



↑ IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
Apertura capitolo	<p> ESPERIMENTI A CASA</p> <p>Da un urto all'altro Il comportamento di un pendolo di Newton può essere riprodotto usando un righello e alcune monete</p>	2
1. Il lavoro di una forza	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Lavoro motore e lavoro resistente Lavoro motore e lavoro resistente lungo un piano inclinato.</p>	1
2. La potenza	<p> ANIMAZIONE</p> <p>La potenza Un peso può essere sollevato a mano oppure con un argano o una gru. Che differenza c'è?</p>	1,5
3. L'energia cinetica	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Energia cinetica e lavoro Dal lavoro di una forza che tira una slitta si ricava l'energia cinetica.</p>	2
7. La conservazione dell'energia meccanica	<p> IN LABORATORIO</p> <p>L'energia meccanica di un pendolo Lasciando andare un pendolo, l'energia potenziale viene convertita interamente in energia cinetica quando il pendolo raggiunge il punto più basso.</p>	2
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Conservazione dell'energia meccanica Un corpo che colpisce una molla e rimbalza: come varia l'energia cinetica? E l'energia potenziale?</p>	1
	<p> ESPERIMENTO VIRTUALE</p> <p>La conservazione dell'energia Gioca, misura, esercitati</p>	
I concetti e le leggi	<p> IN 3 MINUTI</p> <p>• Il lavoro • La potenza • L'energia cinetica • Il teorema dell'energia cinetica • L'energia potenziale della forza-peso</p>	
Esercizi	<p> MAPPA INTERATTIVA</p> <p>20 TEST INTERATTIVI SU  CON FEEDBACK «Hai sbagliato, perché...»</p>	

↑ VERSO IL CLIL

 FORMULAE IN ENGLISH	 AUDIO
<p>Work – Goniometric formula</p> $W = Fs \cos \alpha$	<p>The goniometric expression for work is the product of the force, the displacement and the cosine of the angle between the direction of the force and the displacement.</p>
<p>Work</p> $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$	<p>Work done by a constant force equals the scalar product of the force and the displacement.</p>
<p>joule</p> $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$	<p>Unit of measure “joule”: one joule equals one kilogram multiplied by the square of metres per second.</p>

Power	$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta t}$	Power equals work done divided by the elapsed time, which in turn equals the amount of energy transformed in the elapsed time.
watt	1 W = 1 $\frac{\text{J}}{\text{s}}$	Unit of measure “watt”: one watt equals one joule per second.
Kinetic energy	$K = \frac{1}{2}mv^2$	Kinetic energy equals one-half of the product of mass and the square of velocity.
Kinetic energy theorem	$K_f = K_i + W$	Final kinetic energy equals the initial kinetic energy plus the work done on the body.
Gravitational potential energy	$U_g = mgh$	The gravitational potential energy of a body equals the product of its mass, the constant g , and the height of the body.
Elastic potential energy	$U_e = \frac{1}{2}k\Delta x^2$	Elastic potential energy equals the product of half the spring constant and the square of the distance from its un-stretched length.

QUESTIONS AND ANSWERS

AUDIO

► What is the work done by a force?

In physics, when a force acts on an object to cause a displacement the work done by the force on the object is the product of the component of the force that is parallel to the displacement and the displacement itself. Work is a scalar quantity measured in joules (SI).

► Explain negative work

When a force acts upon a moving object to hinder a displacement, such as a car skidding to a stop on a road surface or a footballer sliding to a stop on a football pitch, the force acts in the direction opposite to the objects motion in order to slow it down. *Negative work* refers to the numerical value that results when values of F , d and the angle are substituted into the work equation: the force vector is directly opposite the displacement vector so the angle is 180 degrees: cosine(180 degrees) is -1 and so a negative value results for the amount of work done on an object.

► Power is the rate at which work is performed or energy is transformed. Describe what forms of energy are transformed in a washing machine, a high-jumper and a jet engine.

A washing machine transforms electric energy into mechanical energy to spin the washing and into thermal energy to heat water. An athlete doing the high jump converts chemical energy through their muscles into horizontal and then vertical kinetic energy, which is transformed into gravitational potential energy, which is then converted back to kinetic energy on the descent. A jet engine converts the chemical energy stored in fuel into kinetic energy in the exhaust, producing thrust.

► What is meant by a conservative force? Give two examples of conservative forces.

In physics, a conservative force is any force whose work is determined only by the final displacement of the object acted upon and is independent of the path between the object's initial and final positions. Stored energy, or potential energy can only be defined in terms of conservative forces. The gravitational force between the Earth and another mass and the spring force, for which we only need to know the amount the spring is stretched or compressed from its equilibrium position to determine the work done by the spring on a body, are conservative forces.

► What are non-conservative forces? Give two examples of non-conservative forces.

It is not always the case that the work done by an external force is stored as some form of potential energy. A force is non-conservative if the work it does on an object moving between two points depends on the path of the motion between the points. Friction and air resistance are examples of non-conservative forces.

► State the principle of conservation of mechanical energy.

The principle states that the total mechanical energy, kinetic energy plus potential energy, of an object remains constant as the object moves, provided that the net work done by external non-conservative forces is zero.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

2 LA POTENZA

PROBLEMA MODELLO 2 CHE POTENZA QUELL'AEREO!

Le turbine di un aereo di linea che sta viaggiando a velocità costante sviluppano una potenza di 150 kW. Alla velocità a cui l'aereo si muove, la forza con cui l'aria si oppone al movimento dell'aereo è espressa dalla legge $F_a = Cv^2$ in cui v è la velocità dell'aereo e $C = 6,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$ è un coefficiente di attrito.

► Calcola la velocità dell'aereo.

■ DATI

Potenza: $P = 150 \text{ kW}$

Coefficiente di attrito: $C = 6,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}$

■ INCOGNITE

Velocità dell'aereo $v = ?$

L'IDEA

Poiché l'aereo vola a velocità costante, la somma delle forze applicate (la forza impressa dai motori e la forza di attrito dell'aria) è nulla.

LA SOLUZIONE

Dal secondo principio della dinamica deduco la forza impressa dai motori sull'aereo.

A velocità costante, la forza F sviluppata dai motori è uguale in modulo alla forza di attrito dell'aria F_a :

$$F = F_a = Cv^2.$$

Calcolo la velocità dell'aereo.

La potenza dei motori dell'aereo è $P = Fv = Cv^3$ per cui la velocità dell'aereo si ricava da:

$$v = \sqrt[3]{\frac{P}{C}} = \sqrt[3]{\frac{150 \times 10^3 \text{ W}}{6,1 \times 10^{-3} \text{ kg/m}}} = 2,9 \times 10^2 \text{ m/s}.$$

PER NON SBAGLIARE

A velocità sostenute, come quella dell'aereo, la forza di attrito viscoso dell'aria è direttamente proporzionale al quadrato della velocità.

