di gravità g :

$$a'_c = \frac{a_c}{g} = \frac{(4,7 \text{ m/s}^2)}{(9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,48 \Rightarrow a_c = 0,48g.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

Il valore trovato è quasi la metà dell'accelerazione di gravità g . Si tratta quindi di un valore piuttosto elevato, facilmente percepito dalle persone sulla giostra. La sensazione che ne deriva fa parte del divertimento.

41 ★★★ Una pattinatrice ruota su se stessa compiendo 42 giri al minuto. Durante l'esecuzione, tiene i gomiti verso l'esterno: la distanza tra i gomiti è di 0,60 m.

- Quali sono la frequenza e il periodo del moto della pattinatrice?
- Con quale velocità e con quale accelerazione si muovono i gomiti della pattinatrice?

[0,70 Hz; 1,4 s; 1,3 m/s; 5,8 m/s²]

42 ★★★ Un pescatore avvolge il mulinello della sua canna da pesca. Il raggio del mulinello è 4,0 cm e la lenza viene riavvolta con la velocità di 30 cm/s.

- Calcola la frequenza del moto circolare del mulinello.
- Come cambierebbe la frequenza, se il mulinello avesse raggio doppio?
- Calcola l'accelerazione centripeta di un punto sul bordo esterno del mulinello.

[1,2 Hz; 2,3 m/s²]

5. LA VELOCITÀ ANGOLARE

ESERCIZI NUMERICI

44 SPAZIO I satelliti di Saturno

★★★ Completa la seguente tabella relativa ad alcuni satelliti di Saturno:

	RAGGIO ORBITALE MEDIO (× 10 ⁶ m)	PERIODO (d)	FREQUENZA (Hz)	VELOCITÀ LUNGO L'ORBITA (m/s)	VELOCITÀ ANGOLARE (rad/s)
Mimas	185,5	0,942			
Enceladus	238,0	1,370			
Tethys	294,7	1,888			
Titano	1222	15,95			
Hyperion	1481	21,28			

45 SPORT Il lancio del martello

★★★ Durante una gara di atletica, un lanciatore di martello si appresta a lanciare l'attrezzo facendolo ruotare, in modo uniforme, sopra il proprio capo, in un tempo pari a 0,74 s. Le braccia dell'atleta sono lun-

ghe 90 cm, mentre l'attrezzo è lungo 0,68 m.

- Quanto vale il modulo della velocità dell'estremità del martello?

[13 m/s]

46 PROBLEMA SVOLTO

Il lettore CD

Il lettore di un impianto stereo fa girare un CD con una frequenza variabile tra 200 giri al minuto e 500 giri al minuto. Supponiamo che, mentre si sta leggendo una certa traccia, il CD stia compiendo 330 giri al minuto.

- Quanto vale la frequenza f di rotazione del CD?
- Qual è il valore della velocità angolare ω ?
- Quanto è ampio l'angolo $\Delta\alpha$ di cui è ruotato il CD dopo un intervallo di tempo $\Delta t = 0,100$ s?



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Numero di giri		330	
	Tempo impiegato		1 min	
INCOGNITE	Frequenza	f	?	
	Velocità angolare	ω	?	
	Angolo al centro	$\Delta\alpha$?	Descritto nel tempo $\Delta t = 0,100$ s

RAGIONAMENTO E RISOLUZIONE

- La frequenza del CD può essere calcolata come:

$$f = \frac{330 \text{ giri}}{1 \text{ min}} = \frac{330 \text{ giri}}{60 \text{ s}} = 5,50 \text{ Hz.}$$

- Partendo dalla formula (9) e ricordando che $f = \frac{1}{T}$, la velocità angolare è data da:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f = (2\pi \text{ rad})(5,50 \text{ s}^{-1}) = 34,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}.$$

- Per trovare l'angolo di cui è ruotato il disco è sufficiente isolare Δt moltiplicando i due membri della formula (7) per Δt :

$$\Delta\alpha = \omega\Delta t = (34,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}) \times 0,100 \text{ s} = 3,46 \text{ rad.}$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

Indichiamo con Δg° la misura in gradi dell'angolo $\Delta\alpha$. Visto che a 180° corrispondono π radianti, vale la proporzione $\Delta g^\circ/180^\circ = \Delta\alpha/\pi$. Da essa ricaviamo:

$$\Delta g^\circ = \frac{\Delta\alpha \cdot 180^\circ}{\pi} = \frac{3,46 \text{ rad} \cdot 180^\circ}{3,14 \text{ rad}} = 198^\circ.$$

Quindi, in un decimo di secondo il CD ruota di un angolo ampio 198° .

- 47** ★★★ Una piattaforma rotante ha un raggio di 50 cm e descrive un angolo di 90° in un intervallo di tempo pari a 0,60 s. Calcola:

- ▶ il valore della velocità angolare;
- ▶ la frequenza di rotazione della piattaforma;
- ▶ il periodo di rotazione della piattaforma;
- ▶ il modulo della velocità di un oggetto che si trova sul bordo della piattaforma.

[2,6 rad/s; 0,42 Hz; 2,4 s; 1,3 m/s]

48 TECNOLOGIA Lettori CD-ROM

★★★ I lettori di CD-ROM possono essere classificati in base alla tecnologia di fabbricazione: CLV (*Constant Linear Velocity*) o CAV (*Constant Angular Velocity*). I lettori di quest'ultima tipologia, mantenendo costante la velocità di rotazione del disco, presentano una velocità di trasferimento dei dati variabile. Un normale lettore CD a tecnologia CAV fa ruotare il disco a una frequenza di circa 5000 giri/min. Considera un settore inciso del CD-ROM posizionato a 4,00 cm dal centro del disco.

- ▶ Calcola la velocità di quel settore.

[20,9 m/s]

6. IL MOTO ARMONICO**DOMANDE SUI CONCETTI**

- 52** Qual è il verso dell'accelerazione del moto armonico?

Suggerimento: leggi prima la domanda n. 51 ed esamina la sua figura.

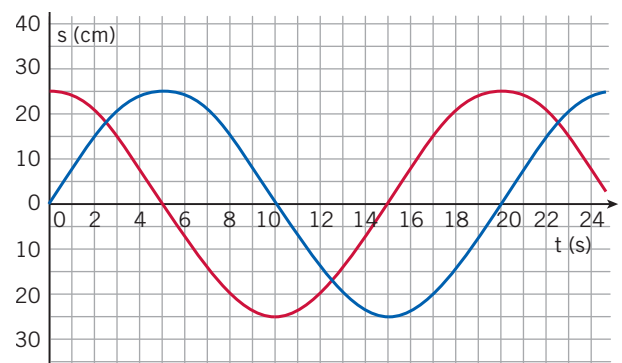
ESERCIZI NUMERICI

- 55** ★★★ La frequenza di vibrazione di uno dei rebbi di un diapason a forchetta è di 512 Hz.

- ▶ Quante oscillazioni compie in 5 min?

[$1,5 \times 10^5$]

- 56** ★★★ Un disco ruota di moto circolare uniforme. La figura rappresenta i grafici spazio-tempo della proiezione, su un diametro fisso, delle posizioni successive di due punti che appartengono al bordo del disco. Il disco è in rotazione attorno al suo centro in verso antiorario.



- ▶ Determina il diametro del disco, il periodo e la frequenza della rotazione.
- ▶ Disegna il disco e il diametro fisso: dove si trovano i due punti all'inizio?

[50 cm, 20 s, 0,050 Hz]

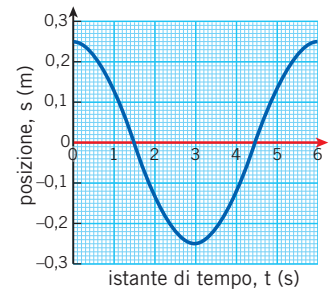
57
★★★

PROBLEMA SVOLTO

Al parco giochi

Nella figura è rappresentato il grafico spazio-tempo relativo al moto armonico di un gioco per bambini. Determina:

- ▶ la distanza L tra il massimo e il minimo dell'oscillazione;
- ▶ il valore del periodo del moto;
- ▶ il valore della velocità media nell'intervallo di tempo compreso tra $t_1 = 4,5$ s e $t_2 = 5,0$ s.



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Posizioni e istanti			Da dedurre dal grafico
	Istante iniziale	t_1	4,5 s	
	Istante finale	t_2	5,0 s	
INCOGNITE	Distanza tra gli estremi dell'oscillazione	L	?	
	Periodo	T	?	
	Velocità media	v_m	?	Tra t_1 e t_2

RAGIONAMENTO E RISOLUZIONE

- Il valore massimo dell'oscillazione è pari a 0,25 m (cioè 25 cm), mentre quello minimo è $-0,25$ m (-25 cm). Quindi la distanza tra il punto di massimo e quello di minimo è $0,25$ m $- (-0,25$ m) = 0,50 m.
- Il punto che si muove di moto armonico si trova alla quota massima all'istante $t = 0$ e poi all'istante $t = 6$ s. Quindi il periodo vale $T = 6$ s.
- Leggendo il grafico si vede che all'istante $t_1 = 4,5$ s il punto in movimento occupa la posizione $s_1 = 0,00$ m, mentre all'istante $t_2 = 5,0$ s esso si trova nella posizione $s_2 = 0,12$ m.

Così abbiamo

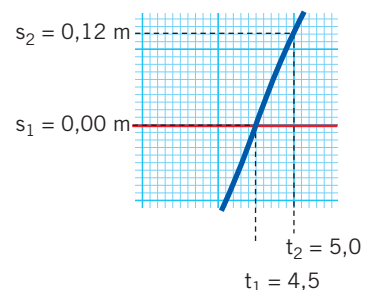
$$\Delta s = s_2 - s_1 = 0,12 \text{ m}$$

e

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 5,0 \text{ s} - 4,5 \text{ s} = 0,5 \text{ s}.$$

Possiamo così calcolare la velocità media:

$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,12 \text{ m}}{0,5 \text{ s}} = 0,24 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$



CONTROLLO DEL RISULTATO

Il punto percorre (dal minimo al massimo) l'intera ampiezza di oscillazione (50 cm) impiegando mezzo periodo, cioè 3 s. Quindi la velocità media su metà periodo vale $(0,50 \text{ m})/(3 \text{ s}) = 0,17 \text{ m/s}$.

La velocità richiesta, però, è calcolata verso il centro dell'oscillazione, dove la velocità media si avvicina al valore massimo. È quindi ragionevole che la velocità di 0,24 m/s, pur simile al valore di 0,17 m/s calcolato su metà periodo, sia maggiore di questo.

7. LA COMPOSIZIONE DEI MOTI

ESERCIZI NUMERICI

64 ★★★ Su un vagone ferroviario che viaggia alla velocità di 40 m/s viene sparato, con un fucile ad aria com-

pressa, un proiettile, in direzione perpendicolare al moto del treno. La velocità del proiettile rispetto al fucile è 100 m/s.

► Determina il valore della velocità del proiettile rispetto al suolo.

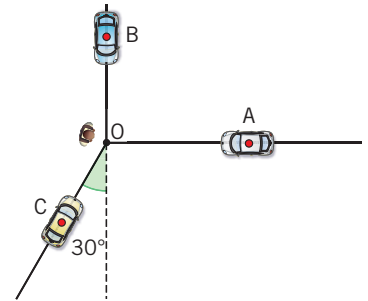
[108 m/s]

65 ★★★ PROBLEMA SVOLTO

Le auto all'incrocio

Tre auto A, B e C si muovono alla velocità di 6,0 m/s verso un incrocio, provenendo da tre strade diverse.

- Determina le componenti della velocità di A, B e C rispetto a un osservatore O fermo su un lato della strada.
- Determina le componenti della velocità di B e C rispetto all'auto A.
- Calcola i valori delle velocità di B e C rispetto all'auto A.

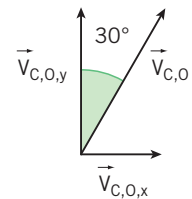


DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Modulo delle velocità	v	6,0 m/s	Formato dalla direzione di C con la direzione di B
	Angolo	α	30°	
INCOGNITE	Velocità dell'auto A rispetto a O	$\vec{v}_{A,O}$?	
	Velocità dell'auto B rispetto a O	$\vec{v}_{B,O}$?	
	Velocità dell'auto C rispetto a O	$\vec{v}_{C,O}$?	
	Velocità dell'auto B rispetto ad A	$\vec{v}_{C,O}$?	
	Velocità dell'auto C rispetto ad A	$\vec{v}_{C,A}$?	

RAGIONAMENTO

- Le velocità delle auto A, B e C rispetto all'osservatore O hanno moduli uguali, ma direzioni diverse, per cui bisogna tenere conto della loro natura vettoriale.
- Scegliamo la direzione ovest-est come asse x (verso positivo a est) e quella sud-nord come asse y (verso positivo a nord).
- La velocità dell'auto C è l'unica che ha due componenti (figura).
- Le velocità delle auto B e C rispetto all'auto A soddisfano la legge della composizione dei moti $\vec{v}_{B,A} = \vec{v}_{B,O} + \vec{v}_{O,A} = \vec{v}_{B,O} - \vec{v}_{A,O}$ e $\vec{v}_{C,A} = \vec{v}_{C,O} + \vec{v}_{O,A} = \vec{v}_{C,O} - \vec{v}_{A,O}$; le stesse relazioni valgono anche per i vettori componenti.
- Dalle componenti è possibile calcolare i valori delle velocità.



RISOLUZIONE

Scriviamo le componenti della velocità dell'auto A, che si muove in direzione orizzontale verso ovest:

$$v_{A,x} = -6,0 \text{ m/s}, v_{A,y} = 0,0 \text{ m/s}.$$

Scriviamo le componenti della velocità dell'auto B, che si muove in direzione verticale verso sud:

$$v_{B,x} = 0,0 \text{ m/s}, v_{B,y} = -6,0 \text{ m/s}.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO

I valori delle componenti delle velocità rispetto all'auto A risultano maggiori o uguali a quelli rispetto alla strada, in quanto le auto si avvicinano l'una all'altra.

PROBLEMI GENERALI

8 ★★★ Una mola circolare ha un raggio di 80 cm, e quando è in funzione compie 90 giri al minuto.

- ▶ Quanto vale il periodo di un punto sul bordo della mola?
- ▶ Quanto vale il valore dell'accelerazione centripeta di un punto sul bordo della mola?

[0,67 s; 71 m/s²]

9 ★★★ Un'asta lunga 1,8 metri ruota attorno a una sua estremità; l'altra estremità impiega 3,8 secondi a compiere un giro completo. Sull'asta sono conficcati dei chiodi, a distanza di 15 cm l'uno dall'altro, a partire dall'estremità fissa.

- ▶ Usa un foglio elettronico per calcolare la velocità dei chiodi e le loro accelerazioni centripete.
- ▶ Rappresenta i risultati in un grafico velocità-raggio e accelerazione-raggio.

10 ★★★ Una barca attraversa un fiume largo 72 m. Il motore della barca permette di raggiungere una velocità di 4,2 m/s. L'acqua del fiume scorre inizialmente alla velocità di 2,0 m/s; quando la barca ha attraversato un terzo del fiume, la velocità dell'acqua aumenta a 2,4 m/s. Durante l'attraversamento la barca si muove perpendicolarmente alle rive del fiume, secondo un osservatore sulla riva.

- ▶ Quanto tempo impiega la barca ad attraversare il fiume?

[21 s]

11 ★★★ Anna e Benedetto osservano Cosimo che cammina lungo la strada.

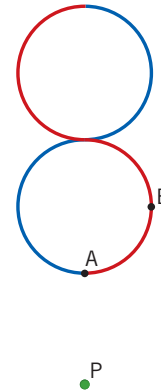
- ▶ Dimostra che l'accelerazione di Cosimo misurata da Anna è uguale a quella misurata da Benedetto se Benedetto si allontana da Anna con velocità costante

Suggerimento: considera le variazioni delle velocità in un intervallo di tempo arbitrario Δt e applica la legge di composizione delle velocità).

12 ★★★ Un'auto da corsa percorre una pista formata da due circonferenze di raggio 1,2 km che si toccano esternamente. La traiettoria dell'auto è a forma di 8, con partenza dal punto A verso il punto B, lungo il percorso rosso, per poi tornare in A lungo il percorso blu, mantenendo una velocità costante di 180 km/h.

- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta a cui è soggetta l'auto e quanto tempo impiega a completare un giro della pista.

▶ Uno spettatore assiste alla corsa dell'auto dal punto P. Che tipo di moto osserva? Disegna il suo grafico spazio-tempo e calcola i suoi parametri caratteristici.



[2,1 m/s²; 3,0 × 10² s; moto armonico di ampiezza 1,2 km e periodo 1,5 × 10² s]

13 ★★★ Due pulegge, montate sugli assi A e B, sono collegate con una cinghia che trasmette il moto rotatorio da A a B. La puleggia montata su quest'ultimo asse ha diametro $D_B = 80$ cm e ruota a 500 giri/min, mentre la frequenza di rotazione dell'asse A è di 5000 giri/min.

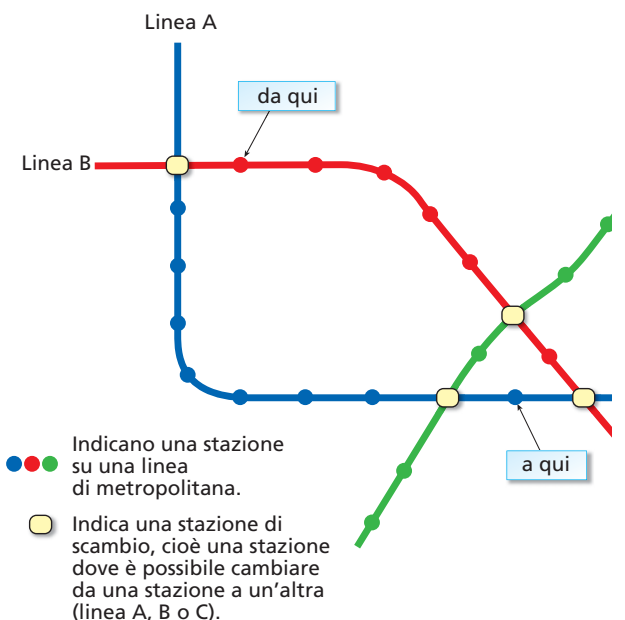
- ▶ Quale deve essere il diametro D_A della puleggia da collocare sull'asse A?

[8,0 cm]

Suggerimento: le due pulegge hanno diversa frequenza di rotazione, quindi diversa velocità angolare, ma velocità di rotazione con uguale modulo.

18 LA FISICA DEL CITTADINO Rete di trasporto

Il seguente schema mostra una parte della rete di trasporto pubblico di una città di Zedlandia con tre linee di metropolitana. Esso mostra il punto in cui ti trovi e quello che devi raggiungere.



Il prezzo del biglietto dipende dal numero di stazioni che si attraversano (esclusa la stazione di partenza). La tariffa è di 1 zed per ogni stazione attraversata. La durata del percorso fra due stazioni successive è di circa 2 minuti.

Il tempo necessario per cambiare da una linea all'altra in una stazione di scambio è di circa 5 minuti.

Domanda 1:

Lo schema indica la stazione nella quale ti trovi in questo momento («da qui») e quella che vuoi raggiungere («a qui»). Segna sullo schema il percorso migliore in termini di costo e di tempo, scrivi qui sotto il prezzo da pagare per il biglietto e la durata approssimativa del viaggio.

Prezzo del biglietto: zed

Durata approssimativa del viaggio: minuti

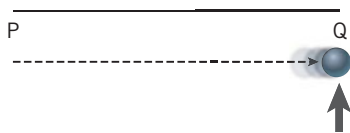
[8 zed; 21 min]

Tratto da prove PISA (Project for International Student Assessment), anno 2003.

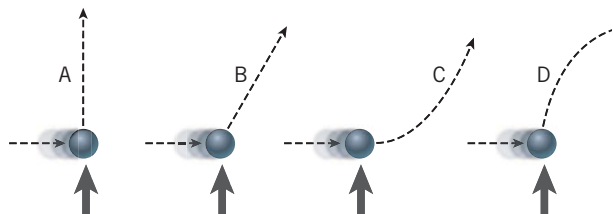
GIOCHI DI ANACLETO

1 Nella figura seguente è schematizzato un dischetto da hockey che scivola a velocità costante v_0 su una superficie orizzontale priva di attriti seguendo una linea retta dal punto P al punto Q.

Le forze esercitate sul dischetto dall'aria sono trascurabili. Stiamo guardando il disco dall'alto. Quando esso raggiunge il punto Q viene colpito orizzontalmente nella direzione indicata dalla freccia più spessa, perpendicolare alla direzione del moto del disco.

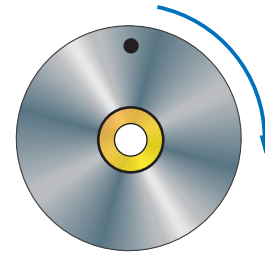


► Tenendo conto del fatto che il disco, quando viene colpito, non è fermo a quale delle seguenti traiettorie si avvicina maggiormente il suo percorso dopo che ha ricevuto il colpo?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2010)

2 Il disco rappresentato nella figura ruota in verso orario e compie 29 giri al secondo. Viene filmato con una cinepresa che scatta 30 fotogrammi al secondo.

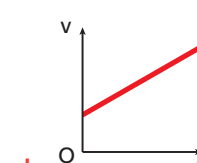
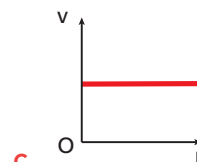
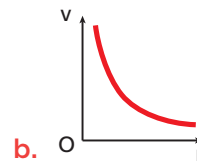
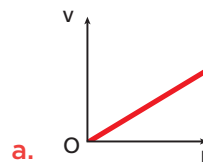


► Come apparirà nel filmato il puntino nero segnato sul disco?

- a. Sembrerà muoversi in verso orario.
- b. Sembrerà muoversi in verso antiorario.
- c. Sembrerà muoversi in modo casuale.
- d. Sembrerà che stia fermo.

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2004)

3 Una piattaforma girevole è messa in moto a un numero costante di giri al secondo. Quale dei seguenti grafici rappresenta meglio la relazione fra la velocità di un punto sulla piattaforma e la distanza del punto dal centro di rotazione?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2000)

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
7. La velocità angolare	<p> ANIMAZIONE</p> <p>La velocità angolare Cos'è la velocità angolare? Come si misura?</p>	2
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Caratteristiche del moto circolare uniforme Definizioni ed esempi di periodo, frequenza e velocità scalare in un moto circolare uniforme.</p>	2
8. L'accelerazione centripeta nel moto circolare uniforme	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Accelerazione centripeta Come varia la velocità in un moto circolare uniforme? Ricaviamo graficamente le proprietà dell'accelerazione centripeta.</p>	2
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Il moto armonico Come nasce un moto armonico? Proiettando su un diametro le posizioni di un punto materiale in moto circolare uniforme.</p>	1,5
10. Il moto armonico	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Grafico spazio-tempo del moto armonico Disegniamo il grafico spazio-tempo del moto di un peso attaccato a una molla.</p>	1
	<p> MAPPA INTERATTIVA</p> <p>30 TEST INTERATTIVI SU ZTE CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»</p>	

VERSO IL CLIL

FORMULAE IN ENGLISH		AUDIO
Acceleration on an inclined plane	$a = g \frac{h}{l}$	Acceleration down an inclined plane equals the product of acceleration due to gravity and the ratio of the height to the length of the plane.
Projectile motion-horizontal initial velocity	$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$	The horizontal position equals the product of the initial velocity and the time taken. The vertical position equals minus one-half of the product of gravitational acceleration and the square of the time taken.
Angular speed in uniform circular motion	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	Magnitude of angular speed equals two pi divided by the period, equals two pi multiplied by frequency
Linear speed in uniform circular motion	$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$	Linear speed equals two pi multiplied by the radius of the circular motion divided by period, equals angular velocity multiplied by the radius
Centripetal acceleration in uniform circular motion	$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$	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
Centripetal force	$F_c = m \frac{v^2}{r}$	The magnitude of the centripetal force equals the product of the mass of the object and the square of the speed of the object along the circular path, all divided by the radius of the circular path.

Displacement in simple harmonic motion	$s = r \cos(\omega t)$	The displacement of a body in SHM equals the amplitude of the motion multiplied by the cosine of the product of angular frequency and time
Velocity in simple harmonic motion	$s = -\omega r \sin(\omega t)$	Velocity equals minus the product of angular frequency, amplitude and the sine of the product of angular frequency and time
Acceleration in simple harmonic motion	$s = -\omega^2 r \cos(\omega t)$	Acceleration equals minus the square of the angular frequency multiplied by the amplitude and the cosine of the product of angular frequency and time
Period of an oscillating spring	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	The period of a mass in an elastic system is equal to the product of two pi and the square root of the product of the mass and the inverse of the spring constant.
Period of an oscillating pendulum	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	The period of oscillation of a pendulum equals two times pi multiplied by the square root of the ratio of the length of the pendulum to gravitational acceleration.

