

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.

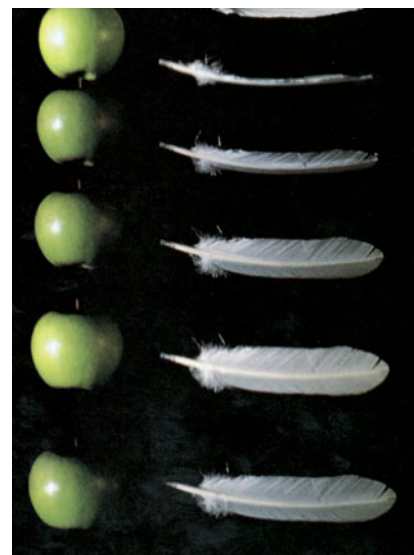
L'ipotesi di Galileo è stata così verificata da moltissimi altri esperimenti di precisione, effettuati non soltanto sulla Terra ma anche sulla Luna.

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 Koch/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)
istante di tempo (s)
accelerazione (m/s²)

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.

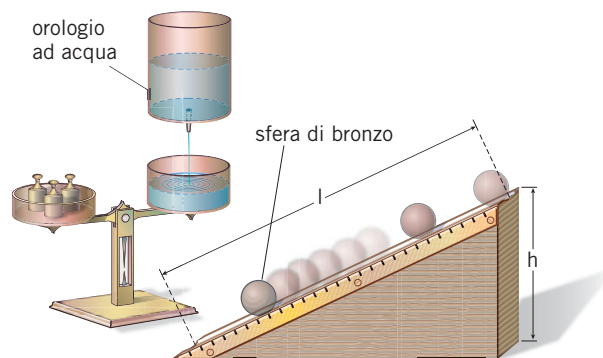
La caduta libera come caso limite del piano inclinato

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.

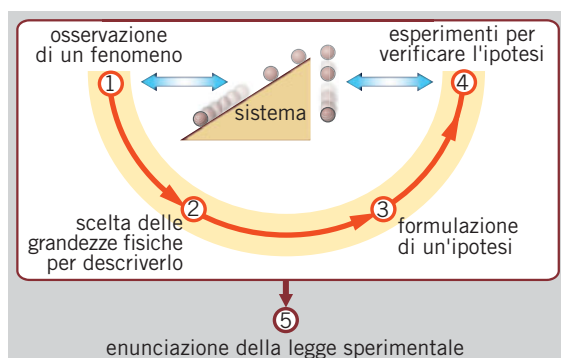
Scelta delle grandezze fisiche per descriverlo: lunghezza, tempo, velocità, accelerazione.

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 mecanici, 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).

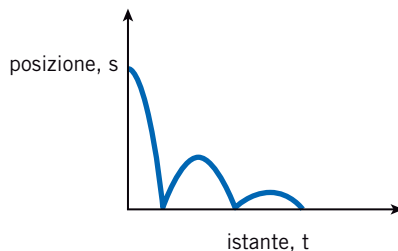
In esso egli afferma che questo è il metodo corretto delle scienze che utilizzano le dimostrazioni matematiche, così come fanno gli studiosi della prospettiva (*perspettivi*), gli astronomi, gli ingegneri (*mecanici*), i *musicisti* e altri che, con gli esperimenti (*sensate esperienze*) confermano i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

ESERCIZI

1. IL MOTO VARIO SU UNA RETTA

DOMANDE SUI CONCETTI

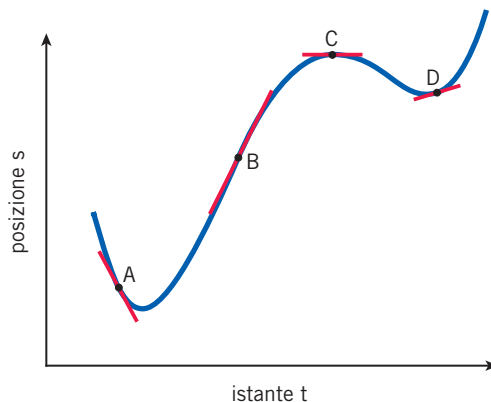
- 3** Che tipo di moto compie una palla calciata verso l'alto?
- 4** Descrivi a parole il moto vario rappresentato nel grafico spazio-tempo riportato nella figura.