Il coefficiente di attrito viscoso, a differenza di quello radente, non è un numero puro, ma ha una sua unità di misura.

28 ******* Un piccolo go-kart di massa 80,0 kg si muove alla velocità costante di 20 m/s lungo una salita di pendenza $\theta = 30^\circ$.

► Calcola la potenza sviluppata dal motore.

[$7,8 \times 10^3 \text{ W}$]

3 L'ENERGIA CINETICA

40 ******* Un'automobile di massa 1000 kg viaggia nel traffico urbano a una velocità di 54 km/h. Davanti a lei il semaforo diventa rosso e l'auto frena e si arresta in 16 m.

► Qual è il valore della forza frenante?

[$7,0 \times 10^3 \text{ N}$]

41 ★★★ Un oggetto di massa 1,0 kg viene lanciato su per un piano inclinato di 30° dal suo punto più basso alla velocità di 2,0 m/s. Lungo la salita subisce una forza di attrito

di 10 N, che contribuisce a rallentare il moto.

► Calcola la distanza percorsa lungo il piano.

[0,13 m]

4 LE FORZE CONSERVATIVE E L'ENERGIA POTENZIALE

PROBLEMA MODELLO 4 SU E GIÙ CON IL MONTACARICHI

La cabina di un montacarichi ha una massa di 1100 kg e può sollevare merci fino a 3200 kg all'altezza di 11,7 m. Mentre si muove a pieno carico, tra la cabina del montacarichi e la struttura che la contiene si esercita una forza di attrito di modulo 740 N. Invece quando la cabina è vuota, la forza di attrito ha modulo 180 N.

- Il montacarichi viene messo in funzione, facendogli compiere una salita e una discesa senza carico. Calcola il lavoro compiuto dalla forza-peso e dalla forza di attrito sulla cabina.
- Il montacarichi viene usato a pieno carico per sollevare merci, poi la cabina torna al suolo vuota. Calcola il lavoro compiuto dalla forza-peso e dalla forza di attrito sulla cabina.

■ DATI

Massa del montacarichi: $m_1 = 1100$ kg
 Massa totale: $m_2 = 4300$ kg
 Forza di attrito a pieno carico: $F_{A,1} = 740$ N
 Forza di attrito sul solo montacarichi: $F_{A,2} = 180$ N
 Dislivello: $h = 11,7$ m

■ INCOGNITE

$W_{P,1} = ?$
 $W_{P,2} = ?$
 $W_{A,1} = ?$
 $W_{A,2} = ?$

L'IDEA

Nel primo caso, la massa complessiva della cabina non varia; la forza-peso, che è conservativa, compie lavoro negativo durante la salita e lavoro positivo durante la discesa; i due lavori sono opposti.

Nel secondo caso, la massa della cabina cambia durante lo spostamento e il lavoro totale compiuto dalla forza-peso non sarà nullo.

La forza di attrito è dissipativa, compie lavoro negativo lungo qualsiasi spostamento, dal momento che si oppone a esso.

LA SOLUZIONE

1° caso: montacarichi vuoto.

Il lavoro compiuto dalla forza-peso $W_{P,1}$ è $W_{P,1} = -m_1gh + m_1gh = 0$

Il lavoro compiuto dalla forza di attrito dinamico $W_{A,1}$ è:

$$W_{A,1} = -F_{A,1}h - F_{A,1}h = -2F_{A,1}h = -2 \times (180 \text{ N}) \times (11,7 \text{ m}) = -4,2 \times 10^3 \text{ J.}$$

2° caso: montacarichi con carico in salita, senza carico in discesa.

Il lavoro compiuto dalla forza-peso $W_{P,2}$ è

$$W_{P,2} = -m_1gh + m_2gh = (m_2 - m_1)gh = (-3200 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) \times (11,7 \text{ m}) = -3,7 \times 10^5 \text{ J.}$$

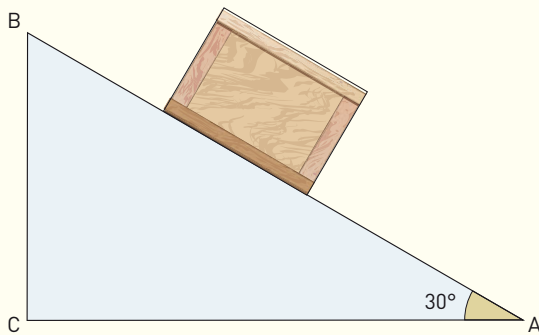
Il lavoro compiuto dalla forza di attrito $W_{A,2}$ è

$$W_{A,2} = -F_{A,2}h - F_{A,1}h = -(F_{A,2} + F_{A,1})h = -(920 \text{ kg}) \times (11,7 \text{ m}) = -1,1 \times 10^4 \text{ J.}$$

PER NON SBAGLIARE

Se la massa di un oggetto varia mentre si sposta lungo un percorso chiuso, allora la forza-peso può compiere lavoro non nullo!

52 ******* Una cassa di 10 kg deve essere spostata dal punto A al punto B. La figura mostra i due percorsi possibili: lungo un piano inclinato di 30°, di lunghezza 2,0 m e altezza 1,0 m, oppure passando dal punto C.



Calcola il lavoro compiuto dalla forza-peso:
 ▶ lungo il percorso AB, in assenza di attrito;
 ▶ lungo il percorso ACB.

[−98 J; −98 J]

6 L'ENERGIA POTENZIALE ELASTICA

74 ******* Su un piano orizzontale senza attrito ci sono due molle di costanti elastiche $k_1 = 100 \text{ N/m}$ e $k_2 = 120 \text{ N/m}$ e lunghezze a riposo $l_1 = 15 \text{ cm}$ e $l_2 = 25 \text{ cm}$ collegate tra loro e di massa trascurabile. All'estremo libero della seconda molla viene applicata una forza F che provoca un allungamento totale del sistema portandolo a $L = 80 \text{ cm}$.

- ▶ Calcola l'allungamento di ciascuna molla.
- ▶ Calcola l'energia potenziale di ciascuna molla.