QUESTIONS AND ANSWERS

AUDIO

- For a skier going downhill, what are the forces that should be included in a free body diagram?

This is an example of an inclined plane problem. The relevant forces acting on the skier include Earth's gravitational force acting straight down, the normal force is perpendicular to the slope, and the frictional force acts parallel to the slope and opposes the direction of motion. Air resistance is usually ignored. This is a two dimensional problem, so the forces must be divided into x and y components. For inclined plane problems, it is often easier to define the x -axis parallel to the slope and the y -axis perpendicular to the slope.

- Define TENSION FORCE.

Tension force is the force that is transmitted through a string, rope, cable or wire when it is pulled tight by forces acting from opposite ends. The tension force is directed along the length of the wire and pulls equally on the objects on the opposite ends of the wire. Tension is the magnitude of the pulling force exerted by the wire and is measured in newtons.

- Explain why equilibrium and nonequilibrium can be described in terms of balanced and unbalanced forces.

A book lying on a table is acted upon by two forces, gravity exerting a downward force and the upward force of the table on the book. The two forces are balanced and the book is not accelerating, it is at equilibrium. If the book is pushed across the table such that the force applied is greater than the opposing friction force then the horizontal forces acting on the book are unbalanced and the book accelerates from rest.

- For an object launched at an angle to the horizontal why does a launch angle of 45° result in the maximum range?

To answer the question it is helpful to think of the components of the initial velocity. If the object is launched vertically (launch angle of 90°) it will fall to the ground without covering any ground and evidently if the launch angle is zero the launch is aborted. The vertical component of velocity determines the time the object is in the air. The horizontal component determines how far it travels. The range will be the maximum when these components are balanced, i.e at 45° .

- Define UNIFORM CIRCULAR MOTION in physics.

In physics, **uniform circular motion** is defined as the motion of a body travelling at constant speed in a circular path for which the distance of the body from the axis of rotation remains constant at all times. The period of the motion is the time taken for the object to complete one complete revolution around the circle. The frequency of the motion is the inverse of the period: the number of revolutions per unit time.

QUESTIONS AND ANSWERS

AUDIO

- What is happening to the velocity of an object in uniform circular motion?

Although an object in uniform circular motion has constant speed the velocity vector is constantly changing: its magnitude remains constant but as the direction of the vector is at a tangent to the circular path, velocities at different points on the path have different directions.

- What does changing velocity tell us?

A change in velocity tells us that an object is undergoing acceleration. In the case of uniform circular motion the direction of the acceleration vector is given by the change in direction of the velocity vector: this is always directed towards the centre of the circular path. The magnitude of the acceleration is constant and is given by v^2/r where v is the linear velocity and r is the radius of the circular path. This acceleration is called centripetal from the Latin *centrum* "centre" and *petere* "to seek".

- Define SIMPLE HARMONIC MOTION in Physics and provide three examples of this motion.

Simple harmonic motion is one in which the acceleration causing the motion of an object is proportional and in opposition to the object's displacement from the equilibrium position. Simple harmonic motion is a component of uniform circular motion, this can be visualised by the projection of UCM onto the diameter of a circle. Other examples of SHM are the simple pendulum and a mass attached to a slinky spring.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

1 IL MOTO LUNGO IL PIANO INCLINATO

1 Come varia il vettore componente $\vec{F}_{//}$ della forza-peso parallelo al piano inclinato al variare dell'angolo di inclinazione? Puoi dire che il suo modulo è direttamente proporzionale all'angolo?

2 **APPLICA I CONCETTI** Un libro è poggiato su un tavolo, il quale viene inclinato sollevando un suo bordo fino a quando, raggiunto un certo angolo, il libro inizia a scivolare verso il basso. Spiega questo fenomeno.

3 **APPLICA I CONCETTI** Durante la discesa di uno sciatore lungo la pista, l'inclinazione della pista può variare. Assumendo che il coefficiente di attrito tra gli sci e la pista non cambi, che tipo di moto è quello dello sciatore?

4 Un cubetto di legno di lato 2 cm e un blocco di granito di 1000 kg sono posti su due piani con uguale lunghezza e uguale angolo di inclinazione. Quale dei due oggetti raggiungerà per primo la base del piano se l'attrito è trascurabile? E in presenza di attrito? Da quale parametro dipende la risposta?

PROBLEMA MODELLO 1 GIÙ PER LO SCIVOLO!

Un bambino di massa 26 kg impiega 1,8 s a scendere lungo uno scivolo, alto 2,4 m e inclinato di 60° rispetto al suolo.

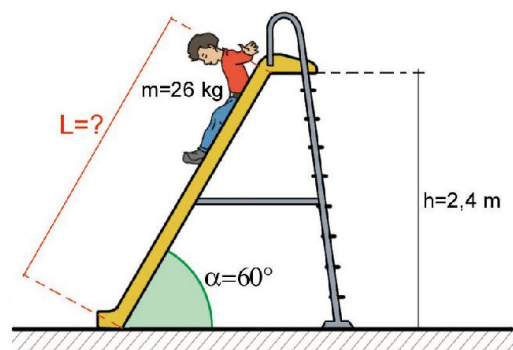
- Calcola la lunghezza dello scivolo.
- Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra il bambino e lo scivolo.

■ DATI

Massa del bambino: $m = 26 \text{ kg}$
 Altezza dello scivolo: $h = 2,4 \text{ m}$
 Angolo di inclinazione: $\alpha = 60^\circ$
 Tempo di discesa: $\Delta t = 1,8 \text{ s}$

■ INCOGNITE

Lunghezza dello scivolo: $l = ?$
 Coefficiente di attrito: $\mu_d = ?$



L'IDEA

- Lo scivolamento del bambino può essere rappresentato dal modello di un oggetto che scivola lungo un piano inclinato in presenza di attrito.
- Da $\frac{h}{l} = \sin \alpha$ calcolo la lunghezza dello scivolo.
- Il moto è uniformemente accelerato: dall'equazione del moto uniformemente accelerato con partenza da fermo $l = \frac{1}{2} a t^2$ ricavo l'accelerazione e dalla seconda legge della dinamica $F = ma$ ricavo il coefficiente di attrito.

LA SOLUZIONE

Calcolo la lunghezza dello scivolo.

Conoscendo l'inclinazione dello scivolo e la sua altezza posso ricavarne la lunghezza dalle formule per il piano inclinato:

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{2,4 \text{ m}}{0,5} = 4,8 \text{ m}.$$

Calcolo l'accelerazione lungo lo scivolo.

Il bambino scende lungo lo scivolo con un moto uniformemente accelerato; la sua accelerazione è

$$a = \frac{2l}{\Delta t^2} = \frac{2 \times (4,8 \text{ m})}{(1,8 \text{ s})^2} = 3,0 \text{ m/s}^2.$$

Esamino le forze applicate al bambino.

Sul bambino agiscono: la forza-peso, la forza di reazione vincolare perpendicolare allo scivolo e la forza di attrito dinamico, parallela allo scivolo. Le forze che agiscono sono le seguenti (le forze sono rappresentate da linee continue, mentre i vettori componenti della forza-peso sono rappresentati dalle linee tratteggiate):

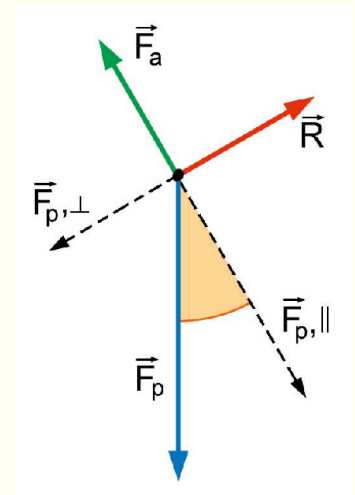
La forza di reazione vincolare \vec{R}_V è opposta al vettore componente della forza-peso perpendicolare al piano: $\vec{R}_V = \vec{F}_{p,\perp}$ da cui si ricava $R_V = \mu mg \sin 30^\circ$. Il modulo della forza di attrito \vec{F}_a è proporzionale alla forza di reazione vincolare, $F_a = \mu R = \mu mg \sin 30^\circ$.

Determino il coefficiente di attrito dinamico.

Dal secondo principio della dinamica applicato lungo la direzione parallela allo scivolo otteniamo l'equazione

$$F_{p,\parallel} - F_a = ma \text{ cioè } mg \cos 30^\circ - \mu mg \sin 30^\circ = ma$$

$$\text{da cui } \mu = \frac{g \cos 30^\circ - a}{g \sin 30^\circ} = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2) \times \cos 30^\circ - (3,0 \text{ m/s}^2)}{(9,8 \text{ m/s}^2) \times \sin 30^\circ} = 1,1.$$



PER NON SBAGLIARE

- Il valore della massa del bambino è ininfluente ai fini del risultato, dal momento che non è stato usato nei calcoli.

- 17** ★★★ Una borsa di 2,4 kg è appoggiata su un tavolo. Il tavolo, alto 1,3 m e lungo 3,3 m viene lentamente inclinato, finché, raggiunto un angolo di inclinazione di 35° , la borsa inizia a scivolare, con accelerazione costante di $0,40 \text{ m/s}^2$.
- Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra la borsa e il tavolo.

[0,65]

- 18** ★★★ Un carrello di massa 8,3 kg, privo di ruote, scivola giù per un piano scabro, con coefficiente di attrito dinamico 0,25, inclinato di 26° rispetto alla direzione orizzontale. Durante la discesa, viene posta nel carrello una valigia di massa 3,1 kg.
- Qual è l'accelerazione del carrello prima e dopo l'arrivo della valigia?

- Qual è l'intensità della forza di reazione vincolare del piano sul carrello prima e dopo l'arrivo della valigia?

[2,1 m/s²; 2,1 m/s²; 73 N; 1,0 × 10² N]

- 19** ★★★ Un pacco di 1,7 kg si trova su un piano inclinato con altezza uguale alla lunghezza di base. Tra il pacco e il piano

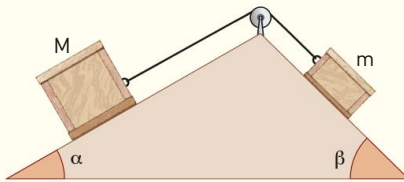
il coefficiente di attrito dinamico è 0,070. Il pacco viene spinto contro il piano con una forza orizzontale di intensità 60 N che lo fa salire lungo il piano.

- Determina la forza di attrito dinamico.
- Determina l'accelerazione del pacco.

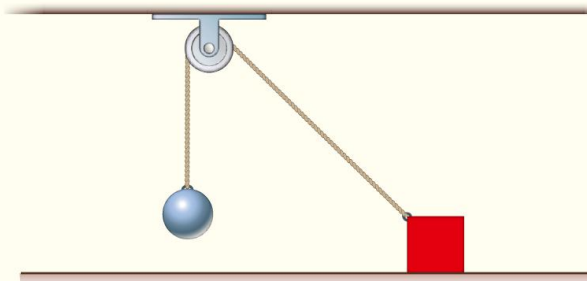
[3,8 N; 16 m/s²]

2 IL DIAGRAMMA DELLE FORZE PER UN SISTEMA DI CORPI IN MOVIMENTO

- 21** Due casse si trovano su due piani inclinati e sono collegate tramite una fune. Le accelerazioni delle due casse hanno lo stesso modulo?



- 22** Considera la sfera e il blocco rappresentati nella figura. La parte destra del filo è inclinata a 45°. La massa della sfera è sufficientemente grande da mettere in moto il blocco. Nel momento in cui la sfera e il blocco si mettono in moto, hanno la stessa accelerazione?



- 28** ★★★ Un vagone ferroviario viaggia con accelerazione costante di 0,60 m/s² lungo un binario rettilineo. All'interno una lampadina di 200 g è sospesa a un filo di massa trascurabile e lunghezza 25 cm.

- Calcola l'angolo di inclinazione del filo rispetto alla direzione verticale.
- Improvvisamente l'accelerazione del vagone aumenta fino a 1,2 m/s² e la lampadina si mette a oscillare. Determina il suo periodo di oscillazione.

[3,5°; 1,0 s]

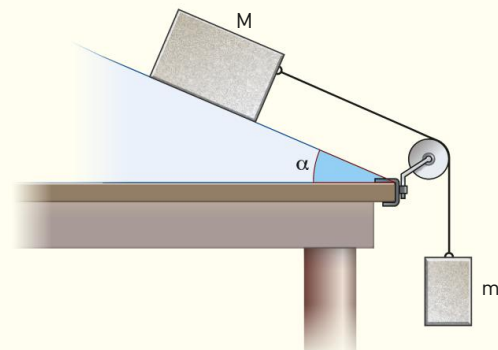
3 L'EQUILIBRIO DEL PUNTO MATERIALE

- 31** **APPLICA I CONCETTI** Su un punto materiale viene applicata una forza \vec{F} .

- Vogliamo tenere il punto materiale in equilibrio applicando una seconda forza \vec{F}' : quali condizioni deve soddisfare?
- Vogliamo tenere il punto materiale in equilibrio ap-

- 29** ★★★ Due blocchi sono collegati tramite una fune come mostrato nella figura. Il primo è su un piano scabro, inclinato di 30° rispetto all'orizzontale, mentre il secondo di massa 8,7 kg, è sospeso nel vuoto. Il coefficiente di attrito dinamico tra il blocco e il piano è 0,05. I due blocchi si muovono con accelerazione 5,2 m/s².

- Determina la tensione della fune e la massa del blocco sul piano inclinato.



[40 N; 55 kg]

- 30** ★★★ Un blocco di massa $m_1 = 7,0$ kg si trova su un piano inclinato di un angolo di 45°, con coefficiente di attrito dinamico di 0,40 e di attrito statico di 0,60. Il blocco è collegato a un secondo oggetto tramite una fune di massa trascurabile che passa attorno una puleggia. Il secondo oggetto ha massa $m_2 = 3,0$ kg e si trova sospeso nel vuoto.

- Il blocco 1 riesce a muoversi? Quanto vale la sua accelerazione?

Suggerimento: risolvi prima il problema in assenza di attrito, e determina la forza totale sul blocco 1.

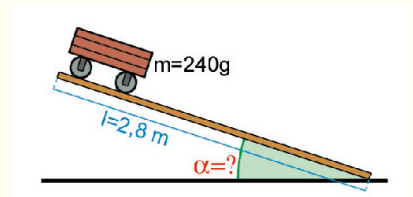
[0 m/s²]

plicando due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 . Le due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 sono univocamente determinate da \vec{F} ?

- 32** Come devono essere dirette tre forze, di uguale intensità, applicate allo stesso oggetto, affinché l'oggetto rimanga fermo?

PROBLEMA MODELLO 3 NON CADE, NON CADE... CADE!

Un carrellino di massa $m = 240$ g si trova in cima a una guida lunga $2,8$ m. La guida è inizialmente in posizione orizzontale. Tra il carrellino e la guida c'è attrito; i coefficienti di attrito statico e dinamico sono $\mu_s = 0,25$ e $\mu_d = 0,18$. La guida viene lentamente inclinata, sollevando la parte su cui poggia il carrellino. A un certo punto, il carrellino inizia a scendere lungo il piano, che non viene mosso ulteriormente.



- Calcola per quale angolo di inclinazione della guida il carrellino inizia a scivolare.
- Calcola quanto tempo impiega il carrellino a percorrere la guida.

■ DATI

Massa del carrellino: $m = 240$ g
 Lunghezza della guida: $l = 2,8$ m
 Coefficiente di attrito statico: $\mu_s = 0,25$
 Coefficiente di attrito dinamico: $\mu_d = 0,18$

■ INCOGNITE

Angolo di inclinazione: $\alpha = 60^\circ$
 Tempo di discesa: $\Delta t = ?$

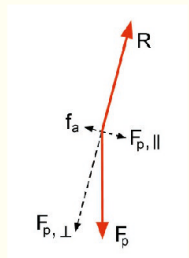
L'IDEA

- Quando si inclina la guida, aumenta la componente della forza-peso parallela alla guida; nel frattempo, diminuisce anche la forza di reazione vincolare perpendicolare alla guida, quindi diminuisce anche il massimo valore della forza di attrito statico.
- Giunti a un angolo di inclinazione critico, la componente della forza-peso parallela alla guida sarà maggiore della forza di attrito statico massima e il carrellino si metterà in moto.
- A quel punto, il carrellino subirà una forza di attrito dinamico e si muoverà di moto rettilineo uniformemente accelerato.

LA SOLUZIONE**Analizzo le forze applicate al carrellino quando si mette in moto e determino l'angolo minimo di inclinazione affinché il carrellino si muova.**

Il diagramma delle forze applicate al carrellino è rappresentato qui a fianco.

Le forze parallele alla guida sono: la forza di attrito \vec{F}_A , che agisce in verso contrario al movimento, e il vettore componente della forza-peso parallelo alla guida $\vec{F}_{p\parallel}$. Quando il modulo di quest'ultimo è maggiore del modulo della massima forza di attrito statico $\vec{F}_{As\max}$ il carrellino si mette in moto; la condizione è $F_{p\parallel} > F_{As\max} = \mu_s F_V = \mu_s F_{p,\perp}$.



Da questa disequaglianza ricaviamo $mg \sin \alpha > \mu_s mg \cos \alpha$ cioè $\tan \alpha > \mu_s = 0,25$.

Con una calcolatrice scientifica possiamo risalire al minimo valore dell'angolo che rispetta la condizione:

$$\alpha = \arctan(0,25) = 14^\circ.$$

Ricavo l'accelerazione del carrellino.

Quando il carrellino si mette in moto, la forza di attrito dinamico \vec{F}_{Ad} sostituisce quella di attrito statico: il moto è uniformemente accelerato. Ricaviamo l'accelerazione dalla seconda legge della dinamica, applicandola alle forze parallele al piano: $F_{p\parallel} - F_{Ad} = ma$ cioè $mg \sin \alpha - \mu_d mg \cos \alpha = ma$.

L'accelerazione quindi è

$$a = (\sin \alpha - \mu_d \cos \alpha)g = (\sin 14^\circ - 0,18 \times \cos 14^\circ) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 0,66 \text{ m/s}^2.$$

Calcolo il tempo di discesa del carrellino.

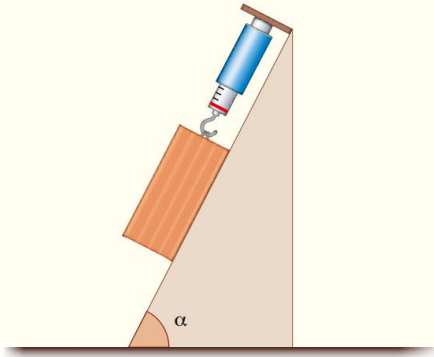
Dalla legge oraria del moto uniformemente accelerato con partenza da fermo ricavo:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times (9,8 \text{ m/s}^2)}{0,66 \text{ m/s}^2}} = 2,9 \text{ s.}$$

PER NON SBAGLIARE

- Su un oggetto fermo è applicata la forza di attrito statico, mentre su un oggetto in movimento è applicata la forza di attrito dinamico; le due forze non sono mai presenti contemporaneamente.

- 38** ★★★ Un mattone di 3,5 kg giace su un piano inclinato lungo 3,0 m e alto 2,6 m ed è agganciato per la parte superiore a un dinamometro la cui molla ha costante elastica pari a 320 N/m. Tra il mattone e il piano non è presente attrito.



- ▶ Determina l'allungamento della molla del dinamometro quando il mattone è fermo.
- ▶ Assumi ora che tra il mattone e il piano sia presente attrito, con coefficiente statico di 0,25. Di quanto si può allungare la molla del dinamometro senza che il mattone si metta a oscillare?

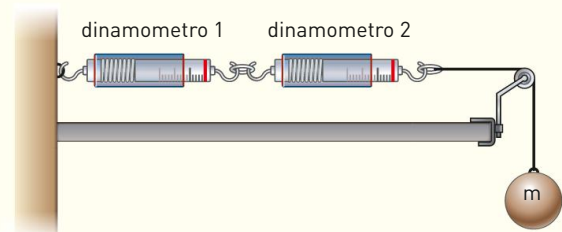
[$9,3 \times 10^{-2} \text{ m}$; 7,9 cm]

- 39** ★★★ Una scatola di massa 1,7 kg si trova su un ripiano lungo 3,1 m, inizialmente in posizione orizzontale. Il ripiano viene lentamente inclinato, sollevando la parte su cui poggia la scatola. Quando il ripiano è inclinato di 12° , la scatola inizia a muoversi.

- ▶ Calcola il coefficiente di attrito statico tra la scatola e il ripiano.
- ▶ La scatola giunge all'altra estremità del ripiano in 2,4 s. Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra la scatola e il ripiano.

[0,21; 0,10]

- 40** ★★★ Due dinamometri sono agganciati in serie come nella figura. La massa appesa è $m=1,0 \text{ kg}$ e il sistema è in equilibrio.



- ▶ Quanto vale la forza misurata dal dinamometro 1?

[9,8 N]

4 L'EQUILIBRIO DEL CORPO RIGIDO

41 APPLICA I CONCETTI

- ▶ È possibile che un oggetto si muova se è sottoposto a due forze opposte?
- ▶ A un'asta viene applicata una coppia di forze. Attorno a quale punto gira l'asta?

42 APPLICA I CONCETTI

La stadera è una bilancia a un solo piatto, spesso usata dai venditori ambulanti perché non necessita di un piano di appoggio per l'uso.

La stadera viene tenuta dal gancio in alto: la merce da pesare viene posta nel piatto e si fa scorrere il peso lungo l'asta, che è stata tarata dal produttore, fino a quando l'asta rimane in posizione orizzontale. Spiega il suo funzionamento.

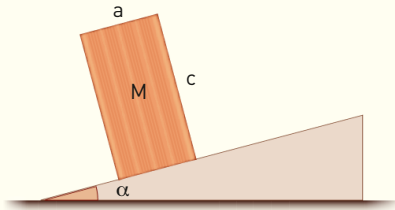


Karma Mingyur

- 45** ★★★ Enrico svita il tappo di una bottiglia d'acqua, di diametro 2,0 cm, applicando, con le dita, ai due estremi del tappo due forze di 4,0 N ciascuna.
- ▶ Quanto vale l'intensità del momento totale delle forze? Qual è il suo verso?

[$8,0 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{N}$]

- 46** ★★★ Su un piano che può essere inclinato a piacere è posto un mattone di 2,0 kg, con gli spigoli $a = b = 16 \text{ cm}$ a contatto con il piano e lo spigolo $c = 30 \text{ cm}$ perpendicolare a esso, come mostrato nella figura. Il coefficiente di attrito statico tra il piano e il mattone è 0,60. La massa del mattone è distribuita uniformemente.



- ▶ Determina fino a quale angolo si può inclinare il piano senza che il mattone si muova e stabilisci se, superato tale angolo, il mattone scivola sul piano oppure ruota.

[28° ; ruota]

- 47** ★★★ Per far ruotare un bicchiere su se stesso applichiamo con le dita di una mano due forze uguali e opposte sull'orlo del bicchiere, in punti diametralmente opposti e in modo che le due forze siano tangenti all'orlo stesso. Il raggio del bicchiere è di 36 mm e ciascuna delle forze ha un'intensità di 1,5 N.

- ▶ Traccia uno schema della situazione e determina il momento della coppia applicata al bicchiere.

[$0,11 \text{ N} \cdot \text{m}$]

- 48** ★★★ Ai due estremi di un'asta vengono sospese due cassette porta-attrezzi che pesano rispettivamente 30 N e 10 N. L'asta in equilibrio se viene appoggiata a un gancio situato a 20 cm dalla cassetta su cui si esercita la forza-peso maggiore.

- ▶ Quanto è lunga l'asta?

[80 cm]

- 49** ★★★ Claudio e Francesco, di massa rispettivamente 40 kg e 51 kg, stanno giocando su un'altalena. Claudio è seduto a un estremo dell'altalena alla distanza di 1,2 m dal fulcro centrale.

- ▶ Calcola a quale distanza da Claudio deve sedersi Francesco affinché l'altalena sia in equilibrio in posizione orizzontale e non ruoti.

[2,1 m]

5 IL MOTO DI UN PROIETTILE LANCIATO ORIZZONTALMENTE

PROBLEMA MODELLO 5 UN SASSO DAL PONTE DI BROOKLYN

A New York, il ponte di Brooklyn sull'East River è alto 84 m. Dai un calcio in orizzontale a un sasso dal bordo del ponte. Prima di raggiungere l'acqua, il sasso percorre in orizzontale una distanza di 20 m.

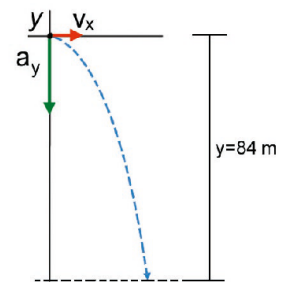
- ▶ Con quale velocità hai calciato il sasso? Trascura la resistenza dell'aria.