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.

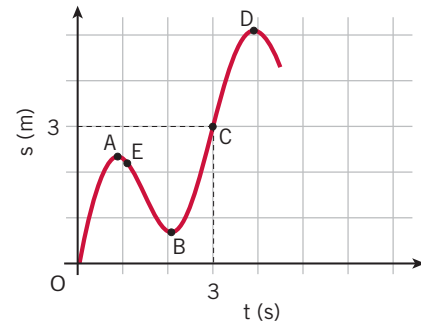


- Ordina, in senso crescente, le velocità istantanee v_A , v_B , v_C , v_D , nei 4 punti del grafico.

- 7** Disegna il grafico spazio-tempo di un'auto che si muove in avanti con velocità istantanea crescente.

ESERCIZI NUMERICI

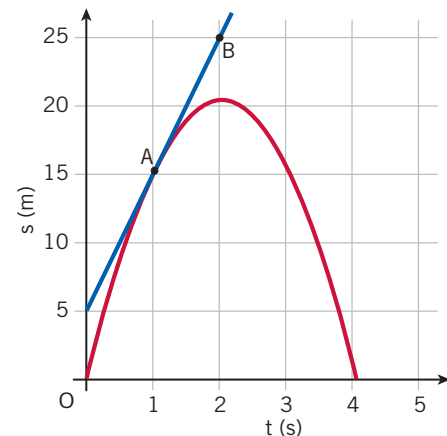
- 13** La figura rappresenta il grafico spazio-tempo di un moto vario.



- 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.

	$t(\text{s})$	$v(\text{km/h})$
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.

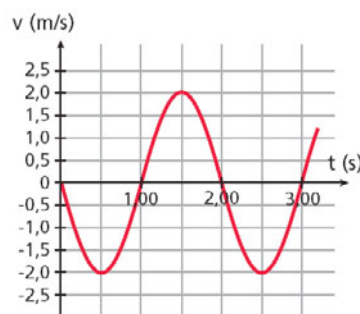
$t(\text{s})$	$v(\text{km/h})$
0	0
10	100,8
20	129,6
25	129,6
40	36,0

- 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.

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

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?



$[0,50 \text{ s}, 1,50 \text{ s}, 2,50 \text{ s} \dots]$

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.

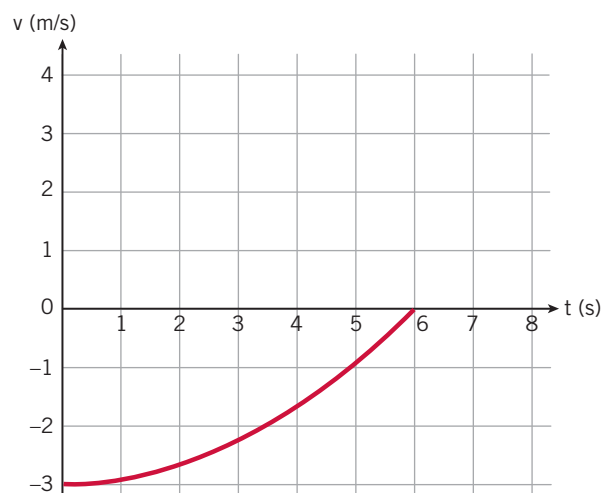
► Controlla i calcoli utilizzando due coppie di dati per ricavare l'accelerazione su Giove.

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

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

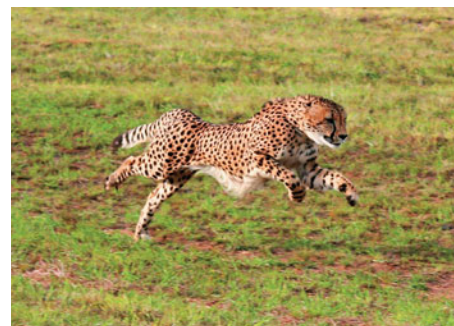
★★★

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 Bechthold/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]