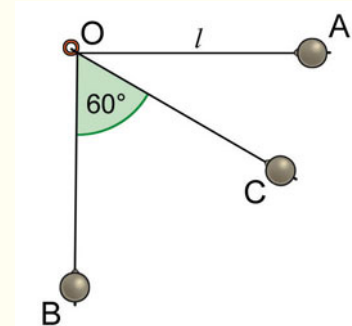
[0,22 m, 0,18 m; 2,4 J, 2,0 J]

7 LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA

PROBLEMA MODELLO 7 UN'AMPIA OSCILLAZIONE

Un pendolo è formato da un filo di massa trascurabile, lungo 60 cm, fissato per una estremità (il punto O nella figura). All'altra estremità è attaccato un pesetto di ferro di 890 grammi. Inizialmente il pesetto è tenuto in modo che il filo sia orizzontale (posizione A nella figura); poi viene rilasciato. Trascura ogni forma di attrito.

- ▶ Di che moto si muove il pesetto? Il sistema è conservativo?
- ▶ Calcola la velocità del pesetto e la tensione del filo quando il filo è verticale (posizione B nella figura) e quando forma un angolo di 60° con la verticale (posizione C).



■ DATI

Lunghezza del filo: $l = 0,60 \text{ m}$
 Angolo formato dalla posizione C: $\alpha = 60^\circ$
 Massa: $m = 0,89 \text{ kg}$

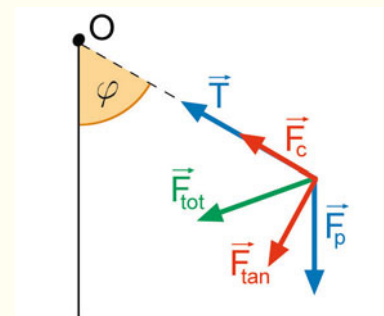
■ INCOGNITE

Velocità nel punto B: $v_B = ?$
 Tensione nel punto B: $T_B = ?$
 Velocità nel punto C: $v_C = ?$
 Tensione nel punto C: $T_C = ?$

L'IDEA

Le forze che agiscono sul pesetto sono: la forza-peso \vec{F}_p , che è conservativa, e la tensione \vec{T} del filo, che costringe il pesetto a muoversi lungo un arco di circonferenza, con centro in O e raggio uguale alla lunghezza l del filo. Il moto è circolare, ma non uniforme: la forza totale sul pesetto \vec{F}_{tot} ha una componente radiale (la forza centripeta) \vec{F}_c e una tangenziale \vec{F}_{tan} , che fa variare il modulo della velocità.

La tensione \vec{T} del filo è costantemente perpendicolare alla traiettoria del pesetto, quindi non compie lavoro. Il sistema è dunque conservativo.



Le energie in gioco sono l'energia cinetica e l'energia potenziale della forza-peso. Alla partenza (nel punto A) il pesetto ha solo energia potenziale della forza-peso; man mano che scende, diminuisce la sua energia potenziale e aumenta quella cinetica; le due variazioni sono opposte.

LA SOLUZIONE

Fisso il livello di zero dell'energia potenziale della forza-peso.

Poniamo uguale a zero l'energia potenziale gravitazionale nel punto più basso, B: $U_B=0$ J.

Rispetto al punto B, le quote dei punti A e C sono $h_A=0,60$ m, $h_C = \frac{1}{2}h_A = 0,30$ m.

Dalla conservazione dell'energia meccanica ricavo la velocità in B.

Nello spostamento da A a B l'energia meccanica del pesetto si conserva:

$\mathcal{E}_A = \mathcal{E}_B$. Il pesetto parte da fermo nel punto A; alla partenza possiede solo energia potenziale, quindi $\mathcal{E}_A = U_A$. Il punto B è il più basso della traiettoria; in B il pesetto ha solo energia cinetica:

$\mathcal{E}_B = K_B$. L'equazione di conservazione dell'energia diventa quindi $U_A = K_B$, cioè $mgh_A = \frac{1}{2}mv_B^2$ da cui si ricava

$$v_B = \sqrt{2gh_A} = \sqrt{2 \times (9,8 \text{ m/s}^2) \times (0,60 \text{ m})} = 3,4 \text{ m/s.}$$

Dalla conservazione dell'energia meccanica ricavo la velocità in C.

Anche nel passaggio dal punto A al punto C l'energia meccanica del pesetto si conserva: $\mathcal{E}_A = \mathcal{E}_C$. Nel punto C l'energia meccanica è in parte energia cinetica e in parte energia potenziale: $\mathcal{E}_C = U_C + K_C$ quindi l'equazione di conservazione diventa

$$v_C = \sqrt{2g(h_A - h_C)} = \sqrt{2 \times (9,8 \text{ m/s}^2) \times (0,30 \text{ m})} = 2,4 \text{ m.}$$

Calcolo la tensione del filo quando il pesetto si trova nel punto B.

Il pesetto percorre attorno al punto O una porzione di circonferenza; pertanto la forza totale nella direzione del filo è $F_c = \frac{mv^2}{l}$.

In B si ha che $T_B - F_p = F_c = \frac{mv_B^2}{l}$; poiché $h_A=l$ si ha

$$T_B = F_p + \frac{mv_B^2}{l} = mg + \frac{2mgh_A}{h_A} = 3mg = 3 \times (0,89 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 26 \text{ N.}$$

Calcolo la tensione del filo quando il pesetto si trova nel punto C.

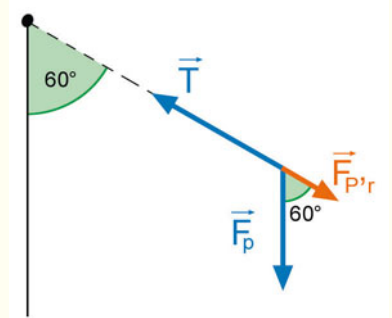
Dobbiamo trovare la componente della forza-peso nella direzione radiale, $\vec{F}_{p,r}$.

In C l'angolo tra la direzione del filo e quella della forza-peso è di 60° , quindi $F_{p,r} = F_p \cos 60^\circ = \frac{1}{2}F_p$.

Anche in questo caso, la somma vettoriale delle forze nella direzione radiale è la forza centripeta, cioè:

$$T_C - F_{p,r} = \frac{mv_C^2}{l} \text{ da cui:}$$

$$T_C = F_{p,r} + \frac{mv_C^2}{l} = \frac{1}{2}F_p + \frac{2mg(h_A - h_C)}{l} = \frac{mg}{2} + mg = \frac{3}{2}mg = \frac{3}{2} \times (0,89 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) = 13 \text{ N.}$$



PER NON SBAGLIARE

- La tensione del filo non compie lavoro perché perpendicolare allo spostamento; il sistema quindi è conservativo.
- La tensione del filo in B è maggiore della tensione del filo in A; per questo un filo deteriorato ha maggiori probabilità di rompersi quando il peso che vi è agganciato è messo in oscillazione.

