Ultimo aggiornamento: November 1, 2026

🗺️ Percorso di quattro anni · Anno 2, Primavera · 🧮 Calcolatore integrato

Informazioni sul corso

Questo corso gratuito ha 10 unità e 6 laboratori. Sono i totali reali, non un programma più lungo accorciato.

Un controllo è un numero o un risultato di codice in una pagina del corso che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero stampato e quello ricalcolato devono coincidere.

> Questo è lo schema di un corso gratuito di autoapprendimento scritto da Saving Planets. Non è un corso universitario, non dà crediti accademici e nessuna scuola è coinvolta.
>
> Il programma segue un corso semestrale di dinamica per ingegneria del secondo anno. Si ispira ai temi e alla profondità di MIT 2.003 Engineering Dynamics e MIT 8.01 Classical Mechanics (entrambi su MIT OpenCourseWare), di Purdue ME 274 e della dinamica di Georgia Tech, e al libro gratuito OpenStax University Physics Volume 1, che citiamo in tutto il corso. Nessuno di questi autori o atenei approva questa pagina.
>
> Cosa aggiungiamo: ogni unità è collegata a un vero lavoro su energia pulita, osservazione della Terra o difesa planetaria con una fonte pubblica citata (auto elettriche, stazione spaziale, GRACE-FO, accumulo per pompaggio, il test sugli asteroidi DART della NASA, razzi, turbine eoliche e idrauliche, edifici antisismici), ogni numero della pagina viene ricalcolato da uno script di verifica prima della pubblicazione, e ogni laboratorio ha una simulazione gratuita o una versione casalinga economica.
>
> Seguilo in ordine. Ogni unità ha obiettivi, idee chiave, equazioni, esempi passo per passo, esercizi con soluzioni complete, errori comuni, flashcard e un quiz. I tuoi progressi sono salvati solo in questo browser.

Come questo corso aiuta a salvare il pianeta

La dinamica è la fisica di ogni macchina che sposta energia. Le auto elettriche trasformano l’energia della batteria in moto e ne recuperano una parte, le turbine idrauliche ed eoliche sono corpi rigidi in rotazione, gli impianti di pompaggio accumulano energia sollevando acqua, e i satelliti che osservano l’acqua e il clima della Terra restano in quota perché continuano a caderle attorno.

È anche il modo in cui proteggiamo il pianeta: la missione DART della NASA ha usato la quantità di moto per cambiare l’orbita di un asteroide, e gli ingegneri usano la teoria delle vibrazioni per mantenere in piedi gli edifici durante i terremoti. Ogni unità termina con una breve sezione con fonti. I valori che non provengono da una fonte sono indicati come valori di esempio.

Per gli insegnanti

Puoi insegnare questo corso, oppure lasciare che uno studente lo faccia da solo. È gratis. Saving Planets non dà un voto né crediti scolastici.

- Questa pagina è l'intero corso: 10 unità e 6 laboratori (ENGR 212).
- Prevedi 15 settimane, circa 6–9 ore a settimana, comprese le settimane di laboratorio.
- Segui il calendario di 15 settimane. Leggi l'unità, fai la pratica su carta, poi apri la risposta. Nella settimana di laboratorio, fai il laboratorio o la versione a casa.
- Un controllo è un numero o un risultato di codice nella pagina che uno script ricalcola prima della pubblicazione. Il numero che vedi e quello ricalcolato devono coincidere.
- Usa Stampa questa pagina, oppure scarica la guida di studio PDF. Il formulario è verso la fine.
- Chiedi: in che modo questa unità aiuta le persone e il pianeta? Ogni unità ha un riquadro verde con un fatto e la sua fonte.
- Copia il modello di guida per insegnanti e scrivi il nome della classe, il tempo che hai e le domande che farai. Apri il modello di guida per insegnanti

Prima di iniziare

Prerequisiti

- Statica: diagrammi di corpo libero, momenti e baricentri.
- Fisica I: leggi di Newton, energia e quantità di moto.
- Analisi I e II: derivate, integrali ed equazioni differenziali semplici.
- Equazioni differenziali aiuta nell'unità 10 (vibrazioni) ma non è obbligatorio; le soluzioni necessarie sono fornite.

Come studiare

- Parti dalla cinematica: cosa si sa di posizione, velocità e accelerazione, e in quali coordinate?
- Disegna affiancati un diagramma di corpo libero e un diagramma cinetico (ma e Iα).
- Scegli il metodo adatto: F = ma per le accelerazioni, lavoro-energia per le velocità tra due posizioni, impulso-quantità di moto per forze nel tempo e urti.
- Risolvi prima in simboli, poi inserisci valori SI, e controlla unità e casi limite.
- Svolgi ogni esercizio su carta prima di aprire la risposta.
- Rifai i quiz qualche giorno dopo; la pratica distribuita batte una lunga sessione.

Che cosa ti serve

- Un computer o un tablet per le simulazioni PhET gratuite (funzionano nel browser).
- Uno smartphone con videocamera al rallentatore o un'app gratuita di sensori (accelerometro, cronometro).

- Un’asse o un libro grande per fare una rampa, un metro a nastro, e una palla, una lattina di zuppa, una lattina vuota e un anello o cerchio da far rotolare.
- Spago, un piccolo peso (un dado o delle rondelle) e un righello per un pendolo.
- Qualche elastico o una molla morbida e piccole masse (monete in un sacchetto) per un oscillatore massa-molla.
- Un foglio di calcolo per grafici e fit.

Programma suggerito di 15 settimane

Circa 6-9 ore a settimana: lettura, esercizi e, nelle settimane di laboratorio, il laboratorio.