■ DATI

Altezza del sasso: $y_f = -84 \text{ m}$
 Accelerazione verticale: $a_y = g = -9,8 \text{ m/s}^2$
 Distanza percorsa in orizzontale: $x = 20 \text{ m}$

■ INCOGNITE

Velocità iniziale del sasso: $v_{0x} = ?$



L'IDEA

- Scelgo il sistema di riferimento con l'asse x diretto verso destra e l'asse y verso l'alto, e come origine O il punto in cui il sasso viene calciato.
- L'accelerazione del sasso g e la sua posizione y sono negativi se li misuriamo nel nostro sistema di riferimento. Quindi l'accelerazione con cui il sasso cade verso il basso è $-g = -9,8 \text{ m/s}^2$ e $y_f = -84 \text{ m}$.

- Il moto del sasso è descritto dalle equazioni

$$\begin{cases} x = v_{0x}t \\ y = \frac{1}{2}a_y t^2 \end{cases}$$

LA SOLUZIONE

Ricavo t dall'equazione della y .

Poiché l'accelerazione verticale del sasso è $-g$ ricavo $t = \sqrt{\frac{2y_f}{-g}}$.

Sostituisco nell'equazione della x l'espressione trovata per t e risolvo nell'incognita v_{0x} .

Inserisco i dati trovati nell'equazione della direzione orizzontale e ottengo

$$v_{0x} = \frac{x}{t} = x \sqrt{\frac{-g}{2y_f}} = (20 \text{ m}) \times \sqrt{\frac{-9,8 \text{ m/s}^2}{2 \times (-84 \text{ m})}} = 4,8 \text{ m}$$

6 IL MOTO DI UN PROIETTILE CON VELOCITÀ INIZIALE OBLIQUA

70 ******* Una freccia è lanciata con un angolo di 30° rispetto all'orizzontale con una velocità iniziale di 30 m/s e colpisce il bersaglio.

- ▶ Qual è l'altezza massima raggiunta dalla freccia?
- ▶ Il bersaglio si trova alla stessa altezza dalla quale la freccia è stata lanciata. Quanto dista il bersaglio?

[11 m; 80 m]

- ▶ Quanto vale lo spostamento orizzontale della pallina prima di colpire il suolo?

[12 m]

72 ******* Una palla da baseball viene lanciata in $0,65 \text{ s}$ da un giocatore a un compagno di squadra che dista 17 m . Assumi di poter trascurare l'attrito dell'aria.

- ▶ Determina la velocità iniziale della palla nella direzione verticale.

[3,2 m/s]

71 ******* Una pallina è lanciata con una velocità iniziale di 12 m/s e con un angolo di inclinazione di 20° sotto l'orizzontale. La pallina è lanciata da una finestra posta a 10 m da terra.

7 LA VELOCITÀ ANGOLARE

73 **APPLICA I CONCETTI** Quando un DVD viene inserito nel lettore ottico e avviato, le sue parti si muovono alla stessa velocità (in modulo) o alla stessa velocità angolare?

74 **APPLICA I CONCETTI** La catena della bicicletta è montata su due corone di raggi diversi. Quando la bicicletta si muove, le parti esterne delle due corone hanno la stessa velocità (in modulo) o la stessa velocità angolare?

PROBLEMA MODELLO 7 DENTRO UN LETTORE DVD

Un disco DVD è inserito in un lettore e gira compiendo 390 giri al minuto.

- ▶ Calcola la frequenza di rotazione del DVD.
- ▶ Calcola la velocità angolare del DVD.
- ▶ Calcola lo spostamento angolare del DVD nell'intervallo di tempo $\Delta t = 12 \text{ s}$. Esprimi la grandezza in radianti e in gradi.

■ DATI

Numero di giri al minuto: $n = 390$
 Intervallo di tempo: $\Delta t = 12 \text{ s}$

■ INCOGNITE

Frequenza: $f = ?$
 Velocità angolare: $\omega = ?$
 Spostamento angolare: $\Delta\alpha = ?$

L'IDEA

Tutti i punti del disco compiono un giro nello stesso intervallo di tempo, che è il periodo. Hanno quindi la stessa frequenza di rotazione e la stessa velocità angolare.

LA SOLUZIONE

Calcolo la frequenza di rotazione.

La frequenza di rotazione del DVD è pari al numero di giri che esso compie in un secondo, cioè:

$$f = \frac{n}{60 \text{ s}} = \frac{390}{60 \text{ s}} = 6,5 \text{ Hz}.$$

Calcolo la velocità angolare.

Ricavo la velocità angolare dal dato della frequenza:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times (6,5 \text{ Hz}) = 41 \text{ rad/s}.$$

Calcolo l'ampiezza dello spostamento angolare.

In un intervallo di tempo $\Delta t = 12 \text{ s}$ il DVD ruota di un angolo pari a $\Delta\alpha = \omega\Delta t = (41 \text{ rad/s}) \times (12 \text{ s}) = 4,9 \text{ rad}$.

Esprimo l'angolo di rotazione in gradi.

Poiché a 180° corrispondono π radianti, vale la proporzione:

$$\frac{\Delta g^\circ}{180^\circ} = \frac{\Delta\alpha}{\pi} \text{ da cui ricaviamo: } \Delta g^\circ = \frac{180^\circ \times \Delta\alpha}{\pi} = \frac{180^\circ \times 4,9 \text{ rad}}{3,14 \text{ rad}} = 2,8 \times 10^2^\circ$$

77 **★★★** La distanza media Venere-Sole è di $1,1 \times 10^8 \text{ km}$. Il periodo orbitale è di 224,70 giorni.

- ▶ Quanto vale il valore della sua velocità media?
- ▶ Quanto vale la velocità angolare di rotazione attorno al Sole?

Suggerimento: assumi che l'orbita di Venere intorno al Sole sia circolare.

$$[3,6 \times 10^4 \text{ m/s}; 3,2 \times 10^{-7} \text{ rad/s}]$$

78 **★★★** La sirena di un'ambulanza lampeggia 15 volte in 3,0 s.

- ▶ Qual è la velocità angolare dello schermo che periodicamente copre e scopre la luce della sirena?

$$[31 \text{ rad/s}]$$

79 **★★★** Il bordo di un vecchio disco a 45 giri (al minuto) ruota alla velocità di 0,47 m/s.

- ▶ Qual è il valore della velocità di un punto del disco a 3,0 cm dal bordo?

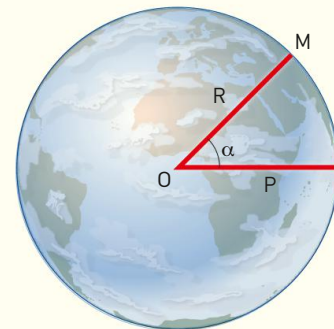
$$[0,33 \text{ m/s}]$$

80 **★★★** Un disco rotante ha un raggio di 50 cm e descrive un angolo di 90° in 0,60 s.

- ▶ Calcola il valore della velocità angolare.
- ▶ Calcola il modulo della velocità di un oggetto che si trova sul bordo del disco.

$$[2,6 \text{ rad/s}; 1,3 \text{ m/s}]$$

81 **★★★** Una località M si trova a una latitudine $\alpha = +45^\circ$. Il raggio della Terra vale $R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$.



- ▶ Calcola la velocità angolare della Terra nel suo moto di rotazione.
- ▶ Calcola la velocità di rotazione della Terra in corrispondenza di quella località.

$$[7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}; 3,3 \times 10^2 \text{ m/s}]$$

8 L'ACCELERAZIONE CENTRIPETA NEL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

PROBLEMA MODELLO 8 IN PIEDI SU UNA GIOSTRA

Marco è in piedi su una giostra che sta ruotando a velocità di modulo costante, e impiega 17 s per compiere un giro. Marco si trova a 2,3 m dal centro della giostra.

- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta di Marco.
- ▶ Marco si sposta di verso l'esterno della giostra. Calcola il valore della sua velocità nella nuova posizione.

■ DATI

Periodo: $T=17$ s
 Distanza iniziale dal centro: $R_i = 2,3$ m
 Spostamento di Marco: $d = 1,5$ m

■ INCOGNITE

Accelerazione centripeta: $a_c = ?$
 Velocità dopo lo spostamento: $v_f = ?$

L'IDEA

In entrambe le posizioni, Marco compie un moto circolare uniforme, con lo stesso periodo, e quindi con la stessa velocità angolare. Il modulo del vettore velocità e l'accelerazione centripeta, invece, dipendono dalla posizione di Marco.

LA SOLUZIONE

Calcolo l'accelerazione centripeta a partire dalla velocità angolare.

La velocità angolare di rotazione della giostra è espressa dalla relazione $\omega = \frac{2\pi}{T}$ quindi l'accelerazione centripeta è

$$a_c = \omega^2 R_i = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_i = \left(\frac{2\pi}{17\text{ s}}\right)^2 \times (2,3\text{ m}) = 0,31\text{ m/s}^2.$$

Calcolo la velocità nella nuova posizione.

La nuova posizione di Marco rispetto al centro della giostra è $R_f = R_i + d = 2,3\text{ m} + 1,5\text{ m} = 3,8\text{ m}$; da questa ricavò la nuova velocità:

$$v_f = \omega R_f = \left(\frac{2\pi}{T}\right) R_f = \left(\frac{2\pi}{17\text{ s}}\right) \times (3,8\text{ m}) = 1,4\text{ m/s}.$$

92 **★★★** Una sferetta di acciaio di massa 730 g è appesa a un filo lungo 63 cm e sta oscillando lungo una traiettoria circolare. In un determinato istante, ha una velocità di 0,34 m/s.

- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta della sferetta.

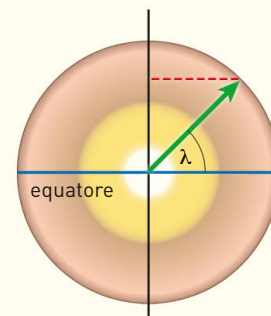
[0,18 m/s²]

93 **★★★** Una giostra impiega 9,8 s a compiere mezzo giro. Un punto sul bordo si muove alla velocità di 18,6 cm/s.

- ▶ Calcola il modulo dell'accelerazione centripeta.

[6,0 × 10⁻² m/s²]

94 **★★★** Maria si trova all'equatore ed è soggetta a una accelerazione (che diminuisce se si dirige verso il polo Nord) dovuta al moto di rotazione della Terra ($R_T = 6,4 \times 10^6$ m).



- ▶ Determina il valore di a_c in funzione della latitudine λ .
- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta alla latitudine di 0°, 30°, 45°, 60° e 90°.
- ▶ Esprimi l'accelerazione centripeta massima in unità di g.

[(0,034 m/s²)cos λ ; 0,034 m/s²; 0,029 m/s²; 0,024 m/s²; 0,017 m/s²; 0 m/s²; 3,5 × 10⁻³ g]

9 LA FORZA CENTRIPETA E LA FORZA CENTRIFUGA APPARENTE

100 Le gare di ciclismo nei velodromi si svolgono su piste inclinate verso l'interno in corrispondenza delle curve. Per quale motivo secondo te queste piste non sono piane?

101 La forza centripeta è una forza come la forza elastica, la forza-peso o la forza di attrito? In altre parole, è una «nuova» forza da aggiungere a queste?

105 Su un piano orizzontale un disco è in rotazione attorno a un asse che passa per il suo centro con una velocità angolare di 2 rad/s. Un tappo di bottiglia di 5,0 g è poggiato sul disco a 8,0 cm dal suo centro e ruota insieme al disco.

- Quali forze il disco applica sul tappo?

[$4,9 \times 10^{-2}$ N verso l'alto; $1,6 \times 10^{-3}$ N verso il centro]

106 Una moto di massa 350 kg percorre un curva di raggio 16 m a velocità di modulo costante. Il coefficiente di attrito statico tra pneumatici e asfalto è 0,26.

- Calcola la massima velocità con cui la moto può affrontare la curva senza perdere aderenza.

[6,4 m/s]

107 Una sferetta di acciaio di massa 510 g è appesa a un filo di massa trascurabile e lunghezza 46 cm. Quando il filo forma un angolo di 30° con la verticale, la velocità della sferetta è 0,76 m/s.

- Calcola la forza esercitata dal filo sulla sferetta.

[5,0 N]

10 IL MOTO ARMONICO

114 Una ruota, di diametro 90 cm, sta ruotando con una pulsazione di 5,03 rad/s. Sul bordo della ruota c'è una manovella e la sua ombra si proietta verticalmente sul terreno, descrivendo un moto armonico.

- Calcola il periodo del moto armonico.
- Trova l'ampiezza del moto armonico dell'ombra.

[1,2 s; 45 cm]

12 IL MOTO ARMONICO DI UNA MASSA ATTACCATO A UNA MOLLA

133 Un blocco di legno di massa 1,5 kg è poggiato su un piano orizzontale, collegato a una molla di costante elastica 160 N/m. Tra il blocco e il piano è presente attrito, con coefficiente di attrito statico 0,21 e coefficiente di attrito dinamico 0,16. Il blocco è inizialmente fermo e la molla è a riposo.

108 All'Oktoberfest di Monaco di Baviera ci sono le montagne russe Olympia, con 5 "cerchi della morte", disposti come i cerchi olimpici. Il giro della morte centrale ha un diametro di 20,0 m.

Assumi che un carrello trasporti una persona di massa 75,0 kg alla velocità di 4,20 m/s.

- Calcola la forza che il carrello applica alla persona quando si trova nel punto più basso del cerchio.
- Calcola la forza che il carrello applica alla persona quando si trova nel punto più alto del cerchio. Verso dove è diretta?

[867 N; 603 N, verso l'alto]

109 Un'auto di massa 1000 kg affronta una curva alla velocità di 55 km/h. Il coefficiente di attrito tra le gomme e il piano stradale è 0,7.

- Quanto misura il raggio della curva?

Suggerimento: la forza centripeta è la forza di attrito della strada.

[34 m]

110 Un cavallo di 400 kg trotta in circolo alla velocità di 2,0 m/s. Il cavallo è tenuto per mezzo di una corda lunga 3,8 m da un addetto del maneggio che si trova al centro del cerchio. Assumi che la corda sia di massa trascurabile.

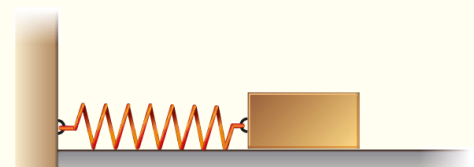
- Determina la forza che l'uomo esercita sulla corda.
- A un certo punto, l'addetto si stanca: per fare meno fatica deve allentare la corda permettendo al cavallo una traiettoria circolare più ampia o, viceversa, deve accorciare la corda avvicinando il cavallo a sé?

[$4,2 \times 10^2$ N]

115 Considera la situazione del Problema modello 10: un altro atleta percorre 4 giri di pista con velocità di modulo costante in 224 s, in verso orario.

- Calcola il periodo, la frequenza e la pulsazione del moto armonico osservato dal giudice di gara.
- Disegna il grafico del moto armonico.

[56 s; $1,8 \times 10^{-2}$ Hz; 0,11 rad/s]



A un certo punto il blocco viene spostato di 6,0 cm verso destra.

- ▶ Determina il valore della forza elastica e della forza di attrito statico, e stabilisci se l'oggetto si mette in moto.
- ▶ Mostra che il blocco si muove verso sinistra, compiendo mezza oscillazione di un moto armonico rispetto a una nuova posizione di equilibrio, con pulsazione $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, e calcola la nuova posizione di equilibrio.

[9,6 N, 3,1 N; 0,015 m]

13 IL MOTO ARMONICO DI UN PENDOLO

- 138** ******* Un orologio a pendolo regolarmente funzionante sulla Terra viene trasportato sulla Luna, dove l'accelerazione di gravità è $1,6 \text{ m/s}^2$.

- 134** ******* **OLIMPIADI DELLA FISICA** Sulla Terra, un oggetto sospeso a una molla produce un allungamento L e oscilla con frequenza f . Se l'oggetto viene trasportato sulla Luna e sospeso alla stessa molla, le due quantità diventano $L' = \frac{L}{n}$ e f' .

- ▶ Qual è il rapporto $\frac{f}{f'}$?

(Olimpiadi della Fisica, Gara di primo livello, 2000)

- ▶ Quando sulla Terra sono trascorsi 5,0 min di quanto è andato avanti l'orologio?

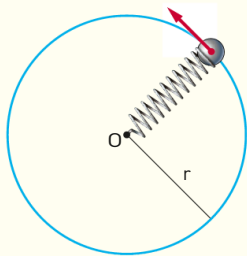
[2,0 min]

PROBLEMI GENERALI

- 16** ******* **SPORT** Una casa produttrice di sci vuole testare i suoi nuovi modelli di sci; il primo modello ha un coefficiente di attrito dinamico con la neve di 0,16, il secondo di 0,17. Sceglie due piste rettilinee lunghe 540 m, la prima con inclinazione di 18° e la seconda con inclinazione di 19° ; chiede ad uno sciatore di partire da fermo e percorrere la prima indossando il primo paio di sci e la seconda indossando il secondo paio.

- ▶ Dove si registrerà il tempo inferiore?
- ▶ Dove si registrerà la velocità maggiore?

- 17** ******* **IN LABORATORIO** Una sfera di massa 240 g percorre una guida circolare, di raggio 18 cm, compiendo un moto circolare uniforme con velocità $0,22 \text{ m/s}$. La sfera è collegata a una molla con una estremità fissa al centro della guida, come mostrato nella figura. La molla ha una costante elastica 80 N/m ed è allungata di 1,2 cm rispetto alla sua lunghezza a riposo. La guida è in posizione verticale (la forza-peso è diretta verso il basso).



- ▶ Calcola l'intensità della forza esercitata dalla guida sulla sfera quando passa dal punto più alto della sua traiettoria. Verso dove è diretta?
- ▶ Calcola l'intensità della forza esercitata dalla guida sulla sfera quando passa dal punto più basso della sua traiettoria. Verso dove è diretta?

[3,2 N verso l'esterno; 1,5 N verso l'interno]

- 18** ******* Una grossa molla di costante elastica 400 N/m , massa trascurabile e lunghezza a riposo 14 cm si trova in verticale su un tavolo. Un libro di massa $1,1 \text{ kg}$ viene posato sulla molla e immediatamente rilasciato, prima che la molla inizi a comprimersi.

- ▶ Mostra che il libro si muove di moto armonico.
- ▶ Calcola i parametri del moto armonico della molla (ampiezza, frequenza, periodo).

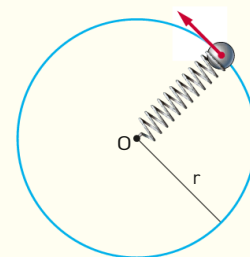
[2,7 cm; 3,0 Hz; 0,33 s]

- 19** ******* A una estremità di una fune, di massa trascurabile e lunghezza 60 cm , è legato un pacco di $0,40 \text{ kg}$. Il pacco viene fatto oscillare, tenendo ferma l'altra estremità della corda con la mano. Quando il pacco passa dalla posizione più bassa (la posizione di equilibrio) ha una velocità di $0,40 \text{ m/s}$.

- ▶ Determina la tensione della fune nel momento in cui il pacco passa dalla posizione di equilibrio.
- ▶ La tensione è maggiore del peso del pacco? Perché?

[4,1 N; sì]

- 20** ******* **IN LABORATORIO** Come è mostrato nella figura, una pallina di massa 210 g è vincolata a un punto O per mezzo di una molla di costante elastica 289 N/m . La pallina è in moto circolare con una velocità angolare di $3,21 \text{ rad/s}$ su un piano orizzontale. Il raggio della circonferenza è $38,1 \text{ cm}$.



- ▶ Calcola la lunghezza a riposo della molla.

[0,378 m]

21 ★★★ Un motociclista sta per affrontare una curva. Il coefficiente di attrito tra gli pneumatici e la strada è 0,70 e il raggio della curva è 25 m.

- Qual è la massima velocità a cui il motociclista può effettuare la curva?

[13 m/s]

22 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un motociclista percorre una curva di 120 m di raggio alla velocità di 90 km/h.

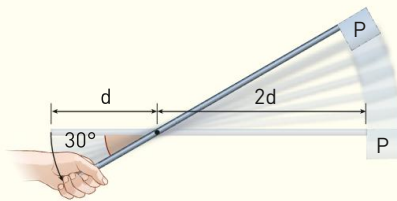
- Che informazione se ne può ricavare circa il coefficiente di attrito statico μ , tra la gomma della ruota e l'asfalto della strada?

Suggerimento: la forza di attrito dinamica diretta verso il centro della curva ha intensità $F_d \leq \mu_s F_N$, dove F_N è il valore della forza di reazione del suolo.

(*Olimpiadi della Fisica, gara nazionale di secondo livello, 2002*)

[Il coefficiente di attrito statico è maggiore di 0,53]

23 ★★★ Un operaio apre la condotta di una diga muovendo un'asta di ferro che ruota attorno a un perno. Il perno è a distanza d dall'estremo di impugnatura. All'altro estremo è saldato un contrappeso che ha una forza-peso di intensità pari a 100 N. La distanza fra il perno e il contrappeso è $2d$. La condotta si apre quando l'angolo formato dall'asta rispetto alla posizione iniziale è di 30° e l'estremo di impugnatura si è abbassato di 20 cm.



- Quanto vale la forza esercitata dall'operaio per aprire la condotta?
- Quanto vale d ?

[200 N; 0,40 m]

24 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un ciclista percorre un tratto di strada piana a velocità di modulo costante $v = 5$ m/s ed esegue una curva di raggio $r = 4$ m. In una semplice schematizzazione, sul sistema ciclista-bicicletta le forze agenti sono: la reazione normale della strada \vec{N} , la forza di attrito della strada sulle ruote \vec{F}_a e il peso totale $\vec{F}_p = mg$ del sistema.

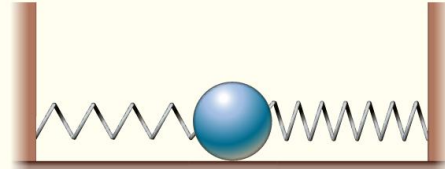
- Esprimi l'angolo θ che la bicicletta forma con la verticale in funzione della forza di attrito e della reazione normale della strada e calcola il suo valore numerico.

Suggerimento: il sistema ciclista-bicicletta non va approssimato con un punto materiale, ma è da considerare come un corpo rigido esteso; in particolare, la forza-peso è applicata nel suo baricentro.

(*Olimpiadi della fisica, gara di secondo livello, 2010*)

$$\left[\theta = \arctan\left(\frac{F_a}{F_p}\right) = 33^\circ \right]$$

25 ★★★ Una sfera di 1,3 kg e di raggio 5,0 cm è collegata a due molle agganciate ciascuna a una parete, come mostrato nella figura. La distanza tra le due pareti è 60 cm, le lunghezze a riposo della molla a sinistra e di quella a destra sono, rispettivamente, $L_1 = 20$ cm e $L_2 = 15$ cm e le loro costanti elastiche sono, rispettivamente, 150 N/m e 280 N/m. Inizialmente la sfera è al centro.



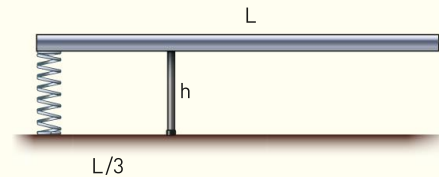
- Determina la posizione di equilibrio rispetto al centro della sfera.
- Determina la costante elastica della molla equivalente alle due molle del sistema, cioè della singola molla che provocherebbe lo stesso moto.

[0,35 m; $4,3 \times 10^2$ N/m]

26 ★★★ La somma delle forze agenti su un corpo rigido è zero e anche la somma dei momenti di queste forze rispetto a un punto P vale zero.

- Dimostra che la somma dei momenti delle forze rispetto a qualsiasi altro punto è sempre zero e che pertanto la condizione di equilibrio statico di un corpo rigido non dipende dal polo scelto per calcolare i momenti delle forze.

27 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Una trave rigida di lunghezza 6,0 m e massa 360 kg è poggiata su un sostegno di altezza 50 cm a un terzo della sua lunghezza; per stare orizzontale l'estremo più vicino al sostegno è fissato al pavimento con una molla la cui lunghezza di riposo è metà di quella attuale.



- Determina la costante elastica della molla.
- Determina la forza vincolare garantita dal sostegno.
- Se un bambino sale sull'estremo libero della trave, questa si abbassa di un tratto pari a un quinto dell'altezza del sostegno. Quanto pesa il bambino?

(*Olimpiadi della fisica, Gara di secondo livello, 2006*)

[$7,1 \times 10^3$ N/m; $5,3 \times 10^3$ N; $1,8 \times 10^2$ N]

TEST

- 6** La velocità di oscillazione di un pendolo:
- A** è nulla agli estremi di oscillazione.
 - B** è nulla nel punto più basso dell'oscillazione.
 - C** è massima agli estremi di oscillazione.
 - D** non si annulla mai.
- 7** Un bambino di 15,0 kg è seduto su una barra (un'altalena) a 1,50 m dal fulcro. Quale forza applicata a 0,3 m dall'altra parte del fulcro è necessaria per sollevare il bambino da terra?
- A** 75 N
 - B** 736 N
 - C** 44,1 N
 - D** 66,2 N
 - E** 147,2 N

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

- 8** La forza elastica con cui una molla reagisce ad una compressione, è, secondo la legge di Hooke:
- A** direttamente proporzionale alla compressione subita.
 - B** inversamente proporzionale alla compressione subita.
 - C** direttamente proporzionale alla massa.
 - D** proporzionale al quadrato della compressione subita.
 - E** direttamente proporzionale alla lunghezza a riposo della molla.