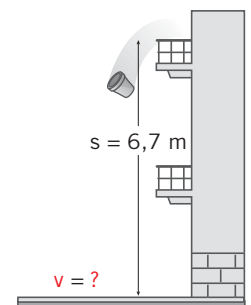
66 PROBLEMA SVOLTO

★★★

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

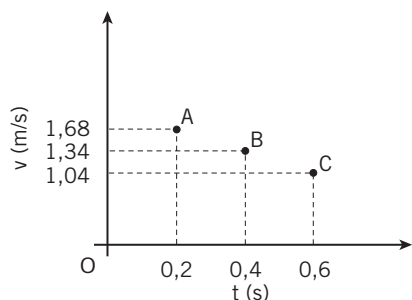
Una velocità di 12 m/s corrisponde a $(12 \times 3,6) \text{ km/h} = 43 \text{ km/h}$. Pertanto, quando si fa un incidente automobilistico alla velocità di 40 km/h, è come se si cadesse dal secondo piano.

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.

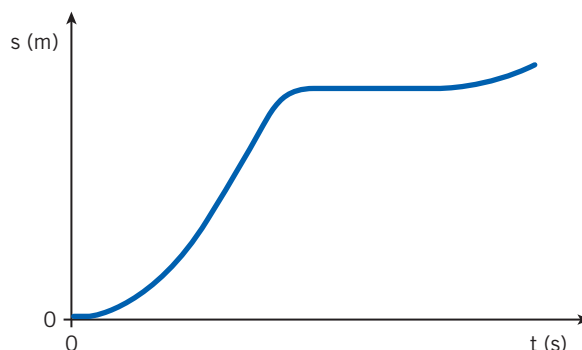
$$[2,3 \text{ m}; 0,60 \text{ m/s}; 1,6 \text{ m/s}^2]$$

9. ESEMPI DI GRAFICI VELOCITÀ-TEMPO

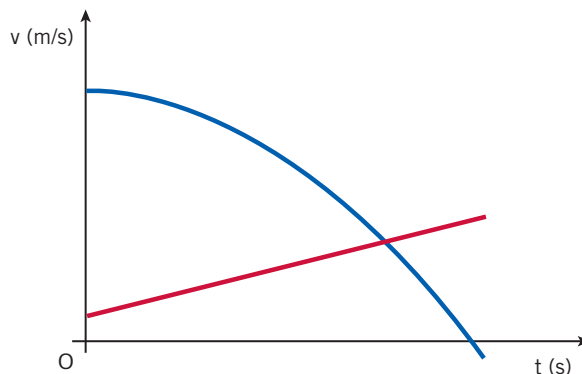
DOMANDE SUI CONCETTI

- 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.

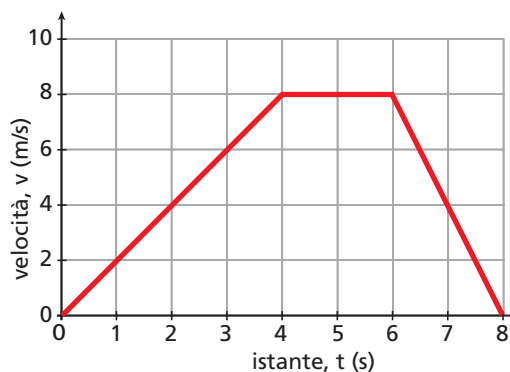


- 81** Una palla è lanciata verso l'alto.
- Nel suo grafico velocità-tempo a quale istante corrisponde la massima velocità?
- 82** Inventi un breve racconto di due veicoli o persone in movimento in accordo con i grafici spazio-tempo rappresentati nella figura.



ESERCIZI NUMERICI

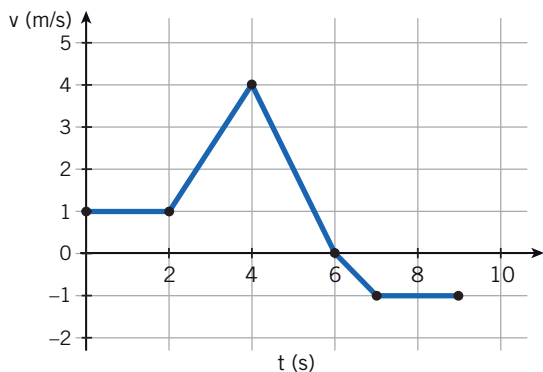
- 84** ★★★ Osserva il grafico velocità-tempo.