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
1	Cinematica del punto in linea retta	Posizione, velocità, accelerazione; accelerazione costante	OpenStax UP1 3.1–3.4
2	Cinematica del punto in linea retta	Accelerazione variabile, a(x) e a(v); laboratorio A	UP1 3.6
3	Moto curvilineo: proiettili, coordinate normale–tangenziale e polari	Proiettili, normale–tangenziale, polari, moto relativo; laboratorio B	UP1 4.1–4.5
4	Cinetica del punto: seconda legge di Newton	Seconda legge di Newton, attrito, corpi collegati	UP1 5.1–6.2
5	Cinetica del punto: seconda legge di Newton	Curve, sopraelevazione, orbite	UP1 6.3, 13.4
6	Lavoro, energia e potenza	Lavoro, energia, conservazione, potenza e rendimento	UP1 7.1–8.3
7	Impulso, quantità di moto e urti	Impulso, quantità di moto, urti, momento angolare; laboratorio C; esercitazione per l’esame intermedio	UP1 9.1–9.4
8	Sistemi di punti e massa variabile: getti e razzi	Sistemi di punti, getti, razzi	UP1 9.5–9.7
9	Cinematica piana dei corpi rigidi	Rotazione dei corpi rigidi, ingranaggi, velocità relativa	UP1 10.1–10.3
10	Cinematica piana dei corpi rigidi	Centri di istantanea rotazione, accelerazione relativa, rotolamento	UP1 11.1
11	Cinetica piana dei corpi rigidi: forza, massa e accelerazione	Momenti d’inerzia, equazioni del moto piano, rotolamento; laboratorio D	UP1 10.4–10.7

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
12	Corpi rigidi: metodi dell’energia e della quantità di moto	Energia dei corpi rigidi, potenza, momento angolare	UP1 10.8, 11.2–11.3
13	Vibrazioni meccaniche	Vibrazioni libere, pendoli, metodo energetico; laboratorio E	UP1 15.1–15.4
14	Vibrazioni meccaniche	Vibrazioni smorzate e forzate, risonanza; laboratorio F	UP1 15.5–15.6
15	Ripasso	Ripasso ed esercitazione finale	Tutte le unità

I tuoi progressi

Spunta unità e laboratori man mano che li finisci, e fai i quiz. Progressi e punteggi sono salvati solo in questo browser e non ci vengono mai inviati.

Unità

Cinematica del punto in linea retta

Posizione, velocità e accelerazione come derivate, accelerazione costante, accelerazione data in funzione del tempo, della velocità o della posizione, e distanza percorsa rispetto allo spostamento.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Collegare x, v e a con derivazione e integrazione.
- Usare correttamente le equazioni ad accelerazione costante.
- Risolvere problemi a(x) con v dv = a dx.
- Distinguere la distanza totale dallo spostamento.

Concetti chiave

- La velocità è v = dx/dt e l'accelerazione è a = dv/dt = d²x/dt². L'integrazione fa il percorso inverso.
- Solo quando a è costante valgono $v = v_0 + at$, $x = x_0 + v_0t + ½at^2$ e $v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$.
- Se a è data in funzione della posizione, usa a dx = v dv; se in funzione della velocità, usa dt = dv/a(v).
- La distanza percorsa conta ogni tratto; dividi il moto dove v = 0 e somma le lunghezze.
- I segni contano: scegli un verso positivo e mantienilo; rallentare significa che a e v hanno segni opposti.

Equazioni chiave

$$v = \frac{dx}{dt}, \quad a = \frac{dv}{dt}$$

`v=dx/dt, a=dv/dt`

Definizioni

$$v = v_0 + at, \quad x = x_0 + v_0t + \tfrac{1}{2}at^2$$

`v=v_0+at, x=x_0+v_0t+12at^2`

Accelerazione costante

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0)$$

`v^2=v_0^2+2a(x-x_0)`

Accelerazione costante, senza tempo

$$a\,dx = v\,dv$$

`a dx=v dv`

Accelerazione in funzione della posizione

Esempi svolti passo passo

Esempio 1.1 Un punto si muove con $x = t^3 - 6t^2 + 9t$ (m, s). Trova quando si ferma, v e a a $t = 2$ s, e la distanza percorsa da 0 a 4 s.

1. $v = 3t^2 - 12t + 9 = 0$ a $t = 1$ s e $t = 3$ s; $a = 6t - 12$.
2. At $t = 2$ s: $v = -3$ m/s, $a = 0$.
3. $x(0) = 0$, $x(1) = 4$, $x(3) = 0$, $x(4) = 4$, quindi tratti di 4 + 4 + 4 m.

Risposta: Si ferma a 1 s e 3 s; $v = -3$ m/s, $a = 0$ a 2 s; percorre 12 m (spostamento 4 m).

Esempio 1.2 Un'auto parte da ferma e accelera a 3 m/s² per 8 s. Trova la sua velocità e la distanza percorsa.

1. $v = at = 3 \times 8$.
2. $x = \tfrac{1}{2}at^2 = \tfrac{1}{2} \times 3 \times 64$.

Risposta: 24 m/s e 96 m.

Esempio 1.3 Un'auto a 30 m/s frena a 6 m/s². Trova lo spazio e il tempo di arresto.

1. $x = v_0^2/(2a) = 900/12$.
2. $t = v_0/a$.

Risposta: 75 m in 5 s.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una palla viene lanciata verso l'alto a 15 m/s. Trova l'altezza massima e il tempo per raggiungerla.

   $h = v^2/(2g) = 11.47$ m; $t = v/g = 1.529$ s.

2. Un punto parte da fermo in $x = 0$ con $a = 2x$ (m/s²). Trova v in $x = 3$ m.

$v\,dv = 2x\,dx$ dà $v^2 = 2x^2$, $v = \sqrt{2} \times 3 = 4.24$ m/s.

3. Valori di esempio: un'auto elettrica passa da 0 a 27 m/s (circa 100 km/h) in 6 s. Trova l'accelerazione media.

   $a = 27/6 = 4.5$ m/s² (valori di esempio).

4. Un sasso lasciato cadere in un pozzo tocca l'acqua dopo 2.5 s. A che profondità è la superficie dell'acqua (trascura il tempo di propagazione del suono)?

   $h = \frac{1}{2}gt^2 = 30.7$ m.