PROBLEMA MODELLO 8 LA FRECCIA E L'ARCIERE

Un ragazzo sta per lanciare col suo arco una freccia di massa 32 g. Per scoccare la freccia, l'arciere tende la corda dell'arco e la sposta indietro di 0,20 m, esercitando una forza media di 20 N. Puoi trascurare dispersioni di energia.

- ▶ Con quale velocità la freccia viene scoccata dall'arco in direzione orizzontale?
- ▶ Ora invece la freccia è lanciata verso l'alto: che altezza raggiunge?

■ DATI

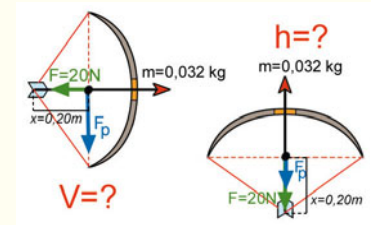
Massa: $m = 0,032 \text{ kg}$
 Spostamento della corda: $x = 0,20 \text{ m}$
 Forza media esercitata: $F = 20 \text{ N}$

■ INCOGNITE

Velocità della freccia $v = ?$
 Altezza finale $h = ?$

L'IDEA

Se trascuriamo l'attrito, sulla freccia compiono lavoro soltanto la forza-peso e la forza elastica della molla, entrambe conservative. Quindi possiamo applicare la conservazione dell'energia meccanica per rispondere a entrambe le domande.



LA SOLUZIONE

Direzione orizzontale: applico la conservazione dell'energia meccanica fra la fase in cui l'arciere tende la corda (1) e la fase in cui la freccia viene scoccata (2).

La corda possiede un'energia potenziale elastica, un'energia potenziale dovuta alla forza-peso e un'energia cinetica; il teorema di conservazione dell'energia permette di affermare che

$$U_{e1} + U_{g1} + K_1 = U_{e2} + U_{g2} + K_2.$$

Il lavoro W compiuto dall'arciere sulla corda aumenta l'energia potenziale elastica della corda, quindi:

$$U_{e1} - U_{e2} = W = Fx.$$

Fisso come livello di zero dell'energia potenziale elastica l'energia della corda a riposo: $U_{e2} = 0 \text{ J}$.

L'altezza della freccia non cambia durante il lancio; i due contributi dovuti alla forza-peso sono uguali: $U_{g1} = U_{g2}$. All'istante iniziale la freccia è ferma quindi $K_1 = 0 \text{ J}$ mentre $K_2 = \frac{1}{2}mv^2$.

Tutta l'energia potenziale elastica immagazzinata dalla corda è trasformata in energia cinetica della freccia. Quindi $U_{e1} = K_2$ cioè:

$$Fx = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2Fx}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 20 \text{ N} \times 0,20 \text{ m}}{0,032 \text{ kg}}} = 16 \text{ m/s}.$$

Direzione verticale: applico la conservazione dell'energia meccanica fra la fase in cui l'arciere tende la corda (1) e la fase in cui la freccia viene scoccata (2).

Anche in questo caso la condizione di conservazione dell'energia si traduce nell'equazione

$$U_{e1} + U_{g1} + K_1 = U_{e2} + U_{g2} + K_2.$$

Anche in questo caso, il lavoro W compiuto sulla corda aumenta l'energia potenziale elastica della corda: $U_{e1} - U_{e2} = W = Fx$. Di nuovo, fissiamo il livello di zero dell'energia potenziale elastica quando la corda è a riposo: $U_{e2} = 0 \text{ J}$.

Poniamo alla quota iniziale il livello di zero dell'energia potenziale della forza-peso $U_{g1} = 0 \text{ J}$ e dunque $U_{g2} = mgh$. All'istante iniziale e a quello finale la freccia è ferma; quindi $K_1 = K_2 = 0 \text{ J}$.

Gli unici contributi non nulli sono quindi $U_{e1} = U_{g2}$ cioè $Fx = mgh$, da cui si ricava

$$h = \frac{Fx}{mg} = \frac{(20 \text{ N}) \times (0,20 \text{ m})}{(0,032 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2)} = 13 \text{ m}.$$

PROBLEMA MODELLO 9 LA PALLA SULLA MOLLA

Una palla di ferro di massa 4,0 kg sospesa a un cavo è posta su una molla che si trova nella condizione di riposo. La costante elastica della molla vale 500 N/m. In seguito, il cavo viene tagliato.

- Quanto vale la compressione massima della molla, prima che il peso sia respinto verso l'alto? L'effetto dell'attrito è trascurabile.

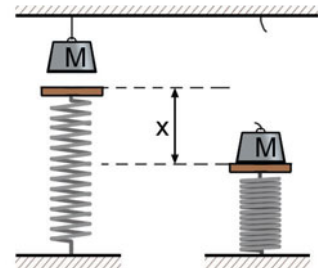
■ DATI

Massa: $m = 4,0 \text{ kg}$

Costante elastica: $k = 500 \text{ N/m}$

■ INCOGNITE

Compressione massima $x = ?$

**L'IDEA**

Sulla palla agiscono soltanto la forza-peso e la forza elastica della molla, entrambe conservative, quindi possiamo applicare la conservazione dell'energia meccanica.

LA SOLUZIONE

Applico la conservazione dell'energia meccanica e fisso i livelli di zero dell'energia potenziale elastica e di quella della forza-peso.

In ogni istante del suo moto la palla possiede energia potenziale elastica, della forza-peso e energia cinetica; se applichiamo il teorema di conservazione dell'energia meccanica all'istante in cui il cavo viene tagliato (1) e all'istante in cui la palla viene respinta dalla molla (2), otteniamo $U_{e1} + U_{g1} + K_1 = U_{e2} + U_{g2} + K_2$.

Scegliamo il livello di zero dell'energia potenziale elastica quando la molla è a riposo: $U_{e1} = 0 \text{ J}$. Ne deriva che $U_{e2} = \frac{1}{2} kx^2$.

Poniamo il livello di zero dell'energia potenziale della forza-peso nel punto finale di massima compressione della molla: $U_{g2} = 0 \text{ J}$. Ne deriva che $U_{g1} = mgx$.

Agli istanti iniziale e finale la palla è ferma, quindi $K_1 = 0 \text{ J}$ e $K_2 = 0 \text{ J}$.

Risolve l'equazione ottenuta nell'incognita x .

I termini non nulli nell'equazione di conservazione dell'energia sono quindi $U_{g1} = U_{e2}$, cioè $mgx = \frac{1}{2} kx^2$;

pertanto $x = \frac{2mg}{k} = \frac{2 \times (4,0 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2)}{500 \text{ N/m}} = 0,16 \text{ m}$.