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 9** Un'asta omogenea di estremità *A* e *B* ha una lunghezza di 6 m ed un peso di 150 N. Essa è sistemata su un supporto posizionato esattamente al centro. Un oggetto puntiforme dalla massa di 20 kg è adagiato ad una distanza di 1,5 m da *A* ed uno dalla massa di 4 kg è posizionato su *B*. A che distanza da *B* si deve posizionare un oggetto dalla massa di 10 kg affinché l'asta si trovi in equilibrio?
- A** 1,2 m
 - B** 4,2 m
 - C** 4,8 m
 - D** 1,8 m
 - E** 1,5 m

Prova di Ammissione ai Corsi di Laurea di Architettura Anno Accademico 2013/2014

- 10** A block of concrete, of mass 100 kg, lies on a 2 m-long plank of wood at a distance 0.5 m from one end. If a builder lifts up the other end of the plank, how much force must he apply to lift the block?
- A** 125 N
 - B** 12.5 N
 - C** 250 N
 - D** 25 N

Oxford University - Physics Aptitude Test (Pat) 2010

- 11** The suspension spring of a car, which has a spring constant of $k = 80000 \text{ Nm}^{-1}$ is sat on by a person weighing

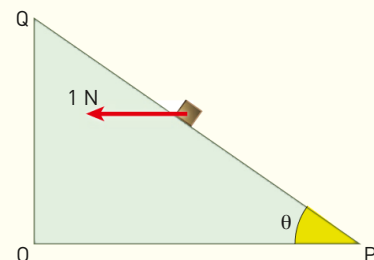
- 80 kg. By how much is the spring compressed?
- A** 1 mm
 - B** 10 mm
 - C** 5 mm
 - D** 20 mm

Oxford University - Physics Aptitude Test (Pat) 2010

- 12** A car of mass 800 kg moves up an incline of 1 in 20 (1 in 20 means for every 20 m along the road the car gains 1m in height) at a constant speed of 20 m/s. The frictional force opposing motion is 500 N. How much work has been done by the engine after the car has moved 50 m?
- A** 20 kJ
 - B** 25 kJ
 - C** 27 kJ
 - D** 45 kJ
 - E** 65 kJ
 - F** 160 kJ

BioMedical Admission Test BMAT - 2010

- 13** A small block of mass of 0.1 kg lies on a fixed inclined plane *PQ* which makes an angle θ with the horizontal. A horizontal force of 1 N acts on the block through its center of mass as shown in the figure. The block remains stationary if (take $g = 10 \text{ m/s}^2$):



- A** $\theta = 45^\circ$
- B** $\theta > 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *P*.
- C** $\theta > 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *Q*.
- D** $\theta < 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *Q*.

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2012

- 14** A parità di lunghezza del piano inclinato, la forza equilibrante di un corpo posto sul piano inclinato:
- A** è indipendente dall'altezza del piano.
 - B** diminuisce al crescere dell'altezza del piano.
 - C** aumenta al diminuire dell'altezza del piano.
 - D** aumenta al crescere dell'inclinazione del piano.

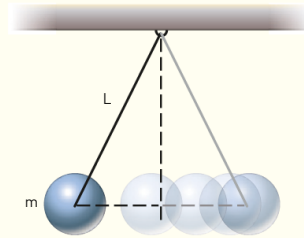
- 15** Un dado di ferro agganciato a una molla la allunga di un tratto x . In seguito, un secondo dado con la stessa massa è appeso al primo dado. La molla si allungherà di un ulteriore tratto pari a:
- A** $2x$.
 - B** $x/2$.

- C x .
 - D 2 volte la costante elastica.
- 16** Un pendolo di lunghezza 73 cm si trova sulla Luna dove l'accelerazione di gravità è $1/6$ di quella sulla Terra. Il periodo di oscillazione vale:
- A 3,7 s C 0,7 s
 - B 4,2 s D 9,5 s
- 17** In un moto parabolico:
- A la componente verticale della velocità è massima nel punto più alto della traiettoria.
 - B la componente verticale della velocità diminuisce durante la salita.
 - C la componente orizzontale della velocità è nulla nel punto di massima altezza.
 - D le componenti orizzontale e verticale della velocità hanno lo stesso valore nel punto di massima altezza.
- 18** Nello studio della condizione di equilibrio di un corpo su un piano inclinato quante grandezze indipendenti fra loro entrano in gioco?
- A Due: una forza e una lunghezza.
 - B Tre: una forza e due lunghezze.
 - C Quattro: due forze e due lunghezze.
 - D Cinque: due forze e tre lunghezze.
- 19** Se la risultante delle forze applicate a un corpo rigido è nulla, ma non è nullo il loro momento, l'oggetto:
- A ruota, ma non trasla.
 - B trasla, ma non ruota.
 - C non trasla, né ruota.
 - D trasla e ruota.
- 20** Un treno viaggia in curva con velocità \vec{v} sottoposto a una forza centripeta F_c . A un certo punto, riduce di $1/3$ la sua velocità. Qual è il nuovo valore della forza centripeta?
- A $F_c/3$. C $9 F_c$.
 - B $3 F_c$. D $F_c/9$.
- 21** Una pallina, legata a un filo, è mantenuta in rotazione a velocità di intensità costante su un tavolo. Quando il filo si spezza (più di una risposta è giusta):
- A la pallina si allontana descrivendo un arco di parabola.
 - B la pallina si ferma.
 - C la pallina prosegue il suo moto lungo una linea retta tangente alla circonferenza percorsa.
 - D la traiettoria dipende dalla posizione assunta dalla pallina all'istante in cui il filo si spezza.

- 22** A block of base $10\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ and height 15 cm is kept on an inclined plane. The coefficient of friction between them is $\sqrt{3}$. The inclination θ of this inclined plane from the horizontal plane is gradually increased from 0° . Then:
- A at $\theta = 30^\circ$, the block will start sliding down the plane.
 - B the block will remain at rest on the plane up to certain θ and then it will topple.
 - C at $\theta = 60^\circ$, the block will start sliding down the plane and continue to do so at higher angles.
 - D at $\theta = 60^\circ$, the block will start sliding down the plane and on further increasing θ , it will topple at certain θ .

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2009

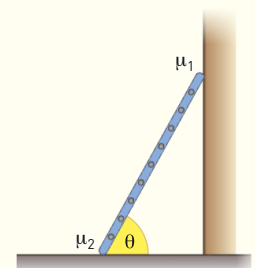
- 23** A ball of mass $m=0.5\text{ kg}$ is attached to the end of a string having length $L=0.5\text{ m}$. The ball is rotated on a horizontal circular path about vertical axis. The maximum tension that string can bear is 324 N . The maximum possible value of angular velocity of ball (in rad/s) is:



- A 9 C 27
- B 18 D 36

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2011

- 24** In the figure, a ladder of mass m is shown leaning against a wall. It is in static equilibrium making an angle θ with the horizontal floor. The coefficient of friction between the wall and the ladder is μ_1 and that between the floor and the ladder is μ_2 . The normal reaction of the wall on the ladder is N_1 and that of the floor is N_2 . If the ladder is about to slip, then:





- A $\mu_1 = 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_2 \tan\theta = mg/2$
- B $\mu_1 \neq 0, \mu_2 = 0$ and $N_1 \tan\theta = mg/2$
- C $\mu_1 \neq 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_2 = mg/(1 + \mu_1\mu_2)$
- D $\mu_1 = 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_1 \tan\theta = mg/2$

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2014

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
4. Il secondo principio della dinamica	 ANIMAZIONE Forza, accelerazione e massa inerziale Il secondo principio della dinamica viene illustrato tramite un disco a ghiaccio secco.	1 minuto e mezzo
	 ESPERIMENTO VIRTUALE Masse e accelerazioni Gioca, misura, esercitati	
5. I sistemi di riferimento non inerziali e le forze apparenti	 ANIMAZIONE Sistemi di riferimento non inerziali e forze apparenti Il moto di un ragazzo a bordo di un autobus: come è visto dalla strada? Come è visto dall'interno dell'autobus?	1 minuto
6. Il terzo principio della dinamica	 ANIMAZIONE Principio di azione e reazione Una sfera di ferro attira una calamita con la stessa forza con cui la calamita attira la sfera.	2 minuti e mezzo
	 FILM Newton nello spazio I principi della dinamica a bordo della ISS	16 minuti
 MAPPA INTERATTIVA	 IN TRE MINUTI • Le forze	
	 IN TRE MINUTI • $\vec{F} = m\vec{a}$	
30 TEST INTERATTIVI SU ZTE CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»		

VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH		 AUDIO
Newton's second Law of motion	$\vec{F} = m\vec{a}$	The total force vector equals the product of mass and the acceleration vector.
The newton	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	The unit of force is the "newton": one newton equals one kilogram multiplied by one metre divided by seconds squared.
Newton's third Law of motion	$\vec{F}_{A \text{ on } B} = \vec{F}_{B \text{ on } A}$	The force vector of body A on body B is equal and opposite to the force vector of body B on body A.

 QUESTIONS AND ANSWERS AUDIO

- ▶ State Newton's first law of motion and provide an example of a balanced force and an example of an unbalanced one.

Newton's first law of motion states that an object at rest will stay at rest, and an object in motion will stay in motion at constant velocity, unless acted upon by an unbalanced force. A book lying on a table is an example of balanced forces in which gravity and the normal force of the table on the book are in balance, an apple falling towards the ground undergoes acceleration being acted on by gravity without a balancing force.

- ▶ State two forms of Newton's second law of motion.

Newton's second law of motion states that the acceleration \vec{a} of a body is parallel and directly proportional to the net force \vec{F} and inversely proportional to the mass m . The law applies to the behaviour of objects for which all existing forces are not balanced. The above statement of the law is often rearranged to the more familiar form: the net force is equated to the product of the mass times the acceleration, i.e., $\vec{F} = m\vec{a}$.

- ▶ State Newton's third law. Can a force exist in isolation?

The forces of two bodies on each other are always equal in magnitude and opposite in direction. Forces are here defined as interactions between different bodies and a force that acts on only one body is impossible by definition.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

1 IL PRIMO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

PROBLEMA MODELLO 1 SCIVOLA O RESTA FERMO?

Anna ha lasciato un libro sul tavolo da disegno, inclinato di 30° . La forza-peso del libro è 25 N, la forza di attrito sul libro vale 10 N e la reazione vincolare del tavolo vale 22 N.

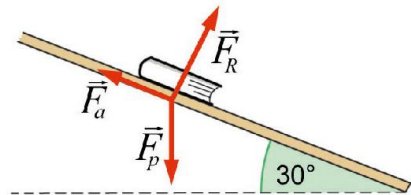
- Determina la forza totale che agisce sul libro.
- Il libro scivola o resta fermo dove Anna lo ha appoggiato?

■ DATI

Forza-peso del libro: $\vec{F}_p = 25 \text{ N}$
 Reazione vincolare: $\vec{F}_R = 22 \text{ N}$
 Forza di attrito: $\vec{F}_a = 10 \text{ N}$

■ INCOGNITE

Forza totale sul libro: $\vec{F}_{\text{tot}} = ?$



L'IDEA

- Scelgo il sistema di riferimento con l'asse x parallelo al piano inclinato e l'asse y perpendicolare a esso. In questo modo, dobbiamo scomporre nelle due componenti x (cioè $\vec{F}_{p\parallel}$) e y (cioè $\vec{F}_{p\perp}$) solo la forza-peso del libro. Infatti la reazione vincolare \vec{F}_R è diretta lungo l'asse y e la forza di attrito \vec{F}_a lungo l'asse x .
- Determino la forza totale che agisce sia nella direzione parallela al piano inclinato che in quella perpendicolare.

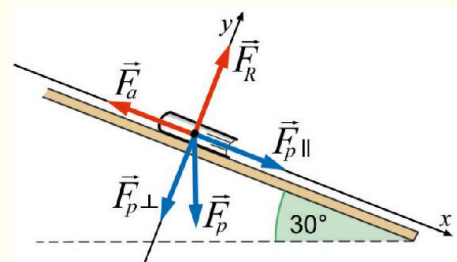
LA SOLUZIONE

Determino le componenti della forza-peso lungo le direzioni x e y .

Dalle relazioni trigonometriche ottengo

$$F_{p\parallel} = F_p \sin \alpha = (25 \text{ N}) \sin 30^\circ = 13 \text{ N}$$

$$F_{p\perp} = F_p \cos \alpha = (25 \text{ N}) \cos 30^\circ = 22 \text{ N}$$



Determino la forza totale che agisce lungo l'asse x (parallelo al piano).

Sommando tutte le componenti che agiscono parallelamente al piano ottengo:

$$F_{x\text{tot}} = F_{p\parallel} - F_a = 13 \text{ N} - 10 \text{ N} = 3 \text{ N}.$$

Determino la forza totale che agisce lungo l'asse y (perpendicolare al piano).

Sommando tutte le componenti che agiscono perpendicolarmente al piano ottengo:

$$F_{y\text{tot}} = F_{p\perp} - F_R = 22 \text{ N} - 22 \text{ N} = 0 \text{ N}.$$

Quindi il libro è soggetto a una forza esterna di 3 N lungo la direzione parallela al piano inclinato, che lo fa scivolare verso il basso.

PER NON SBAGLIARE

Ricordati di fissare il sistema di riferimento nel modo più utile in base ai dati del problema. Nel nostro caso, abbiamo fissato gli assi x e y in modo da dover scomporre solo una delle tre forze iniziali.

3 IL PRINCIPIO DI RELATIVITÀ GALILEIANA

19 ★★★ Tre macchine raggiungono un incrocio. Il conducente della macchina *B* vede la macchina *A* muoversi a una velocità di 30 km/h verso nord. Quello della macchina *B* vede la macchina *C* viaggiare a 40 km/h verso est.

► Con quale velocità *C* vede viaggiare *A*?

Suggerimento: per le trasformazioni di Galileo, la velocità di *A* rispetto a *C* è data dalla velocità di *A* rispetto a *B*, sommata alla velocità di *B* rispetto a *C*.

[50 km/h, con un angolo di 53° Nord-Ovest]

20 ★★★ Carla è seduta nello scompartimento di un treno che viaggia alla velocità di 68 km/h lungo un tratto rettilineo. Guardando fuori dal finestrino vede delle gocce di pioggia, che scendono a velocità costante, con componenti

$$v_x = -16 \text{ m/s e } v_y = 3,0 \text{ m/s.}$$

► Quanto vale la velocità delle gocce di pioggia misurata da un osservatore che si trova a terra?

[4,2 m/s]

21 ★★★ Luca sta nuotando lentamente in piscina mentre vede Federica venirgli incontro, nella corsia accanto, alla velocità di 1,8 m/s. Quando Federica raggiunge il bordo della piscina, inverte il suo moto mantenendo il modulo della velocità costante e poi sorpassa Luca, che la vede passare alla velocità di 0,80 m/s. Durante tutto questo tempo Luca ha mantenuto la sua velocità costante.

► Quali sono, in modulo, le velocità di Luca e Federica?

[0,50 m/s; 1,3 m/s]

4 IL SECONDO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

22 Forza, massa e accelerazione: quali coppie di queste grandezze sono direttamente proporzionali e quali inversamente proporzionali?

23 In base al secondo principio della dinamica, se la somma delle forze applicate a un corpo è nulla, esso non accelera e, viceversa, se il corpo non accelera la somma delle forze a esso applicate è nulla. Poiché questo è anche quanto affermato dal principio di forza d'inerzia, ciò significa che il principio di inerzia è superfluo e potrebbe essere omesso?

PROBLEMA MODELLO 4 LA FORZA SUL LAMPADARIO

Un lampadario a molla di 4,4 kg viene montato al soffitto. La molla ha costante elastica 480 N/m e lunghezza a riposo di 18 cm. Dopo essere stato montato, il lampadario viene lasciato scendere gradualmente.

► A che distanza dal soffitto si trova il lampadario?

■ DATI

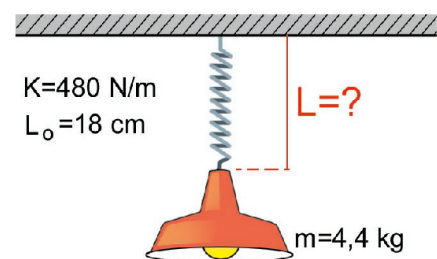
Massa: $m = 4,4 \text{ kg}$

Lunghezza a riposo: $L_0 = 18 \text{ cm}$

Costante elastica della molla: $k = 480 \text{ N/m}$

■ INCOGNITE

Lunghezza totale della molla: $L = ?$



L'IDEA

- Se il sistema è in equilibrio la somma delle forze sul lampadario è nulla.
- Scriviamo la somma vettoriale delle forze applicate al lampadario, ricaviamo la forza elastica e dalla formula $x = \frac{F_e}{k}$ troviamo l'allungamento x della molla e quindi la lunghezza totale della molla, cioè la distanza dal soffitto.

LA SOLUZIONE

Considero tutte le forze applicate al lampadario.

Dopo che il lampadario è stato montato e lasciato scendere esso è fermo, ma sottoposto a due forze: la forza-peso \vec{F}_p , diretta verso il basso, e la forza elastica $\vec{F}_e = -k\Delta x$ della molla, diretta verso l'alto.

Applico il secondo principio considerando il sistema in equilibrio.

Per il secondo principio della dinamica, la somma vettoriale di queste due forze è nulla,

$$F_e - F_p = ma = 0.$$

Ricavo l'intensità della forza elastica esercitata dalla molla.

La forza elastica controbilancia la forza-peso del lampadario ed ha quindi modulo

$$F_e = F_p = mg = (4,4 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 43 \text{ N}$$

per cui l'allungamento della molla è

$$\Delta x = \frac{F_e}{k} = \frac{43 \text{ N}}{480 \text{ N/m}} = 0,090 \text{ m} = 9,0 \text{ cm}.$$

Quindi la distanza del lampadario dal soffitto è

$$L = L_0 + x = 18 \text{ cm} + 9,0 \text{ cm} = 27 \text{ cm}.$$

PER NON SBAGLIARE

Ogni molla ha una sua lunghezza a riposo L_0 , quando non è sottoposta ad alcuna forza, mentre ha lunghezza variabile L quando è sottoposta a forze. L'intensità della forza elastica che la molla esercita non è proporzionale né a L_0 né a L , ma a $|x| = |L - L_0|$.

35 ★★★ Un libro di 940 g è poggiato su un tavolo e viene spinto con una forza esterna di 5,0 N inclinata verso l'alto, che forma un angolo di 30° con l'orizzontale. L'attrito tra il libro e il tavolo non è trascurabile. Il libro si muove con un'accelerazione di 2,5 m/s²,

- ▶ Disegna un diagramma delle forze applicate al libro.
- ▶ Quanto vale il coefficiente di attrito dinamico?

Suggerimento: fissa un opportuno sistema di riferimento cartesiano.

[0,3]

36 ★★★ Un canoista sta remando con una sola pagaia e imprime alla canoa una forza media di 15 N verso est. Il vento sta soffiando in modo da esercitare una forza di 13 N in una direzione inclinata di 60° sud rispetto a est. La massa totale di canoista e canoa è di 100 kg.

6 IL TERZO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

44 Il principio di azione e reazione afferma che se un corpo A esercita una forza su un secondo corpo B , anche B esercita una forza su A di uguale intensità e di verso opposto. Quale delle due è l'azione e quale la reazione?

45 Una mela è appoggiata ferma sul tavolo del giardino.

- ▶ Disegna tutte le forze applicate alla mela e al tavolo e le loro reazioni.
- ▶ Nella figura (che non è in scala) sono mostrati gli oggetti, separati per chiarezza, e alcune coppie di forze. In rosso la forza-peso della mela e la sua reazione, che è applicata al centro della Terra. In viola le forze di

- ▶ Rappresenta le forze in un diagramma, fissando un sistema di riferimento con gli assi x e y orientati come est e nord.
- ▶ Calcola il modulo dell'accelerazione della canoa e le due componenti a_x e a_y .

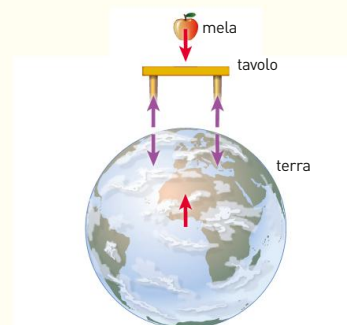
[0,22 N; -0,12 N]

37 ★★★ Un vigile urbano viaggia in moto alla velocità di 36 km/h e viene superato da un'auto che viaggia alla velocità costante di 72 km/h. Due secondi dopo essere stato superato, il vigile accelera al massimo per raggiungere l'auto, ma nello stesso istante anche l'auto accelera al massimo per fuggire. La massa del vigile e della moto è 300 kg e la forza massima del suo motore è 3,0 kN. La massa del guidatore e dell'auto è 900 kg e la forza massima del suo motore è 6,0 kN.

- ▶ Dopo quanto tempo il vigile riesce a raggiungere l'auto?

[7,6 s]

contatto tavolo-Terra. Quelle superiori sono applicate dalla Terra alle gambe del tavolo. E quelle inferiori?



- ▶ Chi bilancia la forza-peso della mela se si trova in equilibrio?

- ▶ Se il tavolo viene sfilato da sotto la mela, perché vediamo la mela cadere sul terreno e non viceversa?

PROBLEMI GENERALI

- 12** ******* Un uomo, di massa 75 kg, si trova sopra una bilancia pesapersona all'interno di un ascensore, che scende con un'accelerazione di $0,39 \text{ m/s}^2$.
▶ Quanti kilogrammi indica la bilancia?

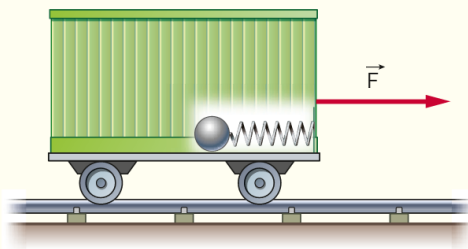
[72 kg]

- 13** ******* Chiara è ancora in ascensore (risolvi prima gli esercizi 18 e 34). Questa volta si trova su una bilancia pesapersona e misura la sua forza-peso prima che l'ascensore si metta in moto. In seguito, a un certo punto, osserva che la bilancia fornisce per il suo peso un valore pari a 1,3 volte quello misurato da ferma.
▶ Disegna le forze applicate a Chiara: che cosa rappresenta la reazione della bilancia?
▶ Quanto vale l'accelerazione dell'ascensore nel momento in cui Chiara legge il valore indicato dalla bilancia? E qual è il suo verso? Esprimi il risultato in unità di g.

Suggerimento: risolvi il problema rispetto a un osservatore esterno posto in un sistema inerziale, e fissa verso l'alto il verso positivo del sistema di riferimento scelto.

[0,3 g]

- 14** **IN LABORATORIO** ******* Un carrello di massa 24 kg è posto su una superficie priva di attrito ed è tirato da una forza orizzontale di 200 N. All'estremità anteriore del carrello è collegata una molla di massa trascurabile, di costante elastica 150 N/m e lunghezza a riposo di 20 cm. All'altro capo della molla è collegata una palla, di massa 2,0 kg, come mostrato nella figura. La palla è ferma, in posizione di equilibrio.
▶ La molla è dilatata o compressa? Di quanto?

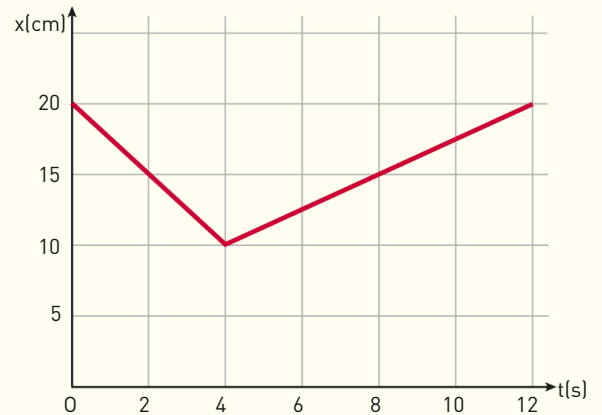


[La molla è dilatata di 10 cm]

- 15** **IN LABORATORIO** ******* Una palla di massa 1,4 kg è posta su un tavolo privo di attrito ed è collegata a una molla orizzontale di costante elastica 120 N/m e lunghezza a riposo 15 cm, fissata all'altro estremo a un supporto. La palla si muove lungo il tavolo sotto l'effetto di una forza esterna. La figura mostra il grafico spazio-tempo del moto

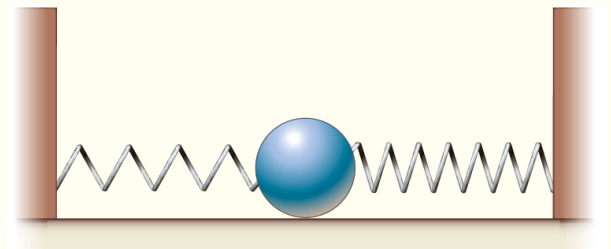
della palla: l'estremità fissa della molla è presa come origine del sistema di riferimento.