Errori concettuali comuni

Mito: Velocità nulla significa accelerazione nulla.
In realtà: Nel punto più alto di un lancio $v = 0$ ma $a = -g$.

Mito: Distanza percorsa e spostamento coincidono.
In realtà: Non quando il punto inverte il moto; dividi in $v = 0$.

Mito: Le formule ad accelerazione costante valgono sempre.
In realtà: Solo per a costante; altrimenti integra.

Flashcard

Velocità

$v = dx/dt$.

Accelerazione

$a = dv/dt$.

a costante

$v = v_0 + at$; $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$.

Equazione senza tempo

$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$.

a(x)

$a\,dx = v\,dv$.

Distanza percorsa

Dividi il moto dove $v = 0$.

Quiz di autoverifica

1. L'accelerazione è la derivata di...

posizione

velocità

distanza percorsa

forza

velocità. a = dv/dt.

2. Nel punto più alto di un lancio verticale, l’accelerazione è...

0

g verso il basso

g verso l’alto

la velocità massima

g verso il basso. La gravità non si spegne mai.

3. Raddoppiare la velocità moltiplica lo spazio di frenata (stessa a) per...

2

4

√2

1

4. $x = v^2/(2a)$.

4. Se a è data in funzione di x, usa...

v = at

a dx = v dv

x = vt

solo F = ma

a dx = v dv. Regola della catena.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Ogni variazione di velocità costa energia, e conta da dove viene quell'energia. FuelEconomy.gov (DOE/EPA) afferma che i veicoli elettrici convertono oltre il 77% dell'energia elettrica della rete in potenza alle ruote, mentre i veicoli a benzina convenzionali convertono solo il 12%–30% circa dell'energia della benzina. La cinematica di questa unità, quanto rapidamente un'auto accelera e in quanto spazio frena, è il punto di partenza dei modelli di ciclo di guida usati per valutare l'efficienza dei veicoli.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml) · OpenStax UP1, 3.4 Motion with constant acceleration (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 3.1 Position, displacement and average velocity (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 3.4 Motion with constant acceleration (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-4-motion-with-constant-acceleration): Equazioni con a costante.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): Lezioni ed esercizi del MIT.

Guarda la lezione

Kinematics: describing the motion of particles and rigid bodies (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/kinematics-describing-the-motion-of-particles-and-rigid-bodies/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Moto curvilineo: proiettili, coordinate normale–tangenziale e polari

Moto nel piano: componenti cartesiane e proiettili, componenti normale e tangenziale su traiettorie curve, coordinate polari per bracci rotanti e moto relativo.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Risolvere problemi di proiettili con moti x e y indipendenti.
- Trovare l'accelerazione tangenziale e normale su una traiettoria curva.
- Usare le componenti polari per il moto lungo un braccio rotante.
- Comporre velocità relative.

Concetti chiave

- Un proiettile ha a_x = 0 e a_y = −g (senza resistenza dell'aria); il tempo collega le due direzioni.
- Su una traiettoria curva, a_t = dv/dt cambia il modulo della velocità e a_n = v²/ρ punta verso il centro di curvatura e cambia la direzione.
- In coordinate polari, a_r = r̈ − rθ̇² e a_θ = rθ̈ + 2ṙθ̇; il termine 2ṙθ̇ è la parte di Coriolis.
- Moto relativo: v_A = v_B + v_A/B, e lo stesso per le accelerazioni (per sistemi in traslazione).
- Un satellite in orbita circolare ha solo accelerazione normale: cade verso la Terra a v²/r mentre si muove lateralmente abbastanza veloce da mancarla.

Equazioni chiave

$$x = v_0 \cos\theta \, t, \quad y = v_0 \sin\theta \, t - \tfrac{1}{2} g t^2$$

`x=v_0θ t, y=v_0θ t-12gt^2`

Proiettile

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`R=(v_0^22θ)/(g)`

Gittata su terreno piano

$$a_t = \dot{v}, \quad a_n = \frac{v^2}{\rho}$$

`a_t= v, a_n=(v^2)/(ρ)`

Normale–tangenziale

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2, \quad a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$$

a_r= r-rθ^2, a_θ=rθ+2 rθ

Componenti polari

Esempi svolti passo passo

Esempio 2.1 Una palla viene lanciata a 20 m/s e 30° sopra un terreno orizzontale. Trova gittata, altezza massima e tempo di volo.

1. v_x = 17.32 m/s, v_y = 10 m/s.
2. Tempo = 2v_y/g; altezza = v_y²/(2g); R = v_0^2 sin 60°/g.

Risposta: R = 35.3 m, h = 5.10 m, t = 2.04 s.

Esempio 2.2 Un’auto a 25 m/s su una curva di raggio 100 m rallenta a 2 m/s². Trova l’accelerazione totale.

1. a_n = 25²/100 = 6.25 m/s²; a_t = −2 m/s².
2. |a| = √(6.25² + 2²).

Risposta: 6.56 m/s².

Esempio 2.3 Un collare scorre verso l’esterno lungo un braccio a 0.3 m/s (costante) mentre il braccio ruota a 2 rad/s costanti. Trova la sua accelerazione quando r = 0.5 m.

1. a_r = 0 − 0.5 × 2² = −2.0 m/s².
2. a_θ = 0 + 2 × 0.3 × 2 = 1.2 m/s².

Risposta: |a| = 2.33 m/s².

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. La NASA dice che la stazione compie un giro della Terra circa ogni 90 minuti. Con un raggio orbitale di esempio di 6791 km (420 km di quota), trova la sua velocità e l’accelerazione normale.

$v = 2\pi r/T = 7902$ m/s (la NASA indica circa 5 miglia al secondo, 8.0 km/s); $a_n = v^2/r = 9.19$ m/s².

2. Una barca punta a nord a 4 m/s in una corrente che scorre verso est a 3 m/s. Trova la sua velocità rispetto al fondo.

   5 m/s a 36.9° a est del nord.

3. Quale angolo di lancio dà la gittata massima su terreno orizzontale (senza resistenza)?

   45°, dove $\sin 2\theta = 1$.