PER NON SBAGLIARE

Nell'istante di massima compressione della molla, tutta l'energia cinetica acquistata dal blocco di ferro durante la caduta è trasformata in energia potenziale elastica della molla.

91 ★★★ Un carrello di massa 2,0 kg viene trainato lungo un binario rettilineo da una forza costante di 50 N per 10 m.

- Che velocità acquista? Trascura l'effetto dell'attrito.
- A che altezza arriverebbe se venisse lanciato verso l'alto con quella velocità?

[22 m/s; 25 m]

92 ★★★ Una molla orizzontale di costante elastica $k = 9,8 \text{ N/m}$ è compressa di un tratto s . In corrispondenza dell'estremo libero della molla appoggiata sul piano orizzontale è posta in quiete una massa $m = 2,0 \times 10^{-2} \text{ kg}$. A un certo istante, la molla viene liberata e spinge la massa lungo il piano d'appoggio orizzontale privo di attrito. Dopo un tratto iniziale, la massa incontra un piano inclinato senza attrito di altezza $h = 1,0 \text{ cm}$ e pendenza θ .

- Calcola il valore di s affinché la massa raggiunga con velocità zero la cima della salita. Trascura l'attrito dell'aria.

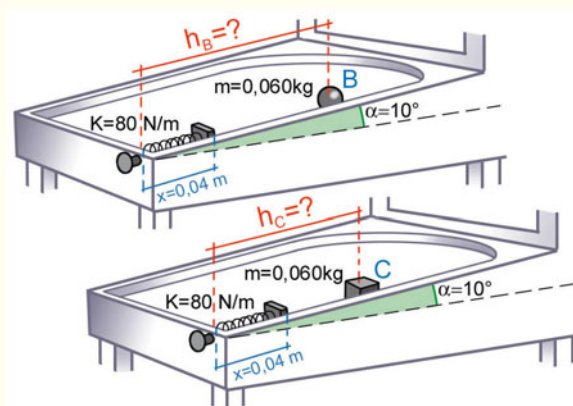
$$[s = 2,0 \text{ cm}]$$

8 LE FORZE NON CONSERVATIVE E IL TEOREMA LAVORO-ENERGIA

PROBLEMA MODELLO 10 GIOCANDO A FLIPPER

In un flipper, inclinato di 10° , una biglia di massa 60 g è appoggiata su una molla compressa di $4,0 \text{ cm}$. La costante elastica della molla è 80 N/m . A un certo istante la molla è lasciata andare e la biglia parte. L'effetto dell'attrito tra la biglia e la superficie del flipper è trascurabile.

- Di quanto salirà, in verticale, la biglia?
- Si sostituisce la biglia con un cubetto, di uguale massa; il coefficiente di attrito dinamico tra cubetto e superficie del flipper è $0,10$. Di quanto salirà, in verticale, il cubetto?



■ DATI

Massa della pallina: $m = 0,060 \text{ kg}$
 Compressione della molla: $x = 0,04 \text{ m}$
 Costante elastica della molla: 80 N/m
 Coefficiente di attrito dinamico tra flipper e cubetto: $\mu_d = 0,10$
 Inclinazione flipper: $\alpha = 10^\circ$

■ INCOGNITE

Altezza raggiunta da biglia: $h_B = ?$
 Altezza raggiunta da cubetto: $h_C = ?$

L'IDEA

Nel primo caso le forze presenti sono: la forza-peso e la forza elastica, che sono conservative; la forza di reazione vincolare della superficie del flipper, che è perpendicolare a essa e quindi allo spostamento, per cui non compie lavoro. Il sistema è dunque conservativo.

Alla partenza A , scelta come riferimento per l'energia potenziale della forza-peso, il sistema ha solo energia potenziale elastica. Poi, alla massima altezza (punto B), tutta l'energia è diventata energia potenziale della forza-peso. Nel secondo caso è presente anche una forza di attrito dinamico, che sottrae energia al sistema (che non è più conservativo) poiché compie lavoro negativo; il punto C di massima altezza sarà quindi a una quota inferiore.

LA SOLUZIONE

1° caso: sistema conservativo.

Il teorema di conservazione dell'energia meccanica afferma:

$$U_{eA} + U_{gA} + K_A = U_{eB} + U_{gB} + K_B.$$

Scegliamo il livello di zero dell'energia potenziale elastica quando la molla è tornata a riposo e la pallina ha raggiunto il punto B : $U_{eB} = 0 \text{ J}$. All'istante iniziale l'energia immagazzinata dalla molla compressa è pari a

$$U_{eA} = \frac{1}{2} kx^2.$$

Poniamo alla quota iniziale A il livello di zero dell'energia potenziale della forza-peso: $U_{gA} = 0$ J e quindi $U_{gB} = mgh$. Agli istanti iniziale e finale la biglia è ferma, pertanto $K_A = 0$ J e $K_B = 0$ J.

Tutta l'energia potenziale elastica iniziale della molla è trasformata in energia potenziale della forza-peso della biglia: $U_{eA} = U_{gB}$ quindi $\frac{1}{2}kx^2 = mgh_B$, da cui posso ricavare

$$h_B = \frac{kx^2}{2mg} = \frac{(80 \text{ N/m}) \times (4,0 \times 10^{-2} \text{ m})^2}{2 \times (6,0 \times 10^{-2} \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2)} = 0,11 \text{ m}.$$

2° caso: sistema non conservativo.

Per poter applicare il teorema di conservazione dell'energia meccanica devo valutare il lavoro compiuto dalle forze non conservative.

Il cubetto si sposta lungo la superficie di un tratto di lunghezza $d = \frac{h_C}{\sin 10^\circ}$ prima di tornare giù. La forza di attrito che agisce sul cubetto lungo questo tratto è $f_d = \mu_d mg \cos 10^\circ$ e compie un lavoro pari a

$$W_{nc} = -f_d d = -\frac{h_C \mu_d mg \cos 10^\circ}{\sin 10^\circ}.$$

Impostiamo il bilancio energetico per le posizioni A e C: $\mathcal{E}_C = \mathcal{E}_A + W_{nc}$ che per quanto visto sopra equivale a

$U_{eA} = U_{gB} + W_{nc}$ e otteniamo $mgh_C = \frac{1}{2}kx^2 - \frac{h_C \mu_d mg \cos 10^\circ}{\sin 10^\circ}$ da cui ricaviamo

$$\begin{aligned} h_C &= \frac{kx^2}{2 \times \left(mg + \mu_d mg \frac{\cos 10^\circ}{\sin 10^\circ} \right)} = \frac{kx^2}{2mg \times \left(1 + \mu_d \frac{\cos 10^\circ}{\sin 10^\circ} \right)} = \\ &= \frac{(80 \text{ N/m}) \times (0,04 \text{ m})^2}{2 \times (0,060 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) \times \left(1 + 0,1 \times \frac{\cos 10^\circ}{\sin 10^\circ} \right)} = 0,069 \text{ m}. \end{aligned}$$

Come era lecito aspettarsi, il cubetto arriva a un'altezza minore a causa della forza di attrito.