- ▶ Disegna il grafico che rappresenta la forza elastica al variare del tempo.



- 16** **IN LABORATORIO** ******* Una palla di massa 2 kg e raggio 5 cm è collegata a due molle, di costanti elastiche rispettivamente 200 N/m e 400 N/m, come mostrato nella figura. La lunghezza a riposo della molla di sinistra è 30 cm, quella della molla di destra è 40 cm. La distanza tra i due estremi delle molle ancorati a sostegni fissi è 1 m. La palla viene posta a metà strada tra i due sostegni fissi e lasciata libera.

- ▶ In quale direzione inizierà a muoversi e con quale accelerazione?



[5 m/s^2 ; verso sinistra]

- 17** **IN LABORATORIO** ******* Una molla di costante elastica a 200 N/m e lunga 13 cm ha un estremo collegato a un sostegno fisso ed è adagiata su un tavolo. L'altro estremo è attaccato all'estremo della seconda molla, di costante elastica 100 N/m e lunga 8,0 cm. Il secondo capo della seconda molla è tirato finché la lunghezza complessiva delle due molle diventa 30 cm.

- ▶ Determina l'intensità della forza che tira la seconda molla.

[6 N]

TEST

9 Un uomo è fermo su di una bilancia a molla, posta all'interno di un ascensore. In quale delle seguenti condizioni il peso registrato dalla bilancia risulta doppio di quello registrato quando l'ascensore è fermo?

- A** L'ascensore scende con velocità costante.
- B** L'ascensore sale con velocità costante.
- C** L'ascensore si muove con accelerazione uguale a g , orientata verso l'alto.
- D** L'ascensore si muove con accelerazione uguale a g , orientata verso il basso.
- E** L'ascensore si muove con accelerazione uguale a zero.

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

10 STATEMENT 1: For an observer looking out through the window of a fast moving train, the nearby objects appear to move in the opposite direction to the train, while the distant objects appear to be stationary.

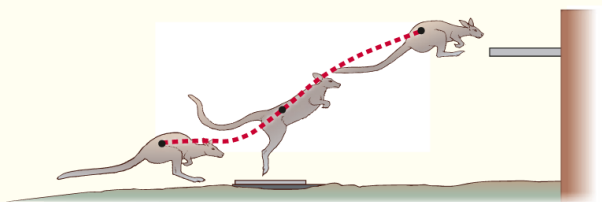
And

STATEMENT 2: If the observer and the object are moving at velocities \vec{v}_1 and \vec{v}_2 respectively with reference to a laboratory frame, the velocity of the object with respect to the observer is $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$.

- A** Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is a correct explanation for Statement 1.
- B** Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is NOT a correct explanation for Statement 1.
- C** Statement 1 is true, Statement 2 is false.
- D** Statement 1 is false, Statement 2 is true.

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2008-2009

11 A kangaroo hops along and then jumps from a flat plate on the ground up to a ledge, as shown above. When a jumping kangaroo is in contact with the plate, its feet exert a force on the plate in the vertical direction, and the plate exerts a force on the kangaroo's feet in the vertical direction. Which statement BEST describes the magnitudes of these forces?



- A** Both forces equal the mass of the kangaroo.
- B** Both forces equal half the mass of the kangaroo.
- C** They vary in size but stay equal to each other.

D The force from the plate becomes larger than the force from the feet.

Trends in International Mathematics and Science Study, 2008/2009

12 Che cosa sono i principi della dinamica?

- A** Affermazioni dimostrate a partire dagli assiomi della fisica.
- B** Generalizzazioni di un gran numero di osservazioni sperimentali.
- C** Descrizioni delle forze esistenti.
- D** Previsioni sul movimento dei corpi formulate in base alle leggi della fisica.

13 Qual è la frase corretta?

- A** Solo un corpo non soggetto a forze si muove di moto rettilineo uniforme.
- B** Ogni corpo continua necessariamente a muoversi di moto rettilineo uniforme.
- C** Ogni corpo si muove di moto rettilineo uniforme a meno che non subisca l'azione di una forza.
- D** Ogni corpo che non abbia subito l'azione di una forza si muove di moto rettilineo uniforme.

14 In presenza di una forza totale costante, quale grandezza resta necessariamente costante?

- A** La velocità.
- B** La posizione.
- C** L'accelerazione.
- D** La distanza percorsa.

15 Un sistema di riferimento inerziale è, per definizione:

- A** un sistema di riferimento soggetto alla legge di inerzia.
- B** un sistema di riferimento che si muove di moto inerziale rispetto al Sole.
- C** un sistema di riferimento in cui il primo principio della dinamica è valido.
- D** un sistema di riferimento in moto rispetto al Sole.

16 Se osserviamo che un corpo non soggetto a forze accelera, cosa dobbiamo concludere?

- A** Che il sistema di riferimento in cui ci troviamo è inerziale.
- B** Che il sistema di riferimento in cui ci troviamo non è inerziale.
- C** Che il sistema di riferimento in cui ci troviamo si sta avvicinando al Sole.
- D** Che il sistema di riferimento in cui ci troviamo si sta allontanando dal Sole.

- 17 Una biglia rimbalza urtando contro un mobile. Perché il mobile non si sposta affatto?
- A Perché il mobile è un corpo rigido.
 - B Perché la forza d'attrito che agisce fra il mobile e il pavimento è molto maggiore della forza esercitata dalla biglia.
 - C Perché la forza della biglia è minore della forza del mobile.
 - D Perché in questo caso il terzo principio della dinamica non è valido.

- 18 Se vedi un palloncino fermo in aria, è corretto affermare che:
- A su di esso non agisce alcuna forza.
 - B su di esso agisce solo la forza del vento che lo tiene sollevato da terra.
 - C su di esso agiscono più forze ma la loro risultante è nulla.
 - D non è una situazione fisica possibile.

- 19 Un oggetto libero inizialmente fermo, sottoposto all'azione di una forza costante, percorre distanze:
- A proporzionali ai tempi impiegati.
 - B inversamente proporzionali ai tempi impiegati.
 - C proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati.
 - D inversamente proporzionali ai quadrati dei tempi impiegati.

- 20 Carlo viaggia su un'automobile a velocità \vec{v}_1 rispetto al riferimento della strada. Il suo veicolo è sorpassato da una motocicletta che viaggia a velocità \vec{v}_2 rispetto al riferimento della strada. A quale velocità Carlo vede muoversi il motociclista?

- A \vec{v}_2
- B $\vec{v}_2 + \vec{v}_1$
- C $\vec{v}_2 - \vec{v}_1$
- D $\frac{\vec{v}_2}{\vec{v}_1}$

- 21 Quale condizione deve valere per applicare le trasformazioni di Galileo fra due sistemi di riferimento inerziali?
- A $v = v'$
 - B $s = s'$
 - C $t = t'$
 - D $(s - s') = (v - v')$

- 22 La massa di un corpo è tanto più grande:
- A quanto maggiore è la resistenza che il corpo oppone a essere accelerato.
 - B quanto minore è la resistenza che il corpo oppone a essere accelerato.
 - C quanto maggiore è la densità del corpo.
 - D quanto maggiore è l'attrito con l'aria.

- 23 Se la risultante delle forze agenti su un corpo è nulla, allora:
- A il corpo è sicuramente fermo.
 - B il corpo non è sottoposto a forze di attrito.
 - C l'accelerazione del corpo è uguale a zero.
 - D l'accelerazione del corpo è costante.
 - E non posso dire nulla sul moto del corpo.

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 24 Su un corpo di 10 kg agisce una forza di 20 N, parallela al piano su cui il corpo è appoggiato. Ciò causa:
- A un'accelerazione di 2 m/s².
 - B un'accelerazione di 0,5 m/s².
 - C un'accelerazione di 5 m/s².
 - D una velocità di 2 m/s.
 - E nessuna delle precedenti.

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 25 STATEMENT 1: A cloth covers a table. Some dishes are kept on it. The cloth can be pulled out without dislodging the dishes from the table.

Because

STATEMENT 2: For every action there is an equal and opposite reaction.



- A Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is a correct explanation for Statement 1.
- B Statement 1 is true, Statement 2 is true; Statement 2 is NOT a correct explanation for Statement 1.
- C Statement 1 is true, Statement 2 is false.
- D Statement 1 is false, Statement 2 is true.

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (JEE) – 2007-2008

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
7. La velocità angolare	<p> ANIMAZIONE</p> <p>La velocità angolare Cos'è la velocità angolare? Come si misura?</p>	2
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Caratteristiche del moto circolare uniforme Definizioni ed esempi di periodo, frequenza e velocità scalare in un moto circolare uniforme.</p>	2
8. L'accelerazione centripeta nel moto circolare uniforme	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Accelerazione centripeta Come varia la velocità in un moto circolare uniforme? Ricaviamo graficamente le proprietà dell'accelerazione centripeta.</p>	2
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Il moto armonico Come nasce un moto armonico? Proiettando su un diametro le posizioni di un punto materiale in moto circolare uniforme.</p>	1,5
10. Il moto armonico	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Grafico spazio-tempo del moto armonico Disegniamo il grafico spazio-tempo del moto di un peso attaccato a una molla.</p>	1
	<p> MAPPA INTERATTIVA</p> <p>30 TEST INTERATTIVI SU ZTE CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»</p>	

VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH		 AUDIO
Acceleration on an inclined plane	$a = g \frac{h}{l}$	Acceleration down an inclined plane equals the product of acceleration due to gravity and the ratio of the height to the length of the plane.
Projectile motion-horizontal initial velocity	$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = -\frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$	The horizontal position equals the product of the initial velocity and the time taken. The vertical position equals minus one-half of the product of gravitational acceleration and the square of the time taken.
Angular speed in uniform circular motion	$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$	Magnitude of angular speed equals two pi divided by the period, equals two pi multiplied by frequency
Linear speed in uniform circular motion	$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r$	Linear speed equals two pi multiplied by the radius of the circular motion divided by period, equals angular velocity multiplied by the radius
Centripetal acceleration in uniform circular motion	$a = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$	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
Centripetal force	$F_c = m \frac{v^2}{r}$	The magnitude of the centripetal force equals the product of the mass of the object and the square of the speed of the object along the circular path, all divided by the radius of the circular path.

Displacement in simple harmonic motion	$s = r \cos(\omega t)$	The displacement of a body in SHM equals the amplitude of the motion multiplied by the cosine of the product of angular frequency and time
Velocity in simple harmonic motion	$s = -\omega r \sin(\omega t)$	Velocity equals minus the product of angular frequency, amplitude and the sine of the product of angular frequency and time
Acceleration in simple harmonic motion	$s = -\omega^2 r \cos(\omega t)$	Acceleration equals minus the square of the angular frequency multiplied by the amplitude and the cosine of the product of angular frequency and time
Period of an oscillating spring	$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$	The period of a mass in an elastic system is equal to the product of two pi and the square root of the product of the mass and the inverse of the spring constant.
Period of an oscillating pendulum	$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$	The period of oscillation of a pendulum equals two times pi multiplied by the square root of the ratio of the length of the pendulum to gravitational acceleration.

QUESTIONS AND ANSWERS

AUDIO

- For a skier going downhill, what are the forces that should be included in a free body diagram?

This is an example of an inclined plane problem. The relevant forces acting on the skier include Earth's gravitational force acting straight down, the normal force is perpendicular to the slope, and the frictional force acts parallel to the slope and opposes the direction of motion. Air resistance is usually ignored. This is a two dimensional problem, so the forces must be divided into x and y components. For inclined plane problems, it is often easier to define the x -axis parallel to the slope and the y -axis perpendicular to the slope.

- Define TENSION FORCE.

Tension force is the force that is transmitted through a string, rope, cable or wire when it is pulled tight by forces acting from opposite ends. The tension force is directed along the length of the wire and pulls equally on the objects on the opposite ends of the wire. Tension is the magnitude of the pulling force exerted by the wire and is measured in newtons.

- Explain why equilibrium and nonequilibrium can be described in terms of balanced and unbalanced forces.

A book lying on a table is acted upon by two forces, gravity exerting a downward force and the upward force of the table on the book. The two forces are balanced and the book is not accelerating, it is at equilibrium. If the book is pushed across the table such that the force applied is greater than the opposing friction force then the horizontal forces acting on the book are unbalanced and the book accelerates from rest.

- For an object launched at an angle to the horizontal why does a launch angle of 45° result in the maximum range?

To answer the question it is helpful to think of the components of the initial velocity. If the object is launched vertically (launch angle of 90°) it will fall to the ground without covering any ground and evidently if the launch angle is zero the launch is aborted. The vertical component of velocity determines the time the object is in the air. The horizontal component determines how far it travels. The range will be the maximum when these components are balanced, i.e at 45° .

- Define UNIFORM CIRCULAR MOTION in physics.

In physics, **uniform circular motion** is defined as the motion of a body travelling at constant speed in a circular path for which the distance of the body from the axis of rotation remains constant at all times. The period of the motion is the time taken for the object to complete one complete revolution around the circle. The frequency of the motion is the inverse of the period: the number of revolutions per unit time.

QUESTIONS AND ANSWERS

AUDIO

- What is happening to the velocity of an object in uniform circular motion?

Although an object in uniform circular motion has constant speed the velocity vector is constantly changing: its magnitude remains constant but as the direction of the vector is at a tangent to the circular path, velocities at different points on the path have different directions.

- What does changing velocity tell us?

A change in velocity tells us that an object is undergoing acceleration. In the case of uniform circular motion the direction of the acceleration vector is given by the change in direction of the velocity vector: this is always directed towards the centre of the circular path. The magnitude of the acceleration is constant and is given by v^2/r where v is the linear velocity and r is the radius of the circular path. This acceleration is called centripetal from the Latin *centrum* "centre" and *petere* "to seek".

- Define SIMPLE HARMONIC MOTION in Physics and provide three examples of this motion.

Simple harmonic motion is one in which the acceleration causing the motion of an object is proportional and in opposition to the object's displacement from the equilibrium position. Simple harmonic motion is a component of uniform circular motion, this can be visualised by the projection of UCM onto the diameter of a circle. Other examples of SHM are the simple pendulum and a mass attached to a slinky spring.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

1 IL MOTO LUNGO IL PIANO INCLINATO

1 Come varia il vettore componente $\vec{F}_{//}$ della forza-peso parallelo al piano inclinato al variare dell'angolo di inclinazione? Puoi dire che il suo modulo è direttamente proporzionale all'angolo?

2 **APPLICA I CONCETTI** Un libro è poggiato su un tavolo, il quale viene inclinato sollevando un suo bordo fino a quando, raggiunto un certo angolo, il libro inizia a scivolare verso il basso. Spiega questo fenomeno.

3 **APPLICA I CONCETTI** Durante la discesa di uno sciatore lungo la pista, l'inclinazione della pista può variare. Assumendo che il coefficiente di attrito tra gli sci e la pista non cambi, che tipo di moto è quello dello sciatore?

4 Un cubetto di legno di lato 2 cm e un blocco di granito di 1000 kg sono posti su due piani con uguale lunghezza e uguale angolo di inclinazione. Quale dei due oggetti raggiungerà per primo la base del piano se l'attrito è trascurabile? E in presenza di attrito? Da quale parametro dipende la risposta?

PROBLEMA MODELLO 1 GIÙ PER LO SCIVOLO!

Un bambino di massa 26 kg impiega 1,8 s a scendere lungo uno scivolo, alto 2,4 m e inclinato di 60° rispetto al suolo.

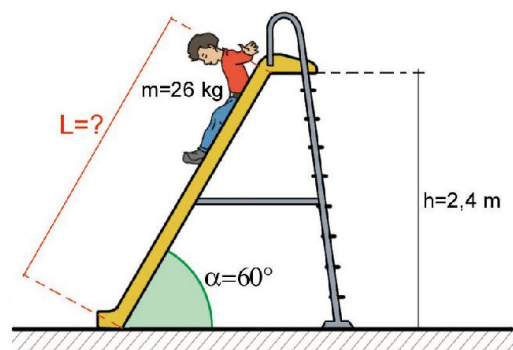
- Calcola la lunghezza dello scivolo.
- Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra il bambino e lo scivolo.

■ DATI

Massa del bambino: $m = 26$ kg
 Altezza dello scivolo: $h = 2,4$ m
 Angolo di inclinazione: $\alpha = 60^\circ$
 Tempo di discesa: $\Delta t = 1,8$ s

■ INCOGNITE

Lunghezza dello scivolo: $l = ?$
 Coefficiente di attrito: $\mu_d = ?$



L'IDEA

- Lo scivolamento del bambino può essere rappresentato dal modello di un oggetto che scivola lungo un piano inclinato in presenza di attrito.
- Da $\frac{h}{l} = \sin \alpha$ calcolo la lunghezza dello scivolo.
- Il moto è uniformemente accelerato: dall'equazione del moto uniformemente accelerato con partenza da fermo $l = \frac{1}{2} a t^2$ ricavo l'accelerazione e dalla seconda legge della dinamica $F = ma$ ricavo il coefficiente di attrito.

LA SOLUZIONE

Calcolo la lunghezza dello scivolo.

Conoscendo l'inclinazione dello scivolo e la sua altezza posso ricavarne la lunghezza dalle formule per il piano inclinato:

$$l = \frac{h}{\sin \alpha} = \frac{2,4 \text{ m}}{0,5} = 4,8 \text{ m}.$$

Calcolo l'accelerazione lungo lo scivolo.

Il bambino scende lungo lo scivolo con un moto uniformemente accelerato; la sua accelerazione è

$$a = \frac{2l}{\Delta t^2} = \frac{2 \times (4,8 \text{ m})}{(1,8 \text{ s})^2} = 3,0 \text{ m/s}^2.$$

Esamino le forze applicate al bambino.

Sul bambino agiscono: la forza-peso, la forza di reazione vincolare perpendicolare allo scivolo e la forza di attrito dinamico, parallela allo scivolo. Le forze che agiscono sono le seguenti (le forze sono rappresentate da linee continue, mentre i vettori componenti della forza-peso sono rappresentati dalle linee tratteggiate):

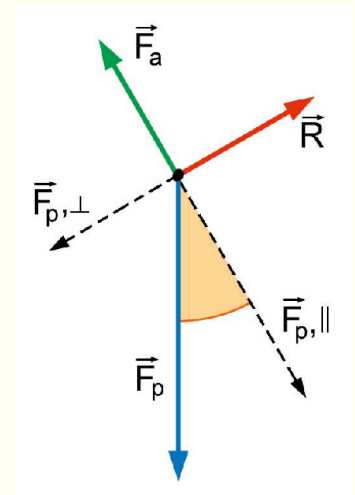
La forza di reazione vincolare \vec{R}_V è opposta al vettore componente della forza-peso perpendicolare al piano: $\vec{R}_V = \vec{F}_{p,\perp}$ da cui si ricava $R_V = \mu mg \sin 30^\circ$. Il modulo della forza di attrito \vec{F}_a è proporzionale alla forza di reazione vincolare, $F_a = \mu R = \mu mg \sin 30^\circ$.

Determino il coefficiente di attrito dinamico.

Dal secondo principio della dinamica applicato lungo la direzione parallela allo scivolo otteniamo l'equazione

$$F_{p,\parallel} - F_a = ma \text{ cioè } mg \cos 30^\circ - \mu mg \sin 30^\circ = ma$$

$$\text{da cui } \mu = \frac{g \cos 30^\circ - a}{g \sin 30^\circ} = \frac{(9,8 \text{ m/s}^2) \times \cos 30^\circ - (3,0 \text{ m/s}^2)}{(9,8 \text{ m/s}^2) \times \sin 30^\circ} = 1,1.$$



PER NON SBAGLIARE

- Il valore della massa del bambino è ininfluente ai fini del risultato, dal momento che non è stato usato nei calcoli.

- 17** ★★★ Una borsa di 2,4 kg è appoggiata su un tavolo. Il tavolo, alto 1,3 m e lungo 3,3 m viene lentamente inclinato, finché, raggiunto un angolo di inclinazione di 35° , la borsa inizia a scivolare, con accelerazione costante di $0,40 \text{ m/s}^2$.
- Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra la borsa e il tavolo.

[0,65]

- 18** ★★★ Un carrello di massa 8,3 kg, privo di ruote, scivola giù per un piano scabro, con coefficiente di attrito dinamico 0,25, inclinato di 26° rispetto alla direzione orizzontale. Durante la discesa, viene posta nel carrello una valigia di massa 3,1 kg.
- Qual è l'accelerazione del carrello prima e dopo l'arrivo della valigia?

- Qual è l'intensità della forza di reazione vincolare del piano sul carrello prima e dopo l'arrivo della valigia?

[2,1 m/s²; 2,1 m/s²; 73 N; 1,0 × 10² N]

- 19** ★★★ Un pacco di 1,7 kg si trova su un piano inclinato con altezza uguale alla lunghezza di base. Tra il pacco e il piano

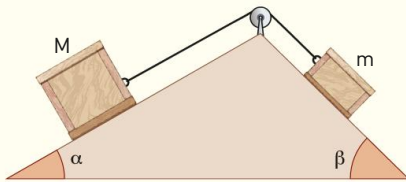
il coefficiente di attrito dinamico è 0,070. Il pacco viene spinto contro il piano con una forza orizzontale di intensità 60 N che lo fa salire lungo il piano.

- Determina la forza di attrito dinamico.
- Determina l'accelerazione del pacco.

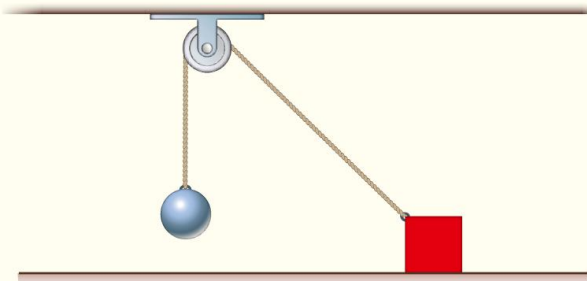
[3,8 N; 16 m/s²]

2 IL DIAGRAMMA DELLE FORZE PER UN SISTEMA DI CORPI IN MOVIMENTO

- 21** Due casse si trovano su due piani inclinati e sono collegate tramite una fune. Le accelerazioni delle due casse hanno lo stesso modulo?



- 22** Considera la sfera e il blocco rappresentati nella figura. La parte destra del filo è inclinata a 45°. La massa della sfera è sufficientemente grande da mettere in moto il blocco. Nel momento in cui la sfera e il blocco si mettono in moto, hanno la stessa accelerazione?



- 28** ★★★ Un vagone ferroviario viaggia con accelerazione costante di 0,60 m/s² lungo un binario rettilineo. All'interno una lampadina di 200 g è sospesa a un filo di massa trascurabile e lunghezza 25 cm.

- Calcola l'angolo di inclinazione del filo rispetto alla direzione verticale.
- Improvvisamente l'accelerazione del vagone aumenta fino a 1,2 m/s² e la lampadina si mette a oscillare. Determina il suo periodo di oscillazione.

[3,5°; 1,0 s]

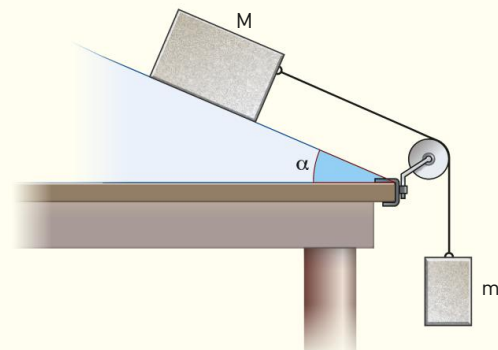
3 L'EQUILIBRIO DEL PUNTO MATERIALE

- 31** **APPLICA I CONCETTI** Su un punto materiale viene applicata una forza \vec{F} .

- Vogliamo tenere il punto materiale in equilibrio applicando una seconda forza \vec{F}' : quali condizioni deve soddisfare?
- Vogliamo tenere il punto materiale in equilibrio ap-

- 29** ★★★ Due blocchi sono collegati tramite una fune come mostrato nella figura. Il primo è su un piano scabro, inclinato di 30° rispetto all'orizzontale, mentre il secondo di massa 8,7 kg, è sospeso nel vuoto. Il coefficiente di attrito dinamico tra il blocco e il piano è 0,05. I due blocchi si muovono con accelerazione 5,2 m/s².

- Determina la tensione della fune e la massa del blocco sul piano inclinato.



[40 N; 55 kg]

- 30** ★★★ Un blocco di massa $m_1 = 7,0$ kg si trova su un piano inclinato di un angolo di 45°, con coefficiente di attrito dinamico di 0,40 e di attrito statico di 0,60. Il blocco è collegato a un secondo oggetto tramite una fune di massa trascurabile che passa attorno una puleggia. Il secondo oggetto ha massa $m_2 = 3,0$ kg e si trova sospeso nel vuoto.