4. Trova l'accelerazione normale di un'auto a 15 m/s su una curva di raggio 50 m.

   $a_n = 225/50 = 4.5$ m/s².

Errori concettuali comuni

Mito: Un corpo che si muove a velocità costante in modulo non ha accelerazione.
In realtà: In curva ha $a_n = v^2/\rho$.

Mito: La velocità orizzontale di un proiettile diminuisce durante il volo.
In realtà: Senza resistenza, v_x resta costante.

Mito: Gli astronauti fluttuano perché in orbita non c'è gravità.
In realtà: Lassù la gravità è ancora forte: $(6371/6791)^2 = 88\%$ della gravità al suolo a una quota di esempio di 420 km. Fluttuano perché sono in caduta libera insieme alla stazione.

Flashcard

Proiettile

$a_x = 0$, $a_y = -g$.

Gittata

$R = v_0^2 \sin 2\theta/g$.

Tangenziale

$a_t = dv/dt$.

Normale

$a_n = v^2/\rho$.

Polare

$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$, $a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$.

Velocità relativa

$v_A = v_B + v_{A/B}$.

Quiz di autoverifica

1. Per un proiettile senza resistenza, a_x è…

g

0

$-g$

v^2/r

0. Agisce solo la gravità, verticalmente.

2. L’accelerazione normale in curva…

dv/dt

v^2/ρ

$r\ddot{\theta}$

0

v^2/ρ. Cambia la direzione.

3. Il termine $2\dot{r}\dot{\theta}$ in coordinate polari è il…

termine centripeto

termine di Coriolis

termine di resistenza

termine tangenziale

termine di Coriolis. Coriolis.

4. Raddoppiare la velocità sulla stessa curva moltiplica a_n per…

2

4

½

1

4. v^2.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La stazione spaziale mostra il moto curvilineo nella sua forma più estrema. La NASA afferma che viaggia a cinque miglia al secondo, compie un giro della Terra circa ogni 90 minuti, con 16 orbite in 24 ore, e che la sua traiettoria passa sopra il 90 per cento della popolazione terrestre; gli astronauti hanno scattato milioni di immagini del pianeta. Lo stesso equilibrio di accelerazione normale mantiene in orbita ogni satellite di osservazione della Terra.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/) · OpenStax UP1, 4.4 Uniform circular motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 4.3 Projectile motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-3-projectile-motion): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 4.4 Uniform circular motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/4-4-uniform-circular-motion): Moto circolare.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): Interattivo.
- PhET: Ladybug Motion 2D (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ladybug-motion-2d): Vettori velocità e accelerazione.

Guarda la lezione

Definition of normal and tangential coordinates (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/definition-of-normal-and-tangential-coordinates/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Cinetica del punto: seconda legge di Newton

ΣF = ma in coordinate cartesiane, normale–tangenziale e polari, attrito e corpi collegati, curve sopraelevate e orbite.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Disegnare diagrammi di corpo libero e cinetici.
- Applicare ΣF = ma con attrito e corpi collegati.
- Risolvere problemi di curve e sopraelevazione con le componenti normale–tangenziale.
- Trovare le velocità delle orbite circolari.

Concetti chiave

- Seconda legge di Newton: ΣF = ma, in un sistema inerziale. Scrivila nelle coordinate adatte al moto.
- L'attrito dinamico durante lo strisciamento vale μ_kN, opposto al verso di strisciamento.
- I corpi collegati condividono le accelerazioni tramite vincoli (una fune di lunghezza fissa, una puleggia); scrivi un'equazione per corpo.
- In curva, la forza normale risultante fornisce mv²/ρ; la sopraelevazione permette alla reazione normale di fornirla senza attrito.
- Per un'orbita circolare, la gravità fornisce la forza normale: GMm/r² = mv²/r, quindi v = √(GM/r).

Equazioni chiave

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

`F=m a`

Seconda legge di Newton

$$\sum F_n = \frac{mv^2}{\rho}, \quad \sum F_t = m\dot{v}$$

`F_n=(mv^2)/(ρ), F_t=m v`

Normale–tangenziale

$$v = \sqrt{g\rho \tan\theta}$$

Curva sopraelevata, senza attrito

$$v = \sqrt{GM/r}$$

Esempi svolti passo passo

Esempio 3.1 Un’auto di 1200 kg slitta fino a fermarsi da 25 m/s con $\mu_k = 0.7$. Trova la decelerazione e lo spazio di arresto.

1. $a = \mu_k g = 6.87\ m/s^2$ (la massa si semplifica).
2. $x = v^2/(2a) = 625/13.73$.

Risposta: $6.87\ m/s^2$; 45.5 m.

Esempio 3.2 Masse di 5 kg e 3 kg pendono ai due lati di una puleggia leggera senza attrito. Trova l’accelerazione e la tensione della fune.

1. $a = (5 - 3)g/(5 + 3)$.
2. $T = 2m_1m_2g/(m_1 + m_2)$.

Risposta: $a = 2.45\ m/s^2$; $T = 36.8$ N.

Esempio 3.3 Una curva di raggio 80 m è sopraelevata di 15°. A quale velocità non serve attrito?

1. $v = \sqrt{(g\rho \tan 15°)} = \sqrt{(9.81 \times 80 \times 0.268)}$.

Risposta: 14.5 m/s (52 km/h).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un blocco di 10 kg viene spinto con 50 N su un pavimento con $\mu_k = 0.3$. Trova la sua accelerazione.

   $a = (50 - 29.4)/10 = 2.06\ m/s^2$.

2. Una persona di 70 kg è in un ascensore che accelera verso l’alto a $1.5\ m/s^2$. Trova la forza del pavimento.

   $N = m(g + a) = 792$ N.

3. Trova la velocità di un’orbita circolare con raggio di esempio di 6791 km ($GM = 3.986 \times 10^{14}\ m^3/s^2$).

   $v = \sqrt{(GM/r)} = 7{,}661$ m/s.