PER NON SBAGLIARE

- Ricordati di scegliere nel modo più conveniente i livelli di zero per l'energia potenziale elastica e per quella della forza-peso.

PROBLEMA MODELLO 11 SCIVOLARE FINO A TERRA

Anna ha una massa di 30 kg. Dopo essere salita in cima a uno scivolo alto 4,0 m, si lascia scivolare fino al suolo dove raggiunge una velocità di 2,5 m/s.

- Quanto vale il lavoro compiuto dalle forze di attrito durante la discesa di Anna?

■ DATI

Massa: $m = 30$ kg

Altezza: $h = 4,0$ m

Velocità finale: $v_f = 2,5$ m/s

■ INCOGNITE

Lavoro delle forze di attrito $W_{nc} = ?$

L'IDEA

L'attrito è una forza non conservativa: il lavoro compiuto dall'attrito fra lo scivolo e Anna e fra Anna e l'aria durante la discesa eguaglia la variazione della sua energia meccanica totale.

Poiché su Anna agisce la forza-peso, l'unica energia potenziale presente è quella della forza-peso U_g .

LA SOLUZIONE

Calcolo i valori dell'energia potenziale della forza-peso e dell'energia cinetica.

Poniamo alla base dello scivolo il livello di zero dell'energia potenziale della forza-peso: $U_{gf} = 0$ J e $U_{gi} = mgh$. Anna è inizialmente ferma in cima allo scivolo, cioè $v_i = 0$ m/s; pertanto $K_i = 0$ J e $K_f = \frac{1}{2}mv_f^2$.

Applico il teorema lavoro-energia e ricavo il lavoro W_{nc} delle forze di attrito.

La variazione di energia meccanica equivale al lavoro compiuto dalle forze non conservative: $W_{nc} = \mathcal{E}_f - \mathcal{E}_i$, cioè

$$W_{nc} = K_f + U_f - (K_i + U_i) = K_f + U_{gf} - (K_i + U_{gi}),$$

$$\text{da cui: } W_{nc} = \frac{1}{2}mv_f^2 - mgh = \frac{1}{2}(30 \text{ kg}) \times (2,5 \text{ m/s})^2 - (30 \text{ kg}) \times (9,8 \text{ m/s}^2) \times (4,0 \text{ m}) = -1,1 \times 10^3 \text{ J}.$$

PER NON SBAGLIARE

- Il lavoro della forza di attrito è negativo, poiché tale forza ha una componente non nulla nella direzione dello spostamento ma con verso opposto, e fa diminuire la velocità finale di Anna.

103 ******* Una massa $m = 1,0$ kg viene lasciata cadere da una quota h all'interno di una campana di vetro. In un primo esperimento viene fatto il vuoto internamente alla campana e la massa arriva al suolo in $t = 2,0$ s. Successivamente l'esperimento viene ripetuto riempiendo la campana di un gas ad alta densità. Si misura che l'energia

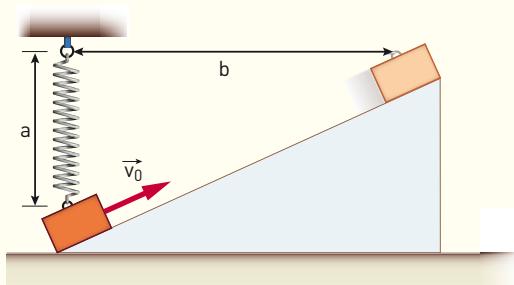
cinetica della massa quando arriva al suolo, nel secondo esperimento, è $K_2 = 182,1$ J.

- Calcola l'energia dissipata, in varie forme, nel secondo esperimento.

[−10 J]

PROBLEMI GENERALI

12 ******* **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un oggetto di massa $m = 1,0$ kg viene lanciato verso l'alto su un piano inclinato, senza attrito, con velocità iniziale $v_0 = 10$ m/s. Il piano è lungo $b = 1,5$ m. Nel suo moto l'oggetto è fissato a un estremo di una molla, di massa trascurabile e costante elastica k , che è inizialmente alla lunghezza di riposo $a = 50$ cm. Il corpo si ferma esattamente al bordo superiore del piano inclinato, all'altezza del punto di sospensione della molla come mostrato in figura.

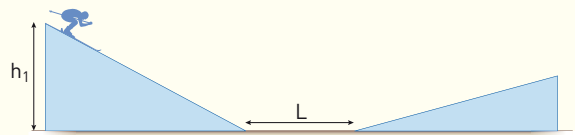


- Quanto vale la costante elastica?

(Testo modificato inserendo dati numerici, Gara di livello 2 Febbraio 2008)

[90 N/m]

13 ******* Uno sciatore di massa 70 kg si lancia da una collinetta di altezza $h_1 = 10$ m. Nel tratto orizzontale, di lunghezza $L = 10$ m, agisce una forza d'attrito costante di modulo 30 N. Nell'ultimo tratto della sua corsa risale su una seconda collinetta.



Trascura le forze di attrito in salita e in discesa, e la massa degli sci.

- Calcola il lavoro delle forze di attrito nel tratto di lunghezza L .
- A che altezza arriva lo sciatore sulla seconda collinetta?

[$3,0 \times 10^2$]; 9,6 m]

14 ******* Un veicolo di massa 1500 kg viaggia su una strada rettilinea alla velocità costante $v_0 = 180,0$ km/h. A un certo momento, una forza costante parallela alla strada rallenta il veicolo fino a farlo fermare. Il tempo d'arresto è $t = 50,0$ s. Trascura tutti gli attriti.

Calcola:

- ▶ il modulo della forza costante;
- ▶ il lavoro compiuto dalla forza.

$[1,50 \times 10^4 \text{ N}; -1,88 \times 10^6 \text{ J}]$

15 Un'automobile di massa 1200 kg viaggia su una strada in salita con angolo di inclinazione di 30° . Il motore trasmette alle ruote motrici una potenza $P = 40 \text{ kW}$. Schematizziamo tutti gli attriti con la formula $R = -\beta v$ dove $\beta = 40 \text{ kg/s}$.

- ▶ Determina la velocità massima costante con cui viene affrontata la salita.