- Il blocco 1 riesce a muoversi? Quanto vale la sua accelerazione?

Suggerimento: risolvi prima il problema in assenza di attrito, e determina la forza totale sul blocco 1.

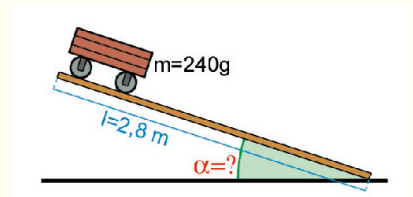
[0 m/s²]

plicando due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 . Le due forze \vec{F}_1 e \vec{F}_2 sono univocamente determinate da \vec{F} ?

- 32** Come devono essere dirette tre forze, di uguale intensità, applicate allo stesso oggetto, affinché l'oggetto rimanga fermo?

PROBLEMA MODELLO 3 NON CADE, NON CADE... CADE!

Un carrellino di massa $m = 240$ g si trova in cima a una guida lunga $2,8$ m. La guida è inizialmente in posizione orizzontale. Tra il carrellino e la guida c'è attrito; i coefficienti di attrito statico e dinamico sono $\mu_s = 0,25$ e $\mu_d = 0,18$. La guida viene lentamente inclinata, sollevando la parte su cui poggia il carrellino. A un certo punto, il carrellino inizia a scendere lungo il piano, che non viene mosso ulteriormente.



- Calcola per quale angolo di inclinazione della guida il carrellino inizia a scivolare.
- Calcola quanto tempo impiega il carrellino a percorrere la guida.

■ DATI

Massa del carrellino: $m = 240$ g
 Lunghezza della guida: $l = 2,8$ m
 Coefficiente di attrito statico: $\mu_s = 0,25$
 Coefficiente di attrito dinamico: $\mu_d = 0,18$

■ INCOGNITE

Angolo di inclinazione: $\alpha = 60^\circ$
 Tempo di discesa: $\Delta t = ?$

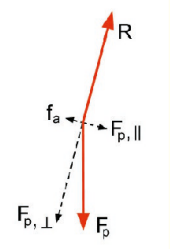
L'IDEA

- Quando si inclina la guida, aumenta la componente della forza-peso parallela alla guida; nel frattempo, diminuisce anche la forza di reazione vincolare perpendicolare alla guida, quindi diminuisce anche il massimo valore della forza di attrito statico.
- Giunti a un angolo di inclinazione critico, la componente della forza-peso parallela alla guida sarà maggiore della forza di attrito statico massima e il carrellino si metterà in moto.
- A quel punto, il carrellino subirà una forza di attrito dinamico e si muoverà di moto rettilineo uniformemente accelerato.

LA SOLUZIONE**Analizzo le forze applicate al carrellino quando si mette in moto e determino l'angolo minimo di inclinazione affinché il carrellino si muova.**

Il diagramma delle forze applicate al carrellino è rappresentato qui a fianco.

Le forze parallele alla guida sono: la forza di attrito \vec{F}_A , che agisce in verso contrario al movimento, e il vettore componente della forza-peso parallelo alla guida $\vec{F}_{p\parallel}$. Quando il modulo di quest'ultimo è maggiore del modulo della massima forza di attrito statico $\vec{F}_{As\max}$ il carrellino si mette in moto; la condizione è $F_{p\parallel} > F_{As\max} = \mu_s F_V = \mu_s F_{p,\perp}$.



Da questa disequaglianza ricaviamo $mg \sin \alpha > \mu_s mg \cos \alpha$ cioè $\tan \alpha > \mu_s = 0,25$.

Con una calcolatrice scientifica possiamo risalire al minimo valore dell'angolo che rispetta la condizione:

$$\alpha = \arctan(0,25) = 14^\circ.$$

Ricavo l'accelerazione del carrellino.

Quando il carrellino si mette in moto, la forza di attrito dinamico \vec{F}_{Ad} sostituisce quella di attrito statico: il moto è uniformemente accelerato. Ricaviamo l'accelerazione dalla seconda legge della dinamica, applicandola alle forze parallele al piano: $F_{p\parallel} - F_{Ad} = ma$ cioè $mg \sin \alpha - \mu_d mg \cos \alpha = ma$.

L'accelerazione quindi è

$$a = (\sin \alpha - \mu_d \cos \alpha)g = (\sin 14^\circ - 0,18 \times \cos 14^\circ) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 0,66 \text{ m/s}^2.$$

Calcolo il tempo di discesa del carrellino.

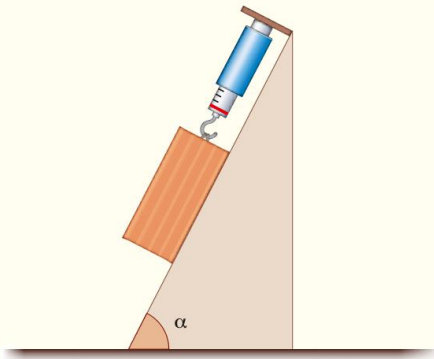
Dalla legge oraria del moto uniformemente accelerato con partenza da fermo ricavo:

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times (9,8 \text{ m/s}^2)}{0,66 \text{ m/s}^2}} = 2,9 \text{ s.}$$

PER NON SBAGLIARE

- Su un oggetto fermo è applicata la forza di attrito statico, mentre su un oggetto in movimento è applicata la forza di attrito dinamico; le due forze non sono mai presenti contemporaneamente.

- 38** ★★★ Un mattone di 3,5 kg giace su un piano inclinato lungo 3,0 m e alto 2,6 m ed è agganciato per la parte superiore a un dinamometro la cui molla ha costante elastica pari a 320 N/m. Tra il mattone e il piano non è presente attrito.



- ▶ Determina l'allungamento della molla del dinamometro quando il mattone è fermo.
- ▶ Assumi ora che tra il mattone e il piano sia presente attrito, con coefficiente statico di 0,25. Di quanto si può allungare la molla del dinamometro senza che il mattone si metta a oscillare?

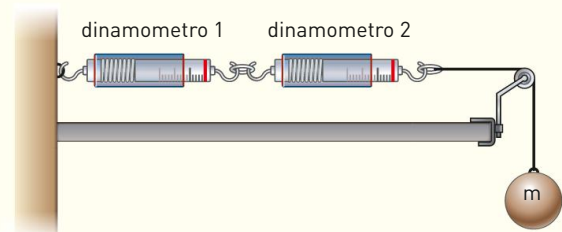
[$9,3 \times 10^{-2} \text{ m}$; 7,9 cm]

- 39** ★★★ Una scatola di massa 1,7 kg si trova su un ripiano lungo 3,1 m, inizialmente in posizione orizzontale. Il ripiano viene lentamente inclinato, sollevando la parte su cui poggia la scatola. Quando il ripiano è inclinato di 12° , la scatola inizia a muoversi.

- ▶ Calcola il coefficiente di attrito statico tra la scatola e il ripiano.
- ▶ La scatola giunge all'altra estremità del ripiano in 2,4 s. Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra la scatola e il ripiano.

[0,21; 0,10]

- 40** ★★★ Due dinamometri sono agganciati in serie come nella figura. La massa appesa è $m=1,0 \text{ kg}$ e il sistema è in equilibrio.



- ▶ Quanto vale la forza misurata dal dinamometro 1?

[9,8 N]

4 L'EQUILIBRIO DEL CORPO RIGIDO

41 APPLICA I CONCETTI

- ▶ È possibile che un oggetto si muova se è sottoposto a due forze opposte?
- ▶ A un'asta viene applicata una coppia di forze. Attorno a quale punto gira l'asta?

42 APPLICA I CONCETTI

La stadera è una bilancia a un solo piatto, spesso usata dai venditori ambulanti perché non necessita di un piano di appoggio per l'uso.

La stadera viene tenuta dal gancio in alto: la merce da pesare viene posta nel piatto e si fa scorrere il peso lungo l'asta, che è stata tarata dal produttore, fino a quando l'asta rimane in posizione orizzontale. Spiega il suo funzionamento.

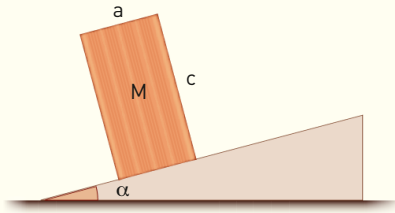


Karma Mingyur

- 45** ★★★ Enrico svita il tappo di una bottiglia d'acqua, di diametro 2,0 cm, applicando, con le dita, ai due estremi del tappo due forze di 4,0 N ciascuna.
- ▶ Quanto vale l'intensità del momento totale delle forze? Qual è il suo verso?

[$8,0 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{N}$]

- 46** ★★★ Su un piano che può essere inclinato a piacere è posto un mattone di 2,0 kg, con gli spigoli $a = b = 16 \text{ cm}$ a contatto con il piano e lo spigolo $c = 30 \text{ cm}$ perpendicolare a esso, come mostrato nella figura. Il coefficiente di attrito statico tra il piano e il mattone è 0,60. La massa del mattone è distribuita uniformemente.



- ▶ Determina fino a quale angolo si può inclinare il piano senza che il mattone si muova e stabilisci se, superato tale angolo, il mattone scivola sul piano oppure ruota.

[28° ; ruota]

- 47** ★★★ Per far ruotare un bicchiere su se stesso applichiamo con le dita di una mano due forze uguali e opposte sull'orlo del bicchiere, in punti diametralmente opposti e in modo che le due forze siano tangenti all'orlo stesso. Il raggio del bicchiere è di 36 mm e ciascuna delle forze ha un'intensità di 1,5 N.

- ▶ Traccia uno schema della situazione e determina il momento della coppia applicata al bicchiere.

[$0,11 \text{ N} \cdot \text{m}$]

- 48** ★★★ Ai due estremi di un'asta vengono sospese due cassette porta-attrezzi che pesano rispettivamente 30 N e 10 N. L'asta in equilibrio se viene appoggiata a un gancio situato a 20 cm dalla cassetta su cui si esercita la forza-peso maggiore.

- ▶ Quanto è lunga l'asta?

[80 cm]

- 49** ★★★ Claudio e Francesco, di massa rispettivamente 40 kg e 51 kg, stanno giocando su un'altalena. Claudio è seduto a un estremo dell'altalena alla distanza di 1,2 m dal fulcro centrale.

- ▶ Calcola a quale distanza da Claudio deve sedersi Francesco affinché l'altalena sia in equilibrio in posizione orizzontale e non ruoti.

[2,1 m]

5 IL MOTO DI UN PROIETTILE LANCIATO ORIZZONTALMENTE

PROBLEMA MODELLO 5 UN SASSO DAL PONTE DI BROOKLYN

A New York, il ponte di Brooklyn sull'East River è alto 84 m. Dai un calcio in orizzontale a un sasso dal bordo del ponte. Prima di raggiungere l'acqua, il sasso percorre in orizzontale una distanza di 20 m.

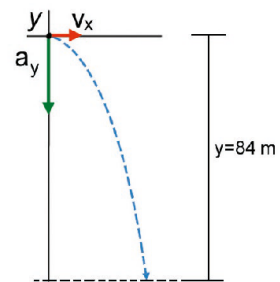
- ▶ Con quale velocità hai calciato il sasso? Trascura la resistenza dell'aria.

■ DATI

Altezza del sasso: $y_f = -84 \text{ m}$
 Accelerazione verticale: $a_y = g = -9,8 \text{ m/s}^2$
 Distanza percorsa in orizzontale: $x = 20 \text{ m}$

■ INCOGNITE

Velocità iniziale del sasso: $v_{0x} = ?$



L'IDEA

- Scelgo il sistema di riferimento con l'asse x diretto verso destra e l'asse y verso l'alto, e come origine O il punto in cui il sasso viene calciato.
- L'accelerazione del sasso g e la sua posizione y sono negativi se li misuriamo nel nostro sistema di riferimento. Quindi l'accelerazione con cui il sasso cade verso il basso è $-g = -9,8 \text{ m/s}^2$ e $y_f = -84 \text{ m}$.

- Il moto del sasso è descritto dalle equazioni

$$\begin{cases} x = v_{0x}t \\ y = \frac{1}{2}a_y t^2 \end{cases}$$

LA SOLUZIONE

Ricavo t dall'equazione della y .

Poiché l'accelerazione verticale del sasso è $-g$ ricavo $t = \sqrt{\frac{2y_f}{-g}}$.

Sostituisco nell'equazione della x l'espressione trovata per t e risolvo nell'incognita v_{0x} .

Inserisco i dati trovati nell'equazione della direzione orizzontale e ottengo

$$v_{0x} = \frac{x}{t} = x \sqrt{\frac{-g}{2y_f}} = (20 \text{ m}) \times \sqrt{\frac{-9,8 \text{ m/s}^2}{2 \times (-84 \text{ m})}} = 4,8 \text{ m}$$

6 IL MOTO DI UN PROIETTILE CON VELOCITÀ INIZIALE OBLIQUA

70 **★★★** Una freccia è lanciata con un angolo di 30° rispetto all'orizzontale con una velocità iniziale di 30 m/s e colpisce il bersaglio.

- ▶ Qual è l'altezza massima raggiunta dalla freccia?
- ▶ Il bersaglio si trova alla stessa altezza dalla quale la freccia è stata lanciata. Quanto dista il bersaglio?

[11 m; 80 m]

- ▶ Quanto vale lo spostamento orizzontale della pallina prima di colpire il suolo?

[12 m]

72 **★★★** Una palla da baseball viene lanciata in 0,65 s da un giocatore a un compagno di squadra che dista 17 m. Assumi di poter trascurare l'attrito dell'aria.

- ▶ Determina la velocità iniziale della palla nella direzione verticale.

[3,2 m/s]

71 **★★★** Una pallina è lanciata con una velocità iniziale di 12 m/s e con un angolo di inclinazione di 20° sotto l'orizzontale. La pallina è lanciata da una finestra posta a 10 m da terra.

7 LA VELOCITÀ ANGOLARE

73 **APPLICA I CONCETTI** Quando un DVD viene inserito nel lettore ottico e avviato, le sue parti si muovono alla stessa velocità (in modulo) o alla stessa velocità angolare?

74 **APPLICA I CONCETTI** La catena della bicicletta è montata su due corone di raggi diversi. Quando la bicicletta si muove, le parti esterne delle due corone hanno la stessa velocità (in modulo) o la stessa velocità angolare?

PROBLEMA MODELLO 7 DENTRO UN LETTORE DVD

Un disco DVD è inserito in un lettore e gira compiendo 390 giri al minuto.

- ▶ Calcola la frequenza di rotazione del DVD.
- ▶ Calcola la velocità angolare del DVD.
- ▶ Calcola lo spostamento angolare del DVD nell'intervallo di tempo $\Delta t = 12$ s. Esprimi la grandezza in radianti e in gradi.

■ DATI

Numero di giri al minuto: $n = 390$
 Intervallo di tempo: $\Delta t = 12$ s

■ INCOGNITE

Frequenza: $f = ?$
 Velocità angolare: $\omega = ?$
 Spostamento angolare: $\Delta\alpha = ?$

L'IDEA

Tutti i punti del disco compiono un giro nello stesso intervallo di tempo, che è il periodo. Hanno quindi la stessa frequenza di rotazione e la stessa velocità angolare.

LA SOLUZIONE

Calcolo la frequenza di rotazione.

La frequenza di rotazione del DVD è pari al numero di giri che esso compie in un secondo, cioè:

$$f = \frac{n}{60 \text{ s}} = \frac{390}{60 \text{ s}} = 6,5 \text{ Hz}.$$

Calcolo la velocità angolare.

Ricavo la velocità angolare dal dato della frequenza:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times (6,5 \text{ Hz}) = 41 \text{ rad/s}.$$

Calcolo l'ampiezza dello spostamento angolare.

In un intervallo di tempo $\Delta t = 12 \text{ s}$ il DVD ruota di un angolo pari a $\Delta\alpha = \omega\Delta t = (41 \text{ rad/s}) \times (12 \text{ s}) = 4,9 \text{ rad}$.

Esprimo l'angolo di rotazione in gradi.

Poiché a 180° corrispondono π radianti, vale la proporzione:

$$\frac{\Delta g^\circ}{180^\circ} = \frac{\Delta\alpha}{\pi} \text{ da cui ricaviamo: } \Delta g^\circ = \frac{180^\circ \times \Delta\alpha}{\pi} = \frac{180^\circ \times 4,9 \text{ rad}}{3,14 \text{ rad}} = 2,8 \times 10^2^\circ$$

77 **★★★** La distanza media Venere-Sole è di $1,1 \times 10^8 \text{ km}$. Il periodo orbitale è di 224,70 giorni.

- ▶ Quanto vale il valore della sua velocità media?
- ▶ Quanto vale la velocità angolare di rotazione attorno al Sole?

Suggerimento: assumi che l'orbita di Venere intorno al Sole sia circolare.

$$[3,6 \times 10^4 \text{ m/s}; 3,2 \times 10^{-7} \text{ rad/s}]$$

78 **★★★** La sirena di un'ambulanza lampeggia 15 volte in 3,0 s.

- ▶ Qual è la velocità angolare dello schermo che periodicamente copre e scopre la luce della sirena?

$$[31 \text{ rad/s}]$$

79 **★★★** Il bordo di un vecchio disco a 45 giri (al minuto) ruota alla velocità di 0,47 m/s.

- ▶ Qual è il valore della velocità di un punto del disco a 3,0 cm dal bordo?

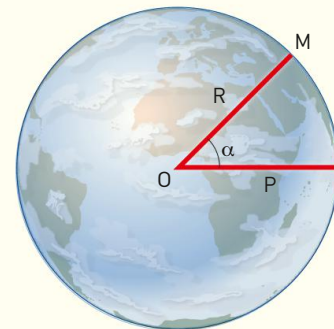
$$[0,33 \text{ m/s}]$$

80 **★★★** Un disco rotante ha un raggio di 50 cm e descrive un angolo di 90° in 0,60 s.

- ▶ Calcola il valore della velocità angolare.
- ▶ Calcola il modulo della velocità di un oggetto che si trova sul bordo del disco.

$$[2,6 \text{ rad/s}; 1,3 \text{ m/s}]$$

81 **★★★** Una località M si trova a una latitudine $\alpha = +45^\circ$. Il raggio della Terra vale $R = 6,4 \times 10^6 \text{ m}$.



- ▶ Calcola la velocità angolare della Terra nel suo moto di rotazione.
- ▶ Calcola la velocità di rotazione della Terra in corrispondenza di quella località.

$$[7,3 \times 10^{-5} \text{ rad/s}; 3,3 \times 10^2 \text{ m/s}]$$

8 L'ACCELERAZIONE CENTRIPETA NEL MOTO CIRCOLARE UNIFORME

PROBLEMA MODELLO 8 IN PIEDI SU UNA GIOSTRA

Marco è in piedi su una giostra che sta ruotando a velocità di modulo costante, e impiega 17 s per compiere un giro. Marco si trova a 2,3 m dal centro della giostra.

- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta di Marco.
- ▶ Marco si sposta di verso l'esterno della giostra. Calcola il valore della sua velocità nella nuova posizione.

■ DATI

Periodo: $T=17$ s
 Distanza iniziale dal centro: $R_i = 2,3$ m
 Spostamento di Marco: $d = 1,5$ m

■ INCOGNITE

Accelerazione centripeta: $a_c = ?$
 Velocità dopo lo spostamento: $v_f = ?$

L'IDEA

In entrambe le posizioni, Marco compie un moto circolare uniforme, con lo stesso periodo, e quindi con la stessa velocità angolare. Il modulo del vettore velocità e l'accelerazione centripeta, invece, dipendono dalla posizione di Marco.

LA SOLUZIONE

Calcolo l'accelerazione centripeta a partire dalla velocità angolare.

La velocità angolare di rotazione della giostra è espressa dalla relazione $\omega = \frac{2\pi}{T}$ quindi l'accelerazione centripeta è

$$a_c = \omega^2 R_i = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_i = \left(\frac{2\pi}{17\text{ s}}\right)^2 \times (2,3\text{ m}) = 0,31\text{ m/s}^2.$$

Calcolo la velocità nella nuova posizione.

La nuova posizione di Marco rispetto al centro della giostra è $R_f = R_i + d = 2,3\text{ m} + 1,5\text{ m} = 3,8\text{ m}$; da questa ricavo la nuova velocità:

$$v_f = \omega R_f = \left(\frac{2\pi}{T}\right) R_f = \left(\frac{2\pi}{17\text{ s}}\right) \times (3,8\text{ m}) = 1,4\text{ m/s}.$$

92 **★★★** Una sferetta di acciaio di massa 730 g è appesa a un filo lungo 63 cm e sta oscillando lungo una traiettoria circolare. In un determinato istante, ha una velocità di 0,34 m/s.

- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta della sferetta.

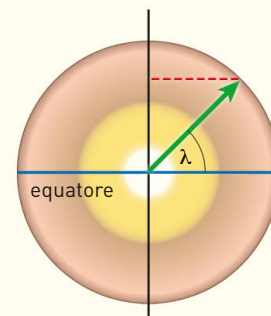
[0,18 m/s²]

93 **★★★** Una giostra impiega 9,8 s a compiere mezzo giro. Un punto sul bordo si muove alla velocità di 18,6 cm/s.

- ▶ Calcola il modulo dell'accelerazione centripeta.

[6,0 × 10⁻² m/s²]

94 **★★★** Maria si trova all'equatore ed è soggetta a una accelerazione (che diminuisce se si dirige verso il polo Nord) dovuta al moto di rotazione della Terra ($R_T = 6,4 \times 10^6$ m).



- ▶ Determina il valore di a_c in funzione della latitudine λ .
- ▶ Calcola l'accelerazione centripeta alla latitudine di 0°, 30°, 45°, 60° e 90°.
- ▶ Esprimi l'accelerazione centripeta massima in unità di g.

[(0,034 m/s²)cos λ ; 0,034 m/s²; 0,029 m/s²; 0,024 m/s²; 0,017 m/s²; 0 m/s²; 3,5 × 10⁻³ g]

9 LA FORZA CENTRIPETA E LA FORZA CENTRIFUGA APPARENTE

100 Le gare di ciclismo nei velodromi si svolgono su piste inclinate verso l'interno in corrispondenza delle curve. Per quale motivo secondo te queste piste non sono piane?

101 La forza centripeta è una forza come la forza elastica, la forza-peso o la forza di attrito? In altre parole, è una «nuova» forza da aggiungere a queste?

105 Su un piano orizzontale un disco è in rotazione attorno a un asse che passa per il suo centro con una velocità angolare di 2 rad/s. Un tappo di bottiglia di 5,0 g è poggiato sul disco a 8,0 cm dal suo centro e ruota insieme al disco.

- Quali forze il disco applica sul tappo?

[$4,9 \times 10^{-2}$ N verso l'alto; $1,6 \times 10^{-3}$ N verso il centro]

106 Una moto di massa 350 kg percorre un curva di raggio 16 m a velocità di modulo costante. Il coefficiente di attrito statico tra pneumatici e asfalto è 0,26.

- Calcola la massima velocità con cui la moto può affrontare la curva senza perdere aderenza.

[6,4 m/s]

107 Una sferetta di acciaio di massa 510 g è appesa a un filo di massa trascurabile e lunghezza 46 cm. Quando il filo forma un angolo di 30° con la verticale, la velocità della sferetta è 0,76 m/s.

- Calcola la forza esercitata dal filo sulla sferetta.

[5,0 N]

10 IL MOTO ARMONICO

114 Una ruota, di diametro 90 cm, sta ruotando con una pulsazione di 5,03 rad/s. Sul bordo della ruota c'è una manovella e la sua ombra si proietta verticalmente sul terreno, descrivendo un moto armonico.

- Calcola il periodo del moto armonico.
- Trova l'ampiezza del moto armonico dell'ombra.

[1,2 s; 45 cm]

12 IL MOTO ARMONICO DI UNA MASSA ATTACCATA A UNA MOLLA

133 Un blocco di legno di massa 1,5 kg è poggiato su un piano orizzontale, collegato a una molla di costante elastica 160 N/m. Tra il blocco e il piano è presente attrito, con coefficiente di attrito statico 0,21 e coefficiente di attrito dinamico 0,16. Il blocco è inizialmente fermo e la molla è a riposo.

108 All'Oktoberfest di Monaco di Baviera ci sono le montagne russe Olympia, con 5 "cerchi della morte", disposti come i cerchi olimpici. Il giro della morte centrale ha un diametro di 20,0 m.

Assumi che un carrello trasporti una persona di massa 75,0 kg alla velocità di 4,20 m/s.

- Calcola la forza che il carrello applica alla persona quando si trova nel punto più basso del cerchio.
- Calcola la forza che il carrello applica alla persona quando si trova nel punto più alto del cerchio. Verso dove è diretta?

[867 N; 603 N, verso l'alto]

109 Un'auto di massa 1000 kg affronta una curva alla velocità di 55 km/h. Il coefficiente di attrito tra le gomme e il piano stradale è 0,7.