4. Trova la velocità massima su una curva piana di raggio 50 m con $\mu_s = 0.8$.

   $v = \sqrt{(\mu_s g r)} = 19.8$ m/s.

Errori concettuali comuni

Mito: Un oggetto in moto ha bisogno di una forza risultante per continuare a muoversi.

In realtà: Solo per cambiare la sua velocità.

Mito: ma è una forza del diagramma di corpo libero.

In realtà: ma è il risultato, disegnato nel diagramma cinetico.

Mito: La forza centrifuga ti spinge verso l'esterno in curva.

In realtà: In un sistema inerziale, la forza risultante verso l'interno ti fa curvare; niente spinge verso l'esterno.

Flashcard

Seconda legge

$\Sigma F = ma$.

Diagramma cinetico

Mostra ma (e più avanti $I\alpha$).

Attrito dinamico

$\mu_k N$, opposto allo strisciamento.

Macchina di Atwood

$a = (m_1 - m_2)g/(m_1 + m_2)$.

Curva sopraelevata

$v = \sqrt{(g\rho \tan \theta)}$.

Orbita circolare

$v = \sqrt{(GM/r)}$.

Quiz di autoverifica

1. La seconda legge di Newton vale in...

qualsiasi sistema di riferimento

un sistema inerziale

solo sulla Terra

solo per punti fermi

un sistema inerziale. I sistemi non inerziali richiedono termini aggiuntivi.

2. Per un'auto che slitta, μ_k g è la...

il modulo della velocità

decelerazione

forza

distanza percorsa

decelerazione. a = μ_kN/m.

3. Un'orbita circolare di raggio maggiore ha...

più veloce

più lento

la stessa velocità

impossibile

più lento. v = √(GM/r).

4. Cosa fornisce l'accelerazione normale su una curva sopraelevata senza attrito?

solo la gravità

la componente della reazione normale

la spinta del motore

alla resistenza

la componente della reazione normale. N sin θ.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

GRACE-FO pesa l'acqua della Terra con la seconda legge di Newton. Il JPL della NASA spiega che i due satelliti gemelli volano a circa 220 km di distanza; le zone con gravità leggermente più forte attirano per prime il satellite di testa, e un sistema di misura a microonde rileva la minuscola variazione di distanza. Un accelerometro nel centro di massa di ogni satellite misura le accelerazioni non gravitazionali, come la resistenza atmosferica, così che si conti solo la gravità. Il risultato sono mappe mensili che mostrano come si sposta l'acqua in falde acquifere, laghi, calotte glaciali e oceani.

Su Saving Planets: Osservazione della Terra

Fonti: NASA JPL: GRACE-FO mission overview (https://gracefo.jpl.nasa.gov/mission/overview/) · OpenStax UP1, 6.3 Centripetal force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 6.3 Centripetal force (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-3-centripetal-force): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 6.2 Friction (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): Attrito.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (in inglese) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): Lezioni del MIT.

Guarda la lezione

Lecture 2: Newton's Laws and Describing the Kinematics of Particles (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/lecture-2-newtons-laws-and-describing-the-kinematics-of-particles-1/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Lavoro, energia e potenza

Lavoro delle forze (gravità, molle, attrito), teorema dell'energia cinetica, forze conservative ed energia potenziale, conservazione dell'energia, potenza e rendimento.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Calcolare il lavoro di gravità, molle e attrito.
- Usare il teorema dell'energia cinetica per trovare velocità tra due posizioni.
- Usare la conservazione dell'energia meccanica quando lavorano solo forze conservative.
- Calcolare potenza e rendimento.

Concetti chiave

- Il lavoro è U = ∫F·dr. La gravità compie −mgΔh, una molla −½k(x_2^2 − x_1^2) e l'attrito dinamico −μ_kN × distanza.
- Teorema dell'energia cinetica: T_1 + Σ$U_{1\to 2}$ = T_2, con energia cinetica T = ½mv².
- Per le forze conservative il lavoro è pari alla perdita di energia potenziale, quindi T_1 + V_1 = T_2 + V_2 quando lavorano solo loro.
- La potenza è il lavoro per unità di tempo: P = F·v. Il rendimento è la potenza in uscita divisa per quella in ingresso.
- I metodi energetici danno direttamente le velocità senza trovare le accelerazioni, ed è per questo che sono così utili.

Equazioni chiave

$$T_1 + \sum U_{1\to 2} = T_2, \quad T = \tfrac{1}{2}mv^2$$

`T_1+ U_12=T_2, T=12mv^2`

Teorema dell'energia cinetica

$$V_g = mgh, \quad V_e = \tfrac{1}{2}kx^2$$

`V_g=mgh, V_e=12kx^2`

Energie potenziali

$$P = \vec{F}\cdot\vec{v}, \quad \eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}}$$

`P= F· v, =_outP_in`

Esempi svolti passo passo

Esempio 4.1 Un blocco di 2 kg scivola da fermo lungo una rampa liscia, scendendo di 3 m. Trova la sua velocità in fondo.

1. $mgh = \tfrac{1}{2}mv^2$.
2. $v = \sqrt{(2gh)}$.

Risposta: 7.67 m/s (la massa non conta).

Esempio 4.2 Una molla ($k = 500$ N/m) compressa di 0.2 m lancia un blocco di 0.5 kg su un pavimento liscio. Trova la velocità di lancio.

1. $\tfrac{1}{2}kx^2 = \tfrac{1}{2}mv^2$.
2. $v = x\sqrt{(k/m)}$.

Risposta: 6.32 m/s.

Esempio 4.3 Un'auto di 1500 kg sale una pendenza del 5% a 20 m/s costanti. Trascurando resistenza aerodinamica e di rotolamento, quale potenza la solleva?

1. $\theta = \tan^{-1} 0.05 = 2.86°$.
2. $P = mg \sin\theta \times v$.

Risposta: 14.7 kW.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Valori di esempio: un impianto di pompaggio solleva 1 milione di m^3 d'acqua di 300 m. Quanta energia accumula?