$[6,5 \text{ m/s}]$

16 Una massa $m = 3,0 \text{ kg}$ si muove su un piano orizzontale con velocità costante v_0 . Alla massa viene applicata una forza $F = 2\sqrt{3} \text{ N}$ costante che forma un angolo $\theta = 30^\circ$ con la direzione di moto. La forza è attiva per il tempo $\Delta t = 3,0 \text{ s}$. Dopo tale intervallo di tempo la velocità del corpo è $v_f = 20,0 \text{ m/s}$.

- ▶ Calcola la distanza percorsa.
- ▶ Calcola il lavoro compiuto in due modi: usando la definizione $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$ e usando il teorema dell'energia cinetica.

$[56 \text{ m}; 1,7 \times 10^2 \text{ J}]$

17 **IN LABORATORIO** Un disco di massa m è lanciato lungo un piano orizzontale con velocità iniziale $v_0 = 10 \text{ m/s}$; μ_d è il coefficiente d'attrito dinamico del piano orizzontale. Il disco prima di fermarsi percorre 10 m.

- ▶ Quanto vale μ_d ?
- ▶ Calcola dopo quanto tempo dal lancio la sua velocità diventa 1/8 di quella iniziale.

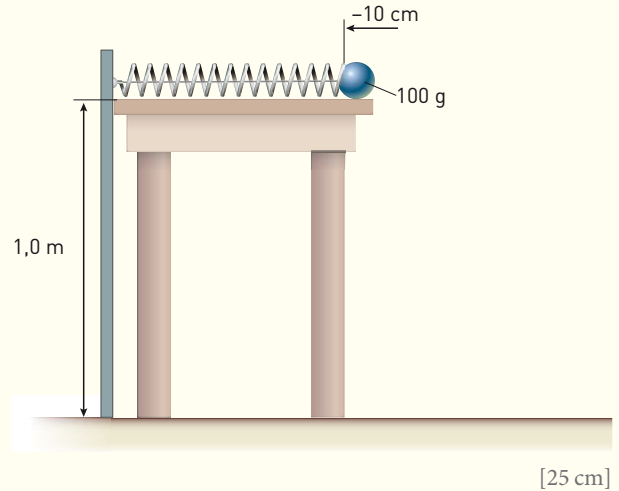
$[\mu_d = 0,51; 1,8 \text{ s}]$

18 **IN LABORATORIO** Dalla base di un piano inclinato con angolo di 30° è lanciato un oggetto alla velocità $v_0 = 5,0 \text{ m/s}$. Il coefficiente d'attrito dinamico è $\mu_d = 0,4$.

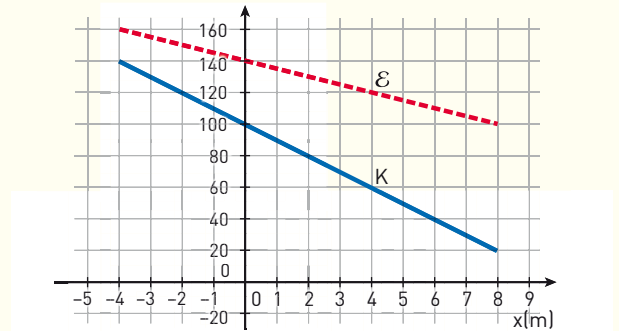
- ▶ Calcola la quota massima y_{max} raggiunta dall'oggetto (trascura l'attrito con l'aria).

$[0,75 \text{ m}]$

19 **IN LABORATORIO** Una molla di massa trascurabile e costante elastica $3,0 \text{ N/m}$ è disposta su un tavolo di altezza $1,0 \text{ m}$ come mostrato nella figura. La molla è compressa di 10 cm tramite un filo di massa trascurabile. In corrispondenza dell'estremo libero della molla al bordo del tavolo è appoggiata una biglia di 100 g e il tavolo è privo di attrito. La molla, tagliato il filo, spinge la biglia. A che distanza dal tavolo cadrà la biglia? Trascura l'attrito con l'aria.

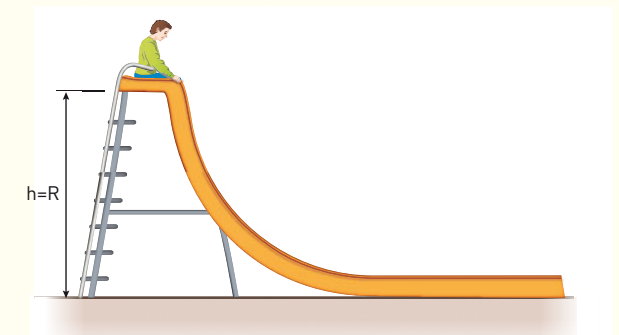


20 La figura mostra il grafico dell'energia meccanica \mathcal{E} e dell'energia cinetica K di un oggetto che si muove lungo una linea orizzontale in funzione della sua posizione x .



- ▶ Disegna il grafico del lavoro delle forze non conservative che agiscono sull'oggetto.
- ▶ L'oggetto è sottoposto a una o più forze conservative?

21 Uno scivolo di un parco giochi è formato un arco di cerchio di raggio R e altezza $h = R$. La forza media di attrito durante il moto lungo lo scivolo è costante e vale in modulo $F = 49 \text{ N}$. Un bambino di massa m parte da fermo dalla sommità dello scivolo.



- ▶ Quale deve essere il minimo valore di m affinché il bambino arrivi in fondo allo scivolo con velocità non nulla?

$[7,9 \text{ kg}]$

TEST

6 La legge di conservazione dell'energia meccanica totale afferma che, in presenza di sole forze conservative:

- A** l'energia cinetica e l'energia potenziale sono sempre costanti.
- B** la somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale è sempre costante.
- C** l'energia cinetica e l'energia potenziale sono inversamente proporzionali.
- D** il prodotto dell'energia cinetica e dell'energia potenziale è sempre costante.

7 Una pallina di gomma viene lasciata cadere, da ferma, da una altezza di 1 m, e rimbalza sul pavimento. Si osserva che l'energia cinetica della pallina, tra l'istante subito prima e l'istante subito dopo ogni rimbalzo, diminuisce del 20%. Dopo il terzo rimbalzo, trascurando l'attrito con l'aria, a quale altezza massima ci aspettiamo che possa arrivare la pallina?

- A** circa 51 cm
- B** circa 33 cm
- C** meno di 10 cm
- D** circa 40 cm
- E** circa 20 cm

Prova Unica di Ammissione ai Corsi di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia e in Odontoiatria e Protesi Dentaria Anno 2011/2012

8 Uno spot pubblicitario sostiene che una data auto di 1000 kg può accelerare da ferma fino a raggiungere una velocità di 20 m/s in un tempo di 5 s. Qual è la potenza media che il motore deve sviluppare per provocare tale accelerazione trascurando le perdite dovute all'attrito?