- Quanto misura il raggio della curva?

Suggerimento: la forza centripeta è la forza di attrito della strada.

[34 m]

110 Un cavallo di 400 kg trotta in circolo alla velocità di 2,0 m/s. Il cavallo è tenuto per mezzo di una corda lunga 3,8 m da un addetto del maneggio che si trova al centro del cerchio. Assumi che la corda sia di massa trascurabile.

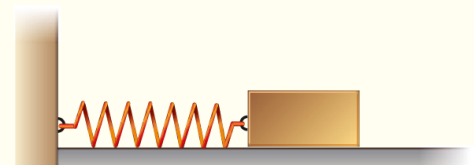
- Determina la forza che l'uomo esercita sulla corda.
- A un certo punto, l'addetto si stanca: per fare meno fatica deve allentare la corda permettendo al cavallo una traiettoria circolare più ampia o, viceversa, deve accorciare la corda avvicinando il cavallo a sé?

[$4,2 \times 10^2$ N]

115 Considera la situazione del Problema modello 10: un altro atleta percorre 4 giri di pista con velocità di modulo costante in 224 s, in verso orario.

- Calcola il periodo, la frequenza e la pulsazione del moto armonico osservato dal giudice di gara.
- Disegna il grafico del moto armonico.

[56 s; $1,8 \times 10^{-2}$ Hz; 0,11 rad/s]



A un certo punto il blocco viene spostato di 6,0 cm verso destra.

- ▶ Determina il valore della forza elastica e della forza di attrito statico, e stabilisci se l'oggetto si mette in moto.
- ▶ Mostra che il blocco si muove verso sinistra, compiendo mezza oscillazione di un moto armonico rispetto a una nuova posizione di equilibrio, con pulsazione $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$, e calcola la nuova posizione di equilibrio.

[9,6 N, 3,1 N; 0,015 m]

13 IL MOTO ARMONICO DI UN PENDOLO

- 138** ******* Un orologio a pendolo regolarmente funzionante sulla Terra viene trasportato sulla Luna, dove l'accelerazione di gravità è $1,6 \text{ m/s}^2$.

- 134** ******* **OLIMPIADI DELLA FISICA** Sulla Terra, un oggetto sospeso a una molla produce un allungamento L e oscilla con frequenza f . Se l'oggetto viene trasportato sulla Luna e sospeso alla stessa molla, le due quantità diventano $L' = \frac{L}{n}$ e f' .

- ▶ Qual è il rapporto $\frac{f}{f'}$?

(Olimpiadi della Fisica, Gara di primo livello, 2000)

- ▶ Quando sulla Terra sono trascorsi 5,0 min di quanto è andato avanti l'orologio?

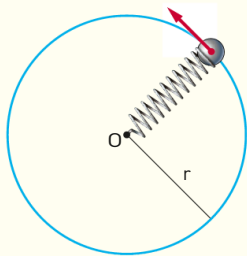
[2,0 min]

PROBLEMI GENERALI

- 16** ******* **SPORT** Una casa produttrice di sci vuole testare i suoi nuovi modelli di sci; il primo modello ha un coefficiente di attrito dinamico con la neve di 0,16, il secondo di 0,17. Sceglie due piste rettilinee lunghe 540 m, la prima con inclinazione di 18° e la seconda con inclinazione di 19° ; chiede ad uno sciatore di partire da fermo e percorrere la prima indossando il primo paio di sci e la seconda indossando il secondo paio.

- ▶ Dove si registrerà il tempo inferiore?
- ▶ Dove si registrerà la velocità maggiore?

- 17** ******* **IN LABORATORIO** Una sfera di massa 240 g percorre una guida circolare, di raggio 18 cm, compiendo un moto circolare uniforme con velocità 0,22 m/s. La sfera è collegata a una molla con una estremità fissa al centro della guida, come mostrato nella figura. La molla ha una costante elastica 80 N/m ed è allungata di 1,2 cm rispetto alla sua lunghezza a riposo. La guida è in posizione verticale (la forza-peso è diretta verso il basso).



- ▶ Calcola l'intensità della forza esercitata dalla guida sulla sfera quando passa dal punto più alto della sua traiettoria. Verso dove è diretta?
- ▶ Calcola l'intensità della forza esercitata dalla guida sulla sfera quando passa dal punto più basso della sua traiettoria. Verso dove è diretta?

[3,2 N verso l'esterno; 1,5 N verso l'interno]

- 18** ******* Una grossa molla di costante elastica 400 N/m, massa trascurabile e lunghezza a riposo 14 cm si trova in verticale su un tavolo. Un libro di massa 1,1 kg viene posato sulla molla e immediatamente rilasciato, prima che la molla inizi a comprimersi.

- ▶ Mostra che il libro si muove di moto armonico.
- ▶ Calcola i parametri del moto armonico della molla (ampiezza, frequenza, periodo).

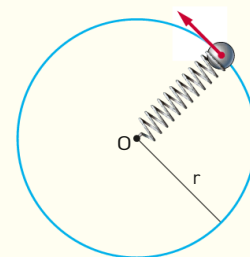
[2,7 cm; 3,0 Hz; 0,33 s]

- 19** ******* A una estremità di una fune, di massa trascurabile e lunghezza 60 cm, è legato un pacco di 0,40 kg. Il pacco viene fatto oscillare, tenendo ferma l'altra estremità della corda con la mano. Quando il pacco passa dalla posizione più bassa (la posizione di equilibrio) ha una velocità di 0,40 m/s.

- ▶ Determina la tensione della fune nel momento in cui il pacco passa dalla posizione di equilibrio.
- ▶ La tensione è maggiore del peso del pacco? Perché?

[4,1 N; sì]

- 20** ******* **IN LABORATORIO** Come è mostrato nella figura, una pallina di massa 210 g è vincolata a un punto O per mezzo di una molla di costante elastica 289 N/m. La pallina è in moto circolare con una velocità angolare di 3,21 rad/s su un piano orizzontale. Il raggio della circonferenza è 38,1 cm.



- ▶ Calcola la lunghezza a riposo della molla.

[0,378 m]

21 ★★★ Un motociclista sta per affrontare una curva. Il coefficiente di attrito tra gli pneumatici e la strada è 0,70 e il raggio della curva è 25 m.

- Qual è la massima velocità a cui il motociclista può effettuare la curva?

[13 m/s]

22 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un motociclista percorre una curva di 120 m di raggio alla velocità di 90 km/h.

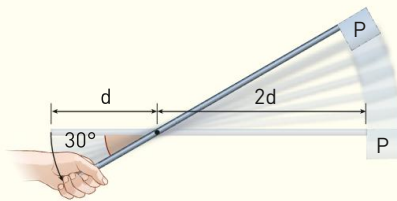
- Che informazione se ne può ricavare circa il coefficiente di attrito statico μ , tra la gomma della ruota e l'asfalto della strada?

Suggerimento: la forza di attrito dinamica diretta verso il centro della curva ha intensità $F_d \leq \mu_s F_N$, dove F_N è il valore della forza di reazione del suolo.

(*Olimpiadi della Fisica, gara nazionale di secondo livello, 2002*)

[Il coefficiente di attrito statico è maggiore di 0,53]

23 ★★★ Un operaio apre la condotta di una diga muovendo un'asta di ferro che ruota attorno a un perno. Il perno è a distanza d dall'estremo di impugnatura. All'altro estremo è saldato un contrappeso che ha una forza-peso di intensità pari a 100 N. La distanza fra il perno e il contrappeso è $2d$. La condotta si apre quando l'angolo formato dall'asta rispetto alla posizione iniziale è di 30° e l'estremo di impugnatura si è abbassato di 20 cm.



- Quanto vale la forza esercitata dall'operaio per aprire la condotta?
- Quanto vale d ?

[200 N; 0,40 m]

24 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un ciclista percorre un tratto di strada piana a velocità di modulo costante $v = 5$ m/s ed esegue una curva di raggio $r = 4$ m. In una semplice schematizzazione, sul sistema ciclista-bicicletta le forze agenti sono: la reazione normale della strada \vec{N} , la forza di attrito della strada sulle ruote \vec{F}_a e il peso totale $\vec{F}_p = mg$ del sistema.

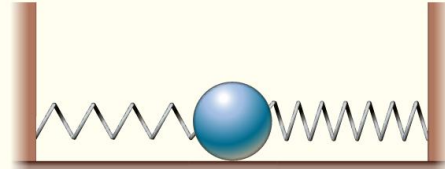
- Esprimi l'angolo θ che la bicicletta forma con la verticale in funzione della forza di attrito e della reazione normale della strada e calcola il suo valore numerico.

Suggerimento: il sistema ciclista-bicicletta non va approssimato con un punto materiale, ma è da considerare come un corpo rigido esteso; in particolare, la forza-peso è applicata nel suo baricentro.

(*Olimpiadi della fisica, gara di secondo livello, 2010*)

$$\left[\theta = \arctan\left(\frac{F_a}{F_p}\right) = 33^\circ \right]$$

25 ★★★ Una sfera di 1,3 kg e di raggio 5,0 cm è collegata a due molle agganciate ciascuna a una parete, come mostrato nella figura. La distanza tra le due pareti è 60 cm, le lunghezze a riposo della molla a sinistra e di quella a destra sono, rispettivamente, $L_1 = 20$ cm e $L_2 = 15$ cm e le loro costanti elastiche sono, rispettivamente, 150 N/m e 280 N/m. Inizialmente la sfera è al centro.



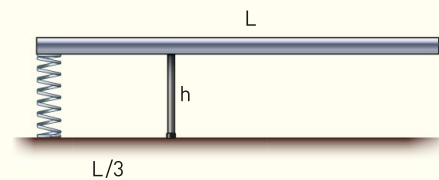
- Determina la posizione di equilibrio rispetto al centro della sfera.
- Determina la costante elastica della molla equivalente alle due molle del sistema, cioè della singola molla che provocherebbe lo stesso moto.

[0,35 m; $4,3 \times 10^2$ N/m]

26 ★★★ La somma delle forze agenti su un corpo rigido è zero e anche la somma dei momenti di queste forze rispetto a un punto P vale zero.

- Dimostra che la somma dei momenti delle forze rispetto a qualsiasi altro punto è sempre zero e che pertanto la condizione di equilibrio statico di un corpo rigido non dipende dal polo scelto per calcolare i momenti delle forze.

27 ★★★ **OLIMPIADI DELLA FISICA** Una trave rigida di lunghezza 6,0 m e massa 360 kg è poggiata su un sostegno di altezza 50 cm a un terzo della sua lunghezza; per stare orizzontale l'estremo più vicino al sostegno è fissato al pavimento con una molla la cui lunghezza di riposo è metà di quella attuale.



- Determina la costante elastica della molla.
- Determina la forza vincolare garantita dal sostegno.
- Se un bambino sale sull'estremo libero della trave, questa si abbassa di un tratto pari a un quinto dell'altezza del sostegno. Quanto pesa il bambino?

(*Olimpiadi della fisica, Gara di secondo livello, 2006*)

[$7,1 \times 10^3$ N/m; $5,3 \times 10^3$ N; $1,8 \times 10^2$ N]

TEST

- 6** La velocità di oscillazione di un pendolo:
- A** è nulla agli estremi di oscillazione.
 - B** è nulla nel punto più basso dell'oscillazione.
 - C** è massima agli estremi di oscillazione.
 - D** non si annulla mai.
- 7** Un bambino di 15,0 kg è seduto su una barra (un'altalena) a 1,50 m dal fulcro. Quale forza applicata a 0,3 m dall'altra parte del fulcro è necessaria per sollevare il bambino da terra?
- A** 75 N
 - B** 736 N
 - C** 44,1 N
 - D** 66,2 N
 - E** 147,2 N

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

- 8** La forza elastica con cui una molla reagisce ad una compressione, è, secondo la legge di Hooke:
- A** direttamente proporzionale alla compressione subita.
 - B** inversamente proporzionale alla compressione subita.
 - C** direttamente proporzionale alla massa.
 - D** proporzionale al quadrato della compressione subita.
 - E** direttamente proporzionale alla lunghezza a riposo della molla.

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 9** Un'asta omogenea di estremità *A* e *B* ha una lunghezza di 6 m ed un peso di 150 N. Essa è sistemata su un supporto posizionato esattamente al centro. Un oggetto puntiforme dalla massa di 20 kg è adagiato ad una distanza di 1,5 m da *A* ed uno dalla massa di 4 kg è posizionato su *B*. A che distanza da *B* si deve posizionare un oggetto dalla massa di 10 kg affinché l'asta si trovi in equilibrio?
- A** 1,2 m
 - B** 4,2 m
 - C** 4,8 m
 - D** 1,8 m
 - E** 1,5 m

Prova di Ammissione ai Corsi di Laurea di Architettura Anno Accademico 2013/2014

- 10** A block of concrete, of mass 100 kg, lies on a 2 m-long plank of wood at a distance 0.5 m from one end. If a builder lifts up the other end of the plank, how much force must he apply to lift the block?
- A** 125 N
 - B** 12.5 N
 - C** 250 N
 - D** 25 N

Oxford University - Physics Aptitude Test (Pat) 2010

- 11** The suspension spring of a car, which has a spring constant of $k = 80000 \text{ Nm}^{-1}$ is sat on by a person weighing

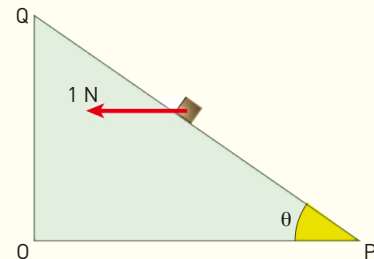
- 80 kg. By how much is the spring compressed?
- A** 1 mm
 - B** 10 mm
 - C** 5 mm
 - D** 20 mm

Oxford University - Physics Aptitude Test (Pat) 2010

- 12** A car of mass 800 kg moves up an incline of 1 in 20 (1 in 20 means for every 20 m along the road the car gains 1m in height) at a constant speed of 20 m/s. The frictional force opposing motion is 500 N. How much work has been done by the engine after the car has moved 50 m?
- A** 20 kJ
 - B** 25 kJ
 - C** 27 kJ
 - D** 45 kJ
 - E** 65 kJ
 - F** 160 kJ

BioMedical Admission Test BMAT - 2010

- 13** A small block of mass of 0.1 kg lies on a fixed inclined plane *PQ* which makes an angle θ with the horizontal. A horizontal force of 1 N acts on the block through its center of mass as shown in the figure. The block remains stationary if (take $g = 10 \text{ m/s}^2$):



- A** $\theta = 45^\circ$
- B** $\theta > 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *P*.
- C** $\theta > 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *Q*.
- D** $\theta < 45^\circ$ and frictional force acts on the block towards *Q*.

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2012

- 14** A parità di lunghezza del piano inclinato, la forza equilibrante di un corpo posto sul piano inclinato:
- A** è indipendente dall'altezza del piano.
 - B** diminuisce al crescere dell'altezza del piano.
 - C** aumenta al diminuire dell'altezza del piano.
 - D** aumenta al crescere dell'inclinazione del piano.

- 15** Un dado di ferro agganciato a una molla la allunga di un tratto x . In seguito, un secondo dado con la stessa massa è appeso al primo dado. La molla si allungherà di un ulteriore tratto pari a:

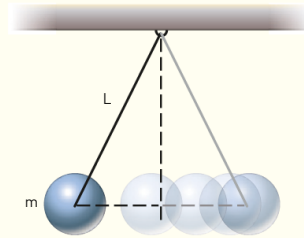
- A** $2x$.
- B** $x/2$.

- C x .
 - D 2 volte la costante elastica.
- 16** Un pendolo di lunghezza 73 cm si trova sulla Luna dove l'accelerazione di gravità è $1/6$ di quella sulla Terra. Il periodo di oscillazione vale:
- A 3,7 s C 0,7 s
 - B 4,2 s D 9,5 s
- 17** In un moto parabolico:
- A la componente verticale della velocità è massima nel punto più alto della traiettoria.
 - B la componente verticale della velocità diminuisce durante la salita.
 - C la componente orizzontale della velocità è nulla nel punto di massima altezza.
 - D le componenti orizzontale e verticale della velocità hanno lo stesso valore nel punto di massima altezza.
- 18** Nello studio della condizione di equilibrio di un corpo su un piano inclinato quante grandezze indipendenti fra loro entrano in gioco?
- A Due: una forza e una lunghezza.
 - B Tre: una forza e due lunghezze.
 - C Quattro: due forze e due lunghezze.
 - D Cinque: due forze e tre lunghezze.
- 19** Se la risultante delle forze applicate a un corpo rigido è nulla, ma non è nullo il loro momento, l'oggetto:
- A ruota, ma non trasla.
 - B trasla, ma non ruota.
 - C non trasla, né ruota.
 - D trasla e ruota.
- 20** Un treno viaggia in curva con velocità \vec{v} sottoposto a una forza centripeta F_c . A un certo punto, riduce di $1/3$ la sua velocità. Qual è il nuovo valore della forza centripeta?
- A $F_c/3$. C $9 F_c$.
 - B $3 F_c$. D $F_c/9$.
- 21** Una pallina, legata a un filo, è mantenuta in rotazione a velocità di intensità costante su un tavolo. Quando il filo si spezza (più di una risposta è giusta):
- A la pallina si allontana descrivendo un arco di parabola.
 - B la pallina si ferma.
 - C la pallina prosegue il suo moto lungo una linea retta tangente alla circonferenza percorsa.
 - D la traiettoria dipende dalla posizione assunta dalla pallina all'istante in cui il filo si spezza.

- 22** A block of base 10 cm \times 10 cm and height 15 cm is kept on an inclined plane. The coefficient of friction between them is $\sqrt{3}$. The inclination θ of this inclined plane from the horizontal plane is gradually increased from 0° . Then:
- A at $\theta = 30^\circ$, the block will start sliding down the plane.
 - B the block will remain at rest on the plane up to certain θ and then it will topple.
 - C at $\theta = 60^\circ$, the block will start sliding down the plane and continue to do so at higher angles.
 - D at $\theta = 60^\circ$, the block will start sliding down the plane and on further increasing θ , it will topple at certain θ .

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2009

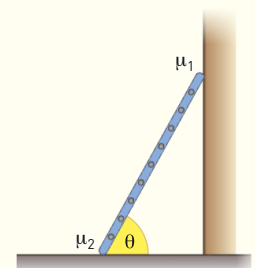
- 23** A ball of mass $m=0.5$ kg is attached to the end of a string having length $L=0.5$ m. The ball is rotated on a horizontal circular path about vertical axis. The maximum tension that string can bear is 324 N. The maximum possible value of angular velocity of ball (in rad/s) is:



- A 9 C 27
- B 18 D 36

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2011

- 24** In the figure, a ladder of mass m is shown leaning against a wall. It is in static equilibrium making an angle θ with the horizontal floor. The coefficient of friction between the wall and the ladder is μ_1 and that between the floor and the ladder is μ_2 . The normal reaction of the wall on the ladder is N_1 and that of the floor is N_2 . If the ladder is about to slip, then:



- A $\mu_1 = 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_2 \tan \theta = mg/2$
- B $\mu_1 \neq 0, \mu_2 = 0$ and $N_1 \tan \theta = mg/2$
- C $\mu_1 \neq 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_2 = mg/(1 + \mu_1 \mu_2)$
- D $\mu_1 = 0, \mu_2 \neq 0$ and $N_1 \tan \theta = mg/2$

Joint Entrance Examination for Indian Institutes of Technology (Advanced) - 2014

13

LA TEMPERATURA E IL CALORE

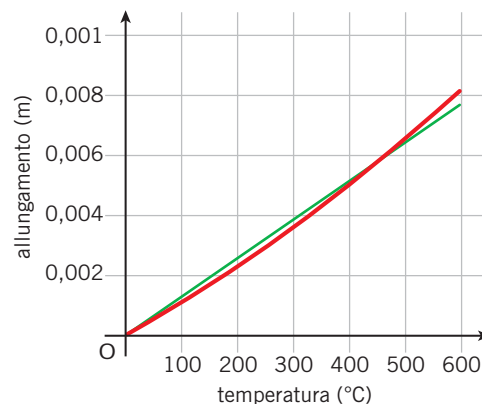
2. LA DILATAZIONE LINEARE DEI SOLIDI

La formula di dilatazione lineare è approssimata

La legge di dilatazione lineare è valida con buona approssimazione e in un ampio intervallo di temperature, ma non è perfettamente in accordo con i dati sperimentali. In effetti si tratta di una *legge fenomenologica*, come la legge della forza di Hooke o quella che fornisce la forza di attrito radente.

Una **legge fenomenologica** è una regolarità della natura molto utile per le applicazioni pratiche, ma che vale comunque in modo approssimato e in un ambito di fenomeni piuttosto ristretto.

Nella **figura** è rappresentato l'allungamento reale di una sbarra d'acciaio che, a 0 °C, misura un metro esatto e che è riscaldata fino a 600 °C. Come si vede, il comportamento sperimentale (linea rossa) segue bene, ma non perfettamente, un allungamento rettilineo (linea verde).



Ciò si può esprimere dicendo che il coefficiente di dilatazione lineare non è costante, ma varia leggermente con la temperatura.

3. LA DILATAZIONE VOLUMICA DEI SOLIDI E DEI LIQUIDI

Dimostrazione della dilatazione volumica dei solidi

Consideriamo un parallelepipedo omogeneo i cui spigoli, alla temperatura iniziale, misurano a_i , b_i e c_i . In tali condizioni, il volume del parallelepipedo è $V_i = a_i b_i c_i$. Con una variazione di temperatura Δt le lunghezze dei tre spigoli diventano:

$$a = a_i(1 + \lambda\Delta t), \quad b = b_i(1 + \lambda\Delta t), \quad c = c_i(1 + \lambda\Delta t),$$

dove c_i è il coefficiente di dilatazione lineare del materiale di cui il parallelepipedo è composto.

Calcoliamo ora il volume V finale del parallelepipedo; otteniamo:

$$\begin{aligned} V &= abc = a_i(1 + \lambda\Delta t) \cdot b_i(1 + \lambda\Delta t) \cdot c_i(1 + \lambda\Delta t) = \\ &= a_i b_i c_i (1 + \lambda\Delta t)^3 = V_i (1 + \lambda\Delta t)^3. \end{aligned}$$

Sviluppando il cubo del binomio troviamo

$$V = V_i [1 + 3\lambda\Delta t + 3(\lambda\Delta t)^2 + (\lambda\Delta t)^3].$$

Questa formula può essere semplificata. In effetti, in tutte le situazioni pratiche il numero $\lambda\Delta t$ è piuttosto piccolo. Ciò significa che i due termini $(\lambda\Delta t)^3$ e $(\lambda\Delta t)^2$ sono ancora più piccoli e, quindi, possono essere trascurati.

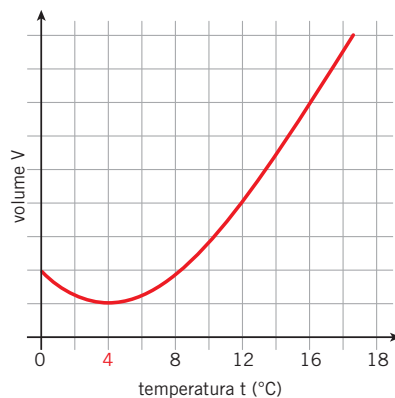
In conclusione, la legge che descrive con buona approssimazione la dilatazione di un solido è

$$V = V_0(1 + 3\lambda\Delta t),$$

che si riduce alla formula (5) se si pone $\alpha = 3\lambda$.

Il comportamento anomalo dell'acqua

L'acqua si comporta in modo diverso dagli altri liquidi ([figura](#)).

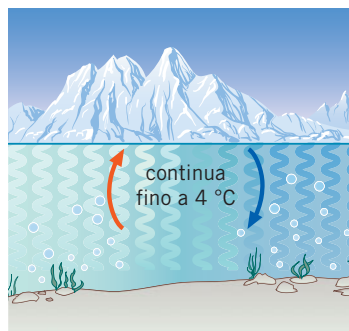


Da 0 °C (quando il ghiaccio si scioglie) a 4 °C il suo volume, invece di aumentare, diminuisce. Dopo i 4 °C il volume aumenta in modo regolare.

Questo comportamento anomalo spiega perché d'inverno i laghi gelano soltanto in superficie, mentre al di sotto l'acqua rimane liquida. Così i pesci riescono a sopravvivere anche in climi molto rigidi.

Capiamo il perché seguendo il grafico all'indietro, da destra a sinistra. Quando la temperatura esterna si abbassa, l'acqua che si trova in superficie comincia a raffreddarsi.