   $E = mgh = 10^9 \times 9.81 \times 300 = 2.94 \times 10^{12}$ J ≈ 818 MWh (valori di esempio).

2. Un motore con rendimento dell'85% fornisce 10 kW. Quale potenza assorbe?

   $P_{in} = 10/0.85 = 11.8$ kW.

3. Una cassa di 20 kg viene spinta per 5 m su un pavimento con $\mu_k = 0.4$. Quanto lavoro compie l'attrito?

   $U = -0.4 \times 196.2 \times 5 = -392$ J.

4. La massa di un pendolo viene lasciata 0.5 m sopra il suo punto più basso. Trova la sua velocità lì.

   $v = \sqrt{(2g \times 0.5)} = 3.13$ m/s.

Errori concettuali comuni

Mito: Il lavoro è sempre forza per distanza.
In realtà: Lavora solo la componente lungo il moto.

Mito: La reazione normale compie lavoro su un blocco che scivola.
In realtà: È perpendicolare al moto, quindi il suo lavoro è nullo.

Mito: L'energia si perde per attrito.
In realtà: Si trasforma in calore; l'energia totale si conserva, quella meccanica no.

Flashcard

Lavoro

$U = \int F \cdot dr$.

Energia cinetica

$T = \frac{1}{2}mv^2$.

Lavoro–energia

$T_1 + \Sigma U = T_2$.

Energia potenziale

mgh; $\frac{1}{2}kx^2$.

Potenza

$P = F \cdot v$.

Rendimento

P_{out}/P_{in}.

Quiz di autoverifica

1. L'unità SI del lavoro è il...

watt

joule

newton

pascal

joule. N·m = J.

2. Raddoppiare la velocità moltiplica l’energia cinetica per...

2

4

8

√2

4. $\frac{1}{2}mv^2$.

3. L’energia meccanica si conserva quando...

agisce l’attrito

lavorano solo forze conservative

la velocità è costante

sempre

lavorano solo forze conservative. Definizione.

4. La potenza è uguale a...

F·v

F/v

mv

mgh

F·v. Lavoro per unità di tempo.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

L’accumulo per pompaggio mette da parte elettricità pulita sotto forma di quota. Il Dipartimento dell’Energia degli Stati Uniti descrive l’idroelettrico a pompaggio come due serbatoi a quote diverse che producono energia quando l’acqua scende attraverso una turbina e consumano energia per ripomparla in alto, come una batteria gigante. Secondo il DOE rappresenta l’88% di tutto l’accumulo di energia su scala di rete negli Stati Uniti, con 43 impianti. L’energia accumulata è semplicemente mgh, come nell’esercizio di esempio.

Su Saving Planets: Fisica II

Fonti: U.S. DOE: Pumped storage hydropower (https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower) · OpenStax UP1, 8.3 Conservation of energy (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 7.3 Work-energy theorem (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/7-3-work-energy-theorem): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 8.3 Conservation of energy (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/8-3-conservation-of-energy): Conservazione dell’energia.
- PhET: Energy Skate Park (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-skate-park): Interattivo.

Guarda la lezione

Example 2b-work done equals the change in kinetic energy (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/example-2b-work-done-equals-the-change-in-kinetic-energy/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d’uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Impulso, quantità di moto e urti

Impulso e quantità di moto lineari, conservazione della quantità di moto, urto centrale diretto e coefficiente di restituzione, e momento angolare di un punto.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Usare il principio impulso–quantità di moto per trovare forze medie.
- Applicare la conservazione della quantità di moto a urti e rinculo.
- Risolvere urti con il coefficiente di restituzione.
- Usare la conservazione del momento angolare per il moto in campo centrale.

Concetti chiave

- La quantità di moto è L = mv. Impulso–quantità di moto: $mv_1 + \int F\,dt = mv_2$.
- Se nessun impulso esterno agisce su un sistema, la sua quantità di moto totale si conserva, anche quando l'energia cinetica non si conserva.
- Il coefficiente di restituzione $e = (v_2' - v_1')/(v_1 - v_2)$ va da 0 (perfettamente anelastico) a 1 (perfettamente elastico).
- Il momento angolare rispetto a O è H_O = r × mv. Se tutte le forze passano per O (una forza centrale come la gravità), H_O si conserva.
- In orbita, la conservazione del momento angolare implica che un satellite è più veloce al periasse: $r_1v_1 = r_2v_2$ agli apsidi.

Equazioni chiave

$$m\vec{v}_1 + \int \vec{F}\,dt = m\vec{v}_2$$

```
m v_1+ F dt=m v_2
```

Impulso–quantità di moto

$$\sum m\vec{v}_1 = \sum m\vec{v}_2$$

```
m v_1= m v_2
```

Conservazione della quantità di moto

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}$$

```
e=(v_2'-v_1')/(v_1-v_2)
```

Coefficiente di restituzione

$$\vec{H}_O = \vec{r} \times m\vec{v}$$

H_0= r× m v

Momento angolare

Esempi svolti passo passo

Esempio 5.1 Una palla di 0.15 kg arriva a 40 m/s e lascia la mazza a 30 m/s in verso opposto dopo 2 ms di contatto. Trova l'impulso e la forza media.

1. Impulso = $m(v_2 - v_1) = 0.15 \times 70$.
2. F = impulso/Δt.

Risposta: 10.5 N·s; 5,250 N.

Esempio 5.2 Un'auto di 1500 kg a 20 m/s urta un'auto ferma di 1000 kg e restano agganciate. Trova la velocità comune e l'energia cinetica persa.

1. $1500 \times 20 = 2500v$.
2. $T_1 = 300$ kJ; $T_2 = ½ \times 2500 \times 12^2$.

Risposta: 12 m/s; persi 120 kJ (40%).

Esempio 5.3 Una palla di 2 kg a 5 m/s urta frontalmente una palla di 3 kg ferma con e = 0.8. Trova entrambe le velocità finali.