- 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.



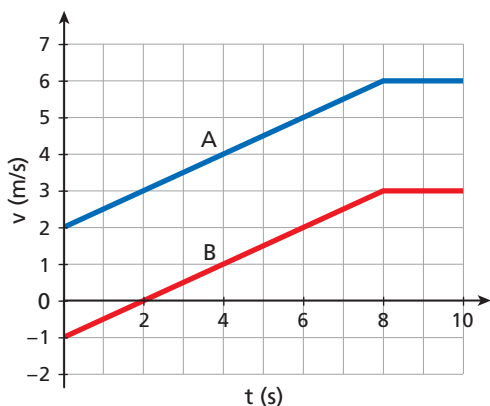
- Descrivi il moto nei vari intervalli di tempo.
- Calcola l'accelerazione nei vari tratti.
- Disegna il grafico accelerazione-tempo a partire dal grafico velocità-tempo.
- Descrivi il moto rappresentato dallo stesso grafico in un diagramma $s-t$, con la distanza s espressa in metri sull'asse delle ordinate.

[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]

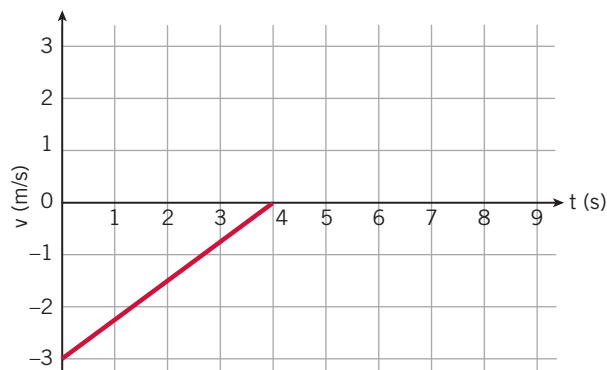
8 In una afosa giornata estiva vuoi lanciare una bottiglietta d'acqua a un amico che sta per passare sotto

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]

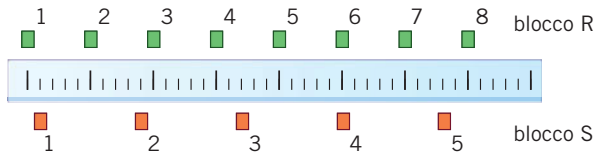
12 **FUORI DAGLI SCHEMI** Il moto di un aereo è descritto dalla legge $v(t) = b + ct^3$, in cui la velocità v è espressa in km/h.

- 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.

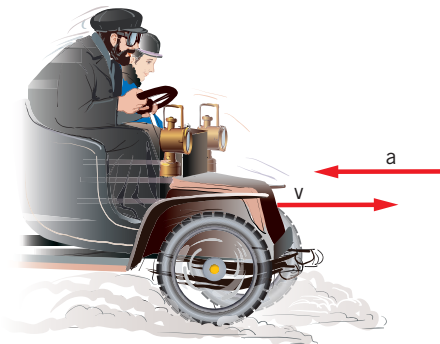


► Le accelerazioni dei due blocchi sono:

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 $4,4 \text{ m/s}^2$.

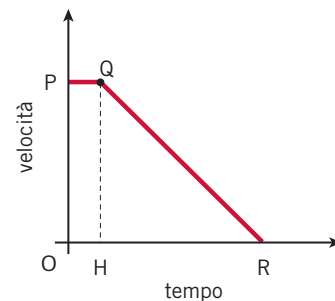


- Quanto tempo impiegherà l'auto a portarsi, rallentando, alla velocità di 4 m/s?
- 0,91 s.
 - 2,5 s.
 - 3,4 s.
 - 60 s.

(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.