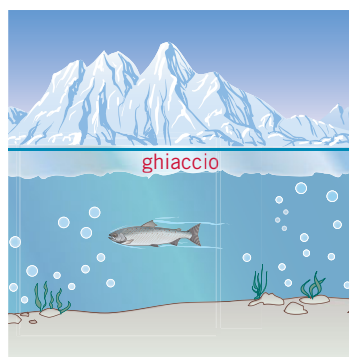
- Il volume dello strato superficiale diminuisce e la sua densità aumenta: l'acqua sopra diventa più densa dell'acqua sotto.
- Per la *legge di Archimede* lo strato superficiale più denso scende verso il fondo. Al suo posto sale dal basso l'acqua più calda (meno densa).
- In questo modo la temperatura dell'acqua diminuisce e il processo continua fino a quando tutta l'acqua raggiunge la temperatura di 4 °C (**figura**).



A causa dell'aria fredda, la temperatura dello strato in superficie continua a diminuire.

- Ora, però, il volume dello strato superficiale aumenta e la sua densità diminuisce: l'acqua sopra diventa meno densa dell'acqua sotto.
- Per la legge di Archimede lo strato superficiale meno denso non può scendere e rimane in superficie, dove continua a raffreddarsi, fino a che diventa ghiaccio.

Poiché da 4 °C a 0 °C l'acqua, invece di contrarsi, si dilata si crea nei laghi uno strato di ghiaccio che protegge la vita della fauna e della flora acquatica (**figura**).



8. IL CALORE SOLARE E L'EFFETTO SERRA

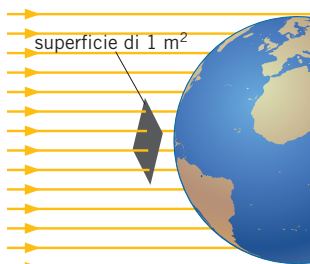
Grazie all'irraggiamento, l'energia emessa dal Sole (che ha una temperatura superficiale di circa 6000 K) giunge fino alla Terra sotto forma di onde elettromagnetiche.

Su una superficie di 1 m², disposta perpendicolarmente ai raggi del Sole appena fuori dall'atmosfera, arriva in ogni secondo un'energia di 1350 J (**figura**). Ciò equivale a dire che:

l'intensità della radiazione solare è pari a $1350 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$. Questo valore si chiama **costante solare**.



Il calore solare e l'effetto serra



Della radiazione che proviene dal Sole, il 40% è assorbito o riflesso dalle nubi, il 15% è assorbito dall'aria e il rimanente 45% giunge a terra (figura).

L'energia che arriva a terra serve per riscaldare la crosta terrestre, per fare evaporare le acque, per mantenere i venti e le correnti, per fare crescere i vegetali.

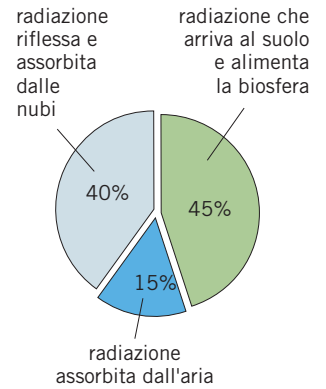
Questa energia che ogni secondo investe la Terra tenderebbe a riscaldarla. Ma la Terra emette verso lo spazio cosmico la stessa quantità di energia che assorbe. Essa rimane, così, in *equilibrio termico*.

Se non ci fosse l'atmosfera, la temperatura media della Terra sarebbe di circa -20 °C. Invece, la temperatura media dell'atmosfera vale circa 14 °C. La *temperatura media della Terra* è misurata registrando, durante tutto l'anno, la temperatura indicata in un grande numero di stazioni poste in tutto il mondo, sia sulla terraferma sia a bordo di navi che misurano la temperatura dell'acqua oceanica.

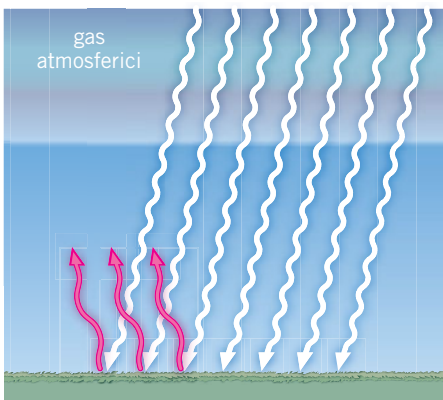
Sulla base di questi dati si ottiene una valutazione globale, che tiene anche conto della maggiore o minore densità di stazioni di rilevazione nelle varie parti del mondo e del fatto che, con lo sviluppo delle città, molte stazioni che si trovavano in zone poco abitate oggi sono oggi all'interno di centri abitati.

A causa di questi effetti, le temperature oceaniche (che non risentono dei mutamenti del paesaggio) sono particolarmente significative.

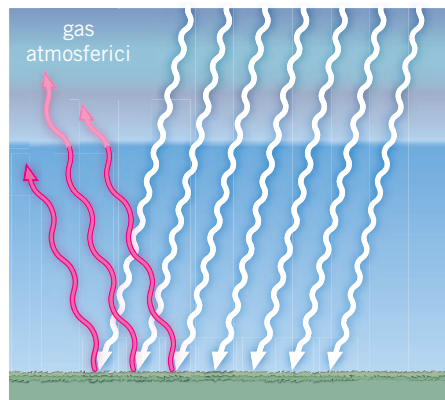
La temperatura media della Terra è decisamente maggiore del valore di -20 °C che si avrebbe in assenza di atmosfera grazie alla presenza di diversi gas, quali il vapore acqueo e l'anidride carbonica, che sono detti *gas serra*.



A I gas serra sono trasparenti alla radiazione proveniente dal Sole, che raggiunge così il suolo terrestre, è assorbita da esso e viene in parte riemessa come radiazione infrarossa.



B Però l'energia trasportata dalla radiazione infrarossa non può disperdersi nello spazio perché è assorbita dai gas serra. Ciò provoca un riscaldamento dell'atmosfera.



Si chiama **effetto serra** il riscaldamento dell'atmosfera dovuto all'assorbimento di energia da parte dell'anidride carbonica e degli altri gas serra.

Senza l'effetto serra sulla Terra non vi sarebbe la vita come la conosciamo.

Negli ultimi secoli la concentrazione dei gas serra nell'atmosfera è aumentata a causa di attività umane, quali l'utilizzo di combustibili fossili (petrolio, metano, carbone...) e la deforestazione, che ha diminuito l'assorbimento di CO₂ da parte delle piante. Tutto ciò ha portato negli ultimi quarant'anni a un aumento della temperatura media terrestre stimato tra 0,3 °C e 0,6 °C.

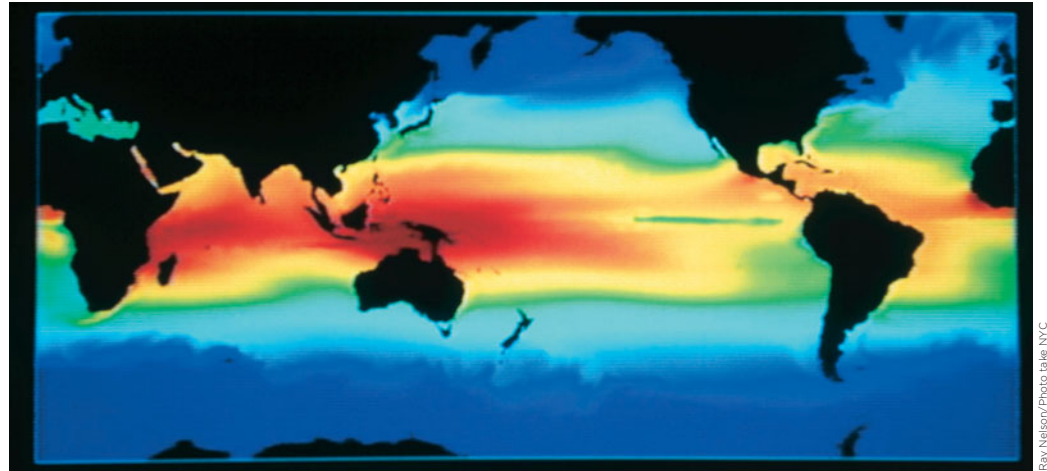
A fronte dell'ulteriore aumento previsto della concentrazione dei gas serra nell'atmosfera, diversi gruppi di scienziati hanno elaborato modelli meteorologici e climatici mol-

CONCENTRAZIONE DI CO₂

Prima dell'era industriale la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera era di 280 parti per milione (ppm). Nel 2010 era arrivata a 390 ppm.

to dettagliati, che sono oggi alla base di programmi di simulazione che sono eseguiti dai più potenti calcolatori.

Questi modelli sono basati sulle migliori conoscenze della fisica dell'atmosfera e tengono conto degli scambi di energia tra la crosta terrestre, le masse d'aria e gli oceani. Contengono inoltre la descrizione della forma e dell'estensione delle terre emerse, inclusa la presenza di catene montuose. Così è possibile stimare la variazione di temperatura da zona a zona e nel tempo. Per esempio, nell'**immagine**, elaborata al computer, è possibile vedere quali sono le zone calde (in rosso) e più fredde (in blu) del nostro pianeta.



Secondo questi modelli, in assenza di correzione alle attività umane che producono gas serra, entro il 2100 la concentrazione di CO₂ arriverà a 500 parti per milione e possiamo aspettarci un aumento della temperatura media terrestre compreso tra 1,1 °C e 6,4 °C. Ciò causerebbe un aumento del livello degli oceani compreso tra 18 cm e 59 cm. Per evitare che ciò accada occorre quindi diminuire le emissioni di anidride carbonica, limitare la deforestazione e diminuire l'utilizzo di combustibili fossili, privilegiando le fonti di energia che non producono anidride carbonica e che sono: energia idroelettrica, nucleare, solare, eolica ecc.

ESERCIZI

2. LA DILATAZIONE LINEARE DEI SOLIDI

ESERCIZI NUMERICI

17 ★★★ Una barra di rame è lunga 5,50 m alla temperatura di 20,0 °C. La barra viene messa in una fornace e si allunga di 3,50 cm.

- ▶ Calcola la temperatura della fornace.

[394 °C]

18 ★★★ Una barra di zinco si trova in un ambiente alla temperatura di 20 °C. Successivamente, viene messa in una fornace alla temperatura di 100 °C. Nella fornace, la sua lunghezza è pari a 257 cm.

- ▶ Quanto era lunga la barra prima di essere messa nella fornace?

[256 cm]

3. LA DILATAZIONE VOLUMICA DEI SOLIDI E DEI LIQUIDI

ESERCIZI NUMERICI

24 ★★★ Una bottiglia che contiene glicerina ($\alpha = 0,53 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$) si trova alla temperatura di 12,0 °C. Poi viene riscaldata e durante la fase di riscaldamento il volume della glicerina passa da 1,77 L a 1,88 L.

- ▶ Calcola la temperatura finale raggiunta.

[$1,3 \times 10^2 \text{ } ^\circ\text{C}$]

25 ★★★ Vogliamo far aumentare del 10% il volume di una certa quantità di etanolo ($\alpha = 1,12 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$).

- ▶ Calcola di quanto dobbiamo aumentare la sua temperatura.

[89 K]

26 ★★★ Una sfera d'argento, alla temperatura di 20,00 °C, ha un volume di 1,500 dm³. Aumentando la sua temperatura di 400,0 K, il volume della sfera diventa 1,534 dm³.

- ▶ Calcola il coefficiente di dilatazione volumica dell'argento.
- ▶ Calcola il coefficiente di dilatazione lineare dell'argento.

[$5,667 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}; 1,889 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$]

4. CALORE E LAVORO

DOMANDE SUI CONCETTI

29 Hai appena messo una bottiglia piena d'acqua a temperatura ambiente in frigorifero. In quale direzione avviene lo scambio di calore tra acqua e frigorifero?

30 Perché il cerchione di una bicicletta si riscalda durante una frenata?

ESERCIZI NUMERICI

31 ★★★ In un mulinello di Joule, quando entrambi i pesi si abbassano di 1,00 m, la temperatura di 1,00 kg di acqua aumenta di 1,00 K.

- ▶ Qual è la massa di ciascuno dei due pesi?

[214 kg]

6. CAPACITÀ TERMICA E CALORE SPECIFICO

ESERCIZI NUMERICI

46 ★★★ Un serbatoio cilindrico di raggio pari a 2,0 m e alto 12 m è riempito per 2/3 di acqua. (Puoi trascurare gli scambi di calore con l'esterno).

- ▶ Calcola la capacità termica dell'acqua contenuta nel serbatoio.
- ▶ Qual è la quantità di calore necessaria per scaldare di 15 °C l'acqua del serbatoio?

[$4,2 \times 10^8 \text{ J/K}; 6,3 \times 10^9 \text{ J}$]

47 ★★★ Una pentola che contiene 3,0 L d'acqua è posta su un fornello che le trasmette 800 J al secondo.

- ▶ Quanto tempo serve per scaldare l'acqua di 20 °C?

[$3,1 \times 10^2 \text{ s}$]

48 ★★★ Un cilindro di ferro a 150 °C viene immerso in una vasca piena d'acqua. Il cilindro ha diametro 40 mm e altezza 80 mm, e la temperatura di equilibrio è di 20 °C. La densità del ferro è 7870 kg/m³.

- ▶ Calcola la capacità termica del cilindro di ferro.
- ▶ Calcola la quantità di calore ceduta all'acqua dal cilindro.

[$3,6 \times 10^2 \text{ J/K}; 4,7 \times 10^4 \text{ J}$]

7. IL CALORIMETRO

ESERCIZI NUMERICI

57 Un blocco di 12,0 kg di alluminio alla temperatura di 420 K viene immerso in una vasca che contiene 30,0 L di acqua alla temperatura di 303 K.

- Determina la temperatura di equilibrio raggiunta dall'alluminio e dall'acqua. Trascura ogni forma di dispersione termica.

[312 K]

9. I PASSAGGI TRA STATI DI AGGREGAZIONE

ESERCIZI NUMERICI

71 Dell'alcol etilico inizialmente a 22 °C viene riscaldato fornendogli calore alla potenza costante di 1,75 kW. L'alcol giunge a ebollizione dopo 7 min 20 s. Il calore specifico dell'alcol etilico è 0,581 cal/(g·K).

- Calcola la massa d'alcol.
- Continuando a fornire la stessa quantità di calore, quanto tempo impiega l'alcol a evaporare completamente?

[5,7 kg; 46 min]

PROBLEMI GENERALI



11 PROBLEMA SVOLTO

Efficienze a confronto

Vuoi confrontare l'efficienza di un fornello elettrico con quella di un bollitore elettrico nel portare a ebollizione 2,0 L d'acqua inizialmente a 20 °C. L'efficienza di conversione energetica è definita dal rapporto tra l'energia termica assorbita dall'acqua e l'energia elettrica utilizzata dall'apparecchio. Il fornello consuma 2,0 kW e impiega 10 min a portare l'acqua a bollore; il bollitore consuma 3,0 kW e impiega 4 min 10 s.

- Calcola l'efficienza del fornello e quella del bollitore. Esprimi i risultati in percentuale.



DATI E INCOGNITE

	GRANDEZZE	SIMBOLI	VALORI	COMMENTI
DATI	Massa dell'acqua	m	2,0 kg	Equivalente a 2,0 L d'acqua
	Differenza di temperatura	ΔT	80 K	Da 20 °C a 100 °C
	Potenza del fornello	P_f	2,0 kW	
	Tempo impiegato dal fornello	Δt_f	600 s	10 min
	Potenza del bollitore	P_b	3,0 kW	
	Tempo impiegato dal bollitore	Δt_b	250 s	4 min 10 s
INCOGNITE	Efficienza del fornello	η_f	?	
	Efficienza del bollitore	η_b	?	

RAGIONAMENTO

- L'energia termica assorbita dall'acqua per passare da 20 °C a 100 °C (ebollizione) si ricava da: $Q = c m \Delta T$.
- L'energia elettrica consumata da ciascun apparecchio per portare l'acqua a ebollizione si ricava dalla potenza, definita da $P = \Delta E / \Delta t$. Perciò $\Delta E = P \Delta t$.
- L'efficienza è definita dal rapporto tra l'energia termica assorbita dall'acqua e l'energia elettrica utilizzata dall'apparecchio: $\eta = Q / \Delta E$.

RISOLUZIONE

Calcoliamo la quantità di calore assorbita dall'acqua: $Q = cmT = (4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \times (2,0 \text{ kg}) \times (80 \text{ K}) = 670 \text{ kJ}$.

L'energia elettrica consumata dai due apparecchi è data da:

$$E_f = P_f t_f = (2,0 \text{ kW}) \times (600 \text{ s}) = 1200 \text{ kJ};$$

$$E_b = P_b t_b = (3,0 \text{ kW}) \times (250 \text{ s}) = 750 \text{ kJ}.$$

L'efficienza di conversione risulta quindi:

$$\eta_f = \frac{Q}{E_f} = 0,56 = 56\%; \quad \eta_b = \frac{Q}{E_b} = 0,89 = 89\%.$$

CONTROLLO DEL RISULTATO:

Il bollitore è più efficiente del fornello nel convertire l'energia elettrica in energia termica, quindi consuma meno energia elettrica del fornello per far bollire la stessa quantità d'acqua, anche se la potenza richiesta è maggiore.

Il bollitore elettrico funziona con un resistore immerso nell'acqua, riducendo così la dispersione di calore che, nel caso del fornello, si trasferisce anche alla pentola e all'aria circostante.

**12 TECNOLOGIA Il pannello solare**

Il pannello solare è un dispositivo che converte la radiazione solare in energia termica scaldando dell'acqua, che viene successivamente utilizzata per il riscaldamento domestico. Un pannello ha un'efficienza di conversione del 45%; l'acqua entra con una temperatura di 18 °C ed esce a 52 °C. Considera una giornata in cui la potenza media della radiazione solare incidente sia 180 W/m².

- ▶ Quanti metri quadrati di pannello servono per fornire 120 L d'acqua calda in una giornata?

Suggerimento: Il pannello solare assorbe un'energia E_{sol} , pari alla potenza media solare moltiplicata per la superficie da trovare per il tempo, cioè un giorno. Di questa energia, solo il 45% viene usata per riscaldare l'acqua.

[2,4 m²]**13 TECNOLOGIA Il pannello fotovoltaico**

Un prototipo di argano a energia solare è fornito di un pannello fotovoltaico che copre una superficie quadrata di lato 20 cm. Il pannello fotovoltaico converte la radiazione solare in energia elettrica; l'energia elettrica aziona un motore che solleva un oggetto di massa 1,0 kg. L'efficienza η del pannello è del 15%, mentre il motore trasforma in energia meccanica tutta l'energia elettrica da cui è alimentato.



Shawn Hempel/Shutterstock

- ▶ Calcola il tempo necessario a sollevare il corpo di 2,5 m. Assumi una potenza solare di 1000 W/m² (condizioni di forte illuminazione).
- ▶ Quanto tempo serve se l'illuminazione scende a 100 W/m²?

Suggerimento: La potenza fornita dal pannello è data dalla potenza solare moltiplicata per la superficie del pannello e per l'efficienza. L'energia corrispondente è uguale all'energia potenziale gravitazionale del corpo.

[4,1 s; 41 s]

**14 CUCINA Cucina con l'energia del Sole**

Una cucina solare è composta di uno specchio parabolico di diametro 1,00 m che concentra i raggi solari su una pentola posta sul fuoco della parabola. La pentola contiene 3 L d'acqua a 30 °C, e la potenza della radiazione solare è di 1000 W/m².

- ▶ Quanto tempo impiega l'acqua per giungere a bollore? Assumi che tutta l'energia del sole incidente sullo specchio venga assorbita dall'acqua.

Suggerimento: Puoi calcolare l'energia assorbita dall'acqua per passare da 30 °C a 100 °C come $E = c_{acqua} mT$. Dall'energia assorbita dall'acqua e dalla potenza della radiazione solare moltiplicata per la superficie πr^2 dello specchio, puoi ricavare il tempo impiegato a far bollire l'acqua.)

[1,1 × 10³ s]**15 LA FISICA DEL CITTADINO Lavorare sotto il Sole****Domanda 1:**

Pietro sta facendo lavori di riparazione a una vecchia casa. Egli ha lasciato una bottiglia d'acqua, alcuni chiodi di metallo e un'asse di legno dentro il bagagliaio della sua auto. Dopo che l'auto è rimasta sotto il sole per tre ore, la temperatura interna dell'auto raggiunge circa i 40 °C.

► Che cosa succede agli oggetti nell'auto? Fai un cerchio intorno a «Sì» o a «No» per ciascuna delle affermazioni proposte.

COSA SUCCEDDE ALL'OGGETTO/AGLI OGGETTI?	SÌ O NO?
Tutti gli oggetti hanno la stessa temperatura.	Sì / No
Dopo un po' di tempo l'acqua comincia a bollire.	Sì / No
Dopo un po' di tempo i chiodi di metallo cominciano a diventare incandescenti.	Sì / No
La temperatura dei chiodi di metallo è più alta di quella dell'acqua.	Sì / No

Domanda 2:

Per bere durante la giornata, Pietro ha a disposizione una tazza di caffè caldo, a una temperatura di circa 90 °C, e una tazza di acqua minerale fredda ad una temperatura di circa 5 °C. Le tazze sono dello stesso materiale e della stessa dimensione e il volume delle bevande è lo stesso. Pietro lascia le tazze appoggiate in una stanza, dove la temperatura è di circa 20 °C.

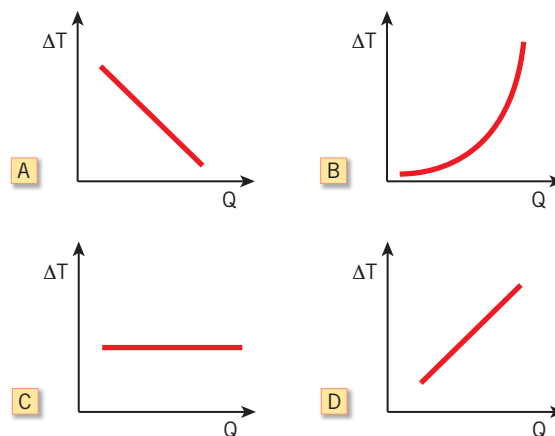
► Quali saranno con ogni probabilità le temperature del caffè e dell'acqua minerale dopo 10 minuti?

- a. 70 °C e 10 °C
- b. 90 °C e 5 °C
- c. 70 °C e 25 °C
- d. 20 °C e 20 °C

Tratto da prove PISA (Project for International Student Assessment), anno 2006.

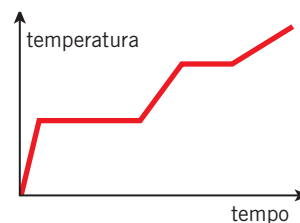
GIOCHI DI ANACLETO

14 Un pezzo di ferro che si trova alla temperatura di 100 °C viene introdotto in un calorimetro che contiene 1 kg d'acqua alla temperatura di 35,0 °C. Dopo abbastanza tempo, raggiunto l'equilibrio termico, ferro ed acqua hanno una temperatura di 41 °C. Il calorimetro si può considerare perfettamente isolato. Quale tra i seguenti grafici meglio rappresenta la relazione tra la variazione di temperatura dell'acqua, ΔT , e il calore Q , trasmesso dal ferro durante il suo raffreddamento?



(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2007)

15 Il grafico rappresenta l'andamento della temperatura di un campione di sostanza, inizialmente allo stato solido, mentre viene riscaldato da un fornello che fornisce calore a ritmo costante. Nel grafico non è riportata la scala numerica però, osservandone l'andamento, è possibile trarre alcune conclusioni sulle proprietà termiche di quella sostanza. Nella tabella che segue sono riportati i valori di calori specifici e calori latenti per alcune sostanze: quale riga potrebbe corrispondere alla sostanza a cui si riferisce il grafico?



	CALORE SPECIFICO DEL SOLIDO Cal/(g · °C)	CALORE SPECIFICO DEL LIQUIDO Cal/(g · °C)	CALORE SPECIFICO DEL GAS Cal/(g · °C)	CALORE LATENTE DI FUSIONE Cal/g	CALORE LATENTE DI VAPORIZZAZIONE Cal/g
A	0,7	0,7	0,7	40	40
B	0,8	0,4	0,2	70	35
C	0,5	1,0	0,5	80	160
D	0,2	0,4	0,8	70	35

(Tratto dai Giochi di Anacleto, anno 2005)

16 Nella tabella sono riportate le temperature di fusione e di ebollizione delle sostanze A, B, C, D in condizioni normali di pressione.

► Quale sostanza può essere liquida a 20 °C?

SOSTANZA	TEMPERATURA DI FUSIONE (°C)	TEMPERATURA DI EBOLLIZIONE (°C)
A	-142	-78
B	-66	42
C	-95	4
D	90	189

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2006)

17 Per raffreddare una bibita si può aggiungere 10 g d'acqua a 0 °C o 10 g di ghiaccio a 0 °C. Quale metodo è preferibile?

- È preferibile aggiungere il ghiaccio perché fonde lentamente e la bibita rimane fresca più a lungo.
- È preferibile aggiungere il ghiaccio perché la fusione del ghiaccio assorbe energia.
- È preferibile aggiungere il ghiaccio perché rimane in superficie e riduce il riscaldamento dovuto al contatto con l'aria.
- I due metodi sono equivalenti.

(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2000)