1. Quantità di moto: $10 = 2v_1' + 3v_2'$.
2. Restituzione: $v_2' - v_1' = 0.8 \times 5 = 4$.

Risposta: $v_1' = -0.4$ m/s (rimbalza indietro), $v_2' = 3.6$ m/s.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. La NASA riferisce che DART ha accorciato l'orbita di Dimorphos da 11 h 55 min a 11 h 23 min. Che frazione del periodo orbitale è?

32 min/715 min = 4.48%.

2. La NASA indica per DART una velocità d’impatto di circa 22530 km/h. Converti in m/s.

   22,530/3.6 = 6,258 m/s.

3. Un satellite si muove a 7.5 km/s a 7000 km dal centro della Terra (periasse). Trova la sua velocità a 8000 km (apoasse).

   $r_1v_1 = r_2v_2$: v_2 = 6.56 km/s.

4. Una pattinatrice di 60 kg ferma lancia in avanti una palla di 2 kg a 10 m/s. Trova la sua velocità di rinculo.

   60v = 2 × 10, v = 0.333 m/s all’indietro.

Errori concettuali comuni

Mito: Quantità di moto ed energia cinetica si conservano entrambe in ogni urto.
In realtà: La quantità di moto sì; l’energia cinetica solo se e = 1.

Mito: Una forza maggiore significa sempre un impulso maggiore.
In realtà: L’impulso è forza × tempo; una spinta lunga e delicata può eguagliarne una breve e forte.

Mito: La restituzione dipende solo dal materiale.
In realtà: Dipende anche da velocità, forma e temperatura.

Flashcard

Quantità di moto

L = mv.

Impulso

∫F dt = Δ(mv).

Conservazione

Nessun impulso esterno: Σmv costante.

Restituzione

e da 0 a 1.

Momento angolare

H_O = r × mv.

Apsidi dell’orbita

$r_1v_1 = r_2v_2$.

Quiz di autoverifica

1. L’impulso è uguale alla variazione di…

energia

quantità di moto

il modulo della velocità

forza

quantità di moto. Impulso–quantità di moto.

2. Per un urto perfettamente anelastico, e =

0

0.5

1

∞

0. Si muovono insieme.

3. Una forza centrale conserva…

la quantità di moto

il momento angolare rispetto al centro

il modulo della velocità

niente

il momento angolare rispetto al centro. Nessun momento rispetto a O.

4. Gli airbag riducono le lesioni…

riducendo l’impulso

aumentando il tempo di arresto

aggiungendo massa

aggiungendo velocità

aumentando il tempo di arresto. Stesso impulso in un tempo più lungo.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Nel 2022 la NASA ha dimostrato che la quantità di moto può difendere la Terra. La NASA riferisce che la sonda DART ha colpito l'asteroide Dimorphos a circa 22530 km/h e ne ha cambiato l'orbita attorno a Didymos di 32 minuti, da 11 ore 55 minuti a 11 ore 23 minuti, più di 25 volte la soglia minima di successo fissata dalla NASA. La NASA aggiunge che il rinculo dei detriti espulsi ha aumentato sensibilmente la spinta di DART, come l'aria che esce da un palloncino. Nessuno dei due asteroidi rappresentava un pericolo per la Terra.

Su Saving Planets: Difesa planetaria

Fonti: NASA: DART impact changed asteroid's motion in space (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroids-motion-in-space/) · OpenStax UP1, 9.4 Types of collisions (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 9.3 Conservation of linear momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-3-conservation-of-linear-momentum): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 9.4 Types of collisions (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-4-types-of-collisions): Urti.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): Interattivo.

Guarda la lezione

A review of the principle of linear momentum and impulse (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/a-review-of-the-principle-of-linear-momentum-and-impulse/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Sistemi di punti e massa variabile: getti e razzi

Centro di massa di un sistema, moto del centro di massa, quantità di moto dei sistemi, flussi stazionari di fluido e sistemi a massa variabile, inclusa l’equazione del razzo.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trovare il centro di massa di un sistema e il suo moto.
- Usare la quantità di moto per sistemi che si separano.
- Trovare la forza di un getto di fluido stazionario.
- Usare le equazioni della spinta e del razzo.

Concetti chiave

- Il centro di massa si muove come se tutte le forze esterne agissero sulla massa totale posta lì: ΣF_ext = m a_G. Le forze interne si annullano.
- Un flusso stazionario che cambia velocità richiede una forza: F = ṁ(v_out − v_in) in ogni direzione.
- Un razzo acquista quantità di moto espellendo massa all’indietro. La spinta ideale è F = ṁv_e più un termine di pressione (p_e − p_a)A_e.
- L’equazione ideale del razzo, Δv = v_e ln(m$_0$/m_f), mostra perché i razzi sono fatti soprattutto di propellente.
- Gravità e resistenza riducono il Δv reale, perciò i lanciatori usano stadi per sganciare la massa vuota.

Equazioni chiave

$$\bar{x} = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i}, \quad \sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\vec{a}_G$$

`x=( m_ix_i)/( m_i), F_ext=m a_G`

Centro di massa

$$F = \dot{m}(v_{\text{out}} - v_{\text{in}})$$

`F= m(v_out-v_in)`

Flusso stazionario

$$F = \dot{m}v_e + (p_e - p_a)A_e$$

`F= m v_e+(p_e-p_a)A_e`

Spinta del razzo

$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_0}{m_f}$$

```
Δ v=v_e(m_0)/(m_f)
```

Equazione ideale del razzo

Esempi svolti passo passo

Esempio 6.1 Trova il centro di massa di 3 kg in x = 0 e 5 kg in x = 4 m.

1. $\bar{x}$ = (3 × 0 + 5 × 4)/8.

Risposta: 2.5 m.

Esempio 6.2 Valori di esempio: un motore brucia 250 kg/s con gas di scarico a 3000 m/s. Trova la spinta ideale (trascura il termine di pressione).

1. F = $\dot{m}$v_e = 250 × 3000.

Risposta: 750 kN (valori di esempio).