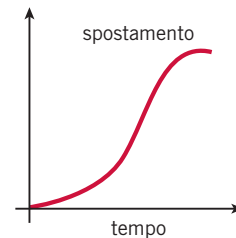


- Per trovare la distanza percorsa dalla bicicletta dal momento in cui è stato azionato il freno a quello in cui si è fermata si deve calcolare

- l'area del trapezio *PQRO*.
- l'area del triangolo *QRH*.
- il coefficiente angolare della retta *QR*.
- il coefficiente angolare della retta *PQ*.

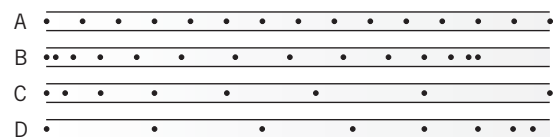
(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 2009)

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



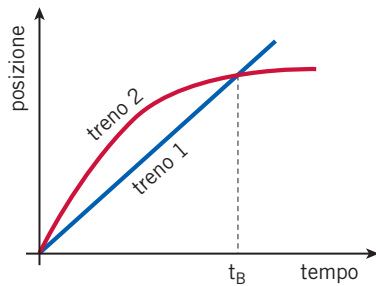
Le strisce rappresentano il tracciato dei punti di un marcatempo su un nastro con un'estremità unita all'oggetto. Il marcatempo segna, a intervalli di tempo uguali, un punto sul nastro che si srotola mentre l'oggetto si muove. In ognuno dei quattro casi mostrati il nastro è orientato in modo che il punto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

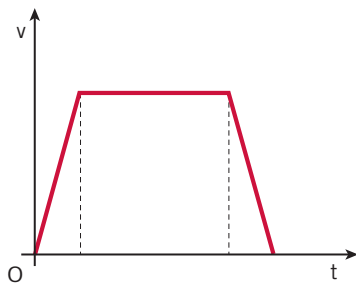
- 7** I grafici rappresentano le posizioni in funzione del tempo di due treni che corrono lungo binari paralleli.



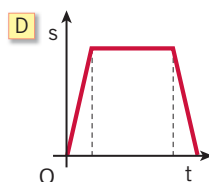
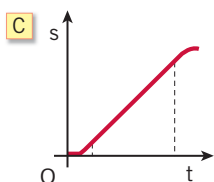
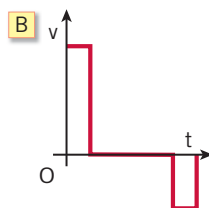
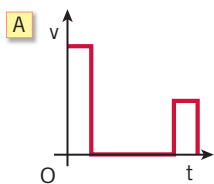
- Quale delle seguenti affermazioni è corretta?
- Nell'istante t_B i due treni hanno la stessa velocità.
 - La velocità di entrambi i treni aumenta sempre.
 - In un certo istante, prima di t_B , i due treni hanno la stessa velocità.
 - In qualche istante i due treni hanno la stessa accelerazione.

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

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

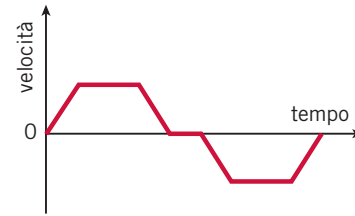


- Quale dei seguenti grafici rappresenta meglio l'andamento nel tempo della posizione del carrello sulla rotaia?

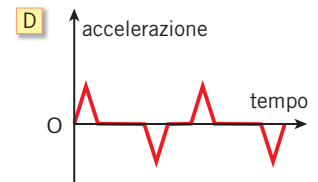
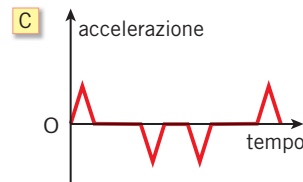
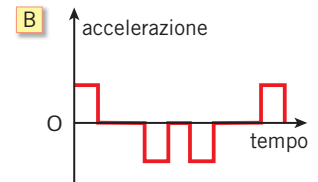
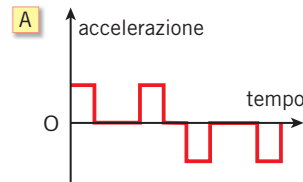


(Tratto dai *Giochi di Anacleto*, anno 1999)

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 *Giochi di Anacleto*, anno 1999)

- 9** Un ascensore sale dal piano terra all'ultimo piano