- A** 40 J
- B** 4000 W
- C** 4000 J
- D** 10 kW
- E** 40 kW

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

9 Un corpo pesante di massa m si muove (senza attriti) nel campo di forze conservativo della gravità ($g = \text{costante}$) con energia cinetica K , energia potenziale U ed energia totale E . Indicare l'equazione ERRATA:

- A** $U = mgh$
- B** $K = 1/2 mv^2$
- C** $K = E - U$
- D** $E = K - U$
- E** $mg = m \cdot \Delta v / \Delta t$

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

10 A resultant force of 20 N has accelerated a body of mass 4.0 kg at rest, until the present moment, at which time its kinetic energy is 1880 J. If this force continue to act unchanged, how much extra kinetic energy will the body gain during the next two seconds?

- A** 200 J
- B** 650 J
- C** 1000 J
- D** 1300 J
- E** 1400 J

BioMedical Admission Test BMAT - 2013

11 Uno scatolone di massa m si muove di moto rettilineo uniforme per un tratto orizzontale di valore s . Il lavoro W della forza-peso sullo scatolone è uguale a:

- A** 0 J, perché la forza-peso è equilibrata dalla reazione del piano sui cui si muove lo scatolone.
- B** 0 J, perché il vettore forza-peso è perpendicolare al vettore spostamento.
- C** mgs perché l'unica forza che agisce sullo scatolone è la forza-peso.
- D** $-mgs$ perché la forza-peso e lo spostamento non sono paralleli.

12 Il lavoro compiuto dalla forza di gravità nel corso di uno spostamento da un punto A a un punto B dipende sempre:

- A** dalla posizione di A .
- B** dalla velocità dello spostamento.
- C** dalla lunghezza del percorso.
- D** dalla forma geometrica del percorso.

13 Quale di queste frasi si riferisce a una forza conservativa applicata a una biglia?

- A** Il lavoro compiuto dalla forza dipende solo dall'accelerazione con cui la biglia si muove.
- B** Il lavoro compiuto dalla forza dipende solo dalle posizioni del punto di partenza e del punto di arrivo.
- C** Il lavoro compiuto dalla forza dipende solo dalla rapidità con cui la biglia passa dal punto di partenza al punto di arrivo.
- D** Il lavoro compiuto dalla forza dipende soltanto dal tipo di percorso seguito dalla biglia.

14 L'energia potenziale può essere introdotta:

- A** per tutte le forze.
- B** solo per la forza-peso.
- C** per tutte le forze conservative.
- D** per tutte le forze dissipative.

15 Al supermercato un ragazzo spinge il carrello della spesa. Quale forza compie un lavoro positivo sul carrello?

- A** La forza-peso del ragazzo.
- B** La forza-peso del carrello.

- C La forza applicata dal ragazzo.
- D La forza di attrito fra il pavimento e il carrello.

- 16** Il lavoro è negativo quando:
- A il valore della forza è negativo.
 - B il valore dello spostamento è negativo.
 - C il corpo si muove in verso contrario alla forza applicata.
 - D la forza mette in movimento il corpo su cui essa è applicata.

- 17** L'energia potenziale elastica di una molla dipende (più di una risposta è giusta):
- A dall'entità della deformazione.
 - B dalla velocità con cui si realizza la deformazione.
 - C dalla costante elastica della molla.
 - D dal tipo di deformazione (compressione o allungamento).

- 18** Il lavoro di una forza che agisce su un corpo per una certa lunghezza si calcola come:
- A prodotto vettoriale della forza per lo spostamento.
 - B prodotto vettoriale dello spostamento per la componente della forza perpendicolare allo spostamento.
 - C prodotto scalare dello spostamento per la componente della forza parallela allo spostamento.
 - D prodotto scalare dello spostamento per la componente della forza perpendicolare allo spostamento.
 - E Nessuna delle precedenti.

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 19** Una forza costante di 7,00 N viene applicata lungo una linea retta ad un corpo, per spostarlo di 13 m, parallelamente alla direzione della forza, in 5 secondi. Qual è la potenza sviluppata dalla forza per spostare il corpo?
- A 18,2 W
 - B 1,82 W
 - C 9,10 W
 - D 91,0 W
 - E 455 W

Prova Unica di Ammissione ai Corsi di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia e in Odontoiatria e Protesi Dentaria Anno Accademico 2014/2015

- 20** Due persone di identica massa superano un dislivello di 3 m; il primo A, salendo su di una pertica verticale, l'altro, B, impiegando una scala inclinata. Chi ha compiuto il lavoro maggiore contro le forze del campo gravitazionale?
- A A
 - B B
 - C Il lavoro compiuto è uguale

- D occorre conoscere il tempo di salita
- E occorre conoscere l'inclinazione della scala

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

- 21** L'energia potenziale di un oggetto in caduta libera è massima:
- A quando l'oggetto ha percorso 1/3 del suo percorso
 - B quando l'oggetto tocca terra
 - C quando l'oggetto è alla massima distanza da terra
 - D quando l'oggetto ha compiuto la metà del suo percorso
 - E nessuna delle precedenti

Test ammissione Scienze motorie 2012/2013

- 22** L'energia cinetica di un corpo di 2 kg che si trova fermo a 10 metri da terra è:
- A 0 J
 - B 2 J
 - C 10 J
 - D 1962 J
 - E 19,62 J

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 23** Una bambina di 30 kg, partendo da ferma, scivola senza attrito dalla cima di uno scivolo alto due metri. Qual è la sua energia cinetica in fondo allo scivolo?
- A 2 J
 - B 15 J
 - C 30 J
 - D 60 J
 - E 588 J

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 24** Quale delle seguenti affermazioni è corretta?
- A La potenza si calcola come lavoro su tempo, e si misura in joule
 - B La potenza si calcola come lavoro per tempo, e si misura in watt
 - C La potenza si calcola come lavoro su tempo, e si misura in watt
 - D La potenza si calcola come forza per tempo, e si misura in joule
 - E La potenza si calcola come forza su tempo, e si misura in joule

Test ammissione Scienze motorie 2013/2014

- 25** A man lifts a 20 kg mass through a distance of 0.5 m in 2 s. The acceleration of free fall is 10 m/s^2 . What average power does he develop?
- A 5 W
 - B 20 W
 - C 50 W
 - D 200 W

BioMedical Admission Test (BMAT), UK, 2005/2006