Esempio 6.3 Uno stadio di razzo ha v_e = 3000 m/s e brucia finché la sua massa è un quarto di quella iniziale. Trova il Δv ideale.

1. Δv = 3000 ln 4.

Risposta: 4,159 m/s.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Quale rapporto di massa m_0/m_f dà Δv = 7800 m/s con v_e = 3500 m/s (ideale)?

   m_0/m_f = e^(7800/3500) = e^2.229 = 9.29.

2. Un getto d’acqua di sezione 0.001 m² a 20 m/s colpisce una parete piana e si ferma. Trova la forza.

   F = ρAv² = 1000 × 0.001 × 400 = 400 N.

3. Pattinatori di 50 kg e 75 kg si spingono via da fermi; quello da 75 kg si muove a 2 m/s. Trova la velocità dell'altro.

   $50v = 75 \times 2$, $v = 3$ m/s.

4. Valori di esempio: un razzo di 50000 kg decolla con 750 kN di spinta. Trova l'accelerazione iniziale.

   $a = (750000 - 490500)/50000 = 5.19$ m/s² (valori di esempio).

Errori concettuali comuni

Mito: Un razzo spinge contro l'aria.
In realtà: Spinge contro i propri gas di scarico; funziona meglio nel vuoto.

Mito: Raddoppiare il propellente raddoppia il Δv.
In realtà: Il Δv cresce solo con il logaritmo del rapporto di massa.

Mito: Le forze interne possono spostare il centro di massa.
In realtà: Solo le forze esterne cambiano a_G.

Flashcard

Centro di massa

$\Sigma m\, x/\Sigma m$.

Moto del sistema

$\Sigma F_{ext} = m\, a_G$.

Flusso stazionario

$F = \dot{m}\Delta v$.

Spinta

$\dot{m} v_e + (p_e - p_a)A_e$.

Equazione del razzo

$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$.

Stadi

Sgancia i serbatoi vuoti per migliorare il rapporto di massa.

Quiz di autoverifica

1. Il centro di massa di un sistema è mosso da...

forze interne

forze esterne

entrambi

nessuno dei due

forze esterne. $\Sigma F_{ext} = m\, a_G$.

2. Il Δv ideale di un razzo dipende da v_e e...

solo dal tempo di combustione

dal rapporto di massa

dalla densità dell'aria

dal colore

dal rapporto di massa. $\ln(m_0/m_f)$.

3. La spinta cresce con...

portata massica e velocità di scarico

lunghezza del razzo

carico utile

solo quota

portata massica e velocità di scarico. $F = \dot{m} v_e$ + termine di pressione.

4. Perché un razzo ha più stadi?

per essere più bello

per sganciare massa vuota

per rallentare

per aggiungere resistenza

per sganciare massa vuota. Miglior rapporto di massa per stadio.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Ogni satellite di osservazione della Terra viaggia su un razzo basato su questa unità. NASA Glenn spiega che la spinta segue la terza legge di Newton e dipende dalla portata massica attraverso il motore, dalla velocità di uscita dei gas e dalla pressione all'uscita dell'ugello. Ottenere più Δv da ogni chilogrammo di propellente significa lanci meno numerosi e più piccoli per gli stessi carichi utili, come i satelliti Landsat e meteorologici che sorvegliano foreste, colture e tempeste.

Su Saving Planets: Introduzione all'ingegneria aerospaziale

Fonti: NASA Glenn: Rocket thrust equation (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/) · OpenStax UP1, 9.7 Rocket propulsion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 9.6 Center of mass (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-6-center-of-mass): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 9.7 Rocket propulsion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-7-rocket-propulsion): Equazione del razzo.
- NASA Glenn: Rocket thrust equation (https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/rocket-thrust-equation/): La spinta spiegata.

Guarda la lezione

Damped response of spring-mass-dashpot system to initial conditions (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/damped-response-of-spring-mass-dashpot-system-to-initial-conditions/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Cinematica piana dei corpi rigidi

Rotazione attorno a un asse fisso, velocità e accelerazione angolari, rotismi, velocità e accelerazione relative nei corpi rigidi, centri di istantanea rotazione e rotolamento senza strisciamento.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Collegare ω e α a velocità e accelerazioni dei punti.
- Usare i rapporti di ingranaggi e cinghie.
- Usare velocità relativa e centro di istantanea rotazione per i meccanismi articolati.
- Descrivere il rotolamento senza strisciamento.

Concetti chiave

- Nella rotazione attorno a un asse fisso, un punto a raggio r ha v = rω, a_t = rα e a_n = rω².
- Le ruote dentate ingranate condividono la velocità al contatto: $r_1\omega_1 = r_2\omega_2$, quindi i rapporti di velocità seguono il numero di denti.
- Velocità relativa in un corpo rigido: v_B = v_A + ω × r_B/A; l'accelerazione relativa aggiunge α × r e −ω²r.
- Il centro di istantanea rotazione (CIR) permette di trattare un corpo in moto come pura rotazione per le velocità in quell'istante.
- Rotolamento senza strisciamento: v_G = rω e a_G = rα; il punto di contatto è momentaneamente fermo e il punto più alto si muove a 2v_G.

Equazioni chiave

$$v = r\omega, \quad a_t = r\alpha, \quad a_n = r\omega^2$$

`v=rω, a_t=rα, a_n=rω^2`

Rotazione attorno a un asse fisso

$$r_1\omega_1 = r_2\omega_2$$

`r_1ω_1=r_2ω_2`

Ingranaggi e cinghie

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$$

`v_B= v_A+ω× r_B/A`

Velocità relativa

$$v_G = r\omega$$

v_G=rω

Rotolamento senza strisciamento

Esempi svolti passo passo

Esempio 7.1 Una ruota di raggio 0.3 m rotola senza strisciare a 15 m/s. Trova ω e la velocità del punto più alto.

1. ω = v/r = 15/0.3.
2. In alto: v = 2v_G.

Risposta: ω = 50 rad/s; punto più alto a 30 m/s.

Esempio 7.2 Valori di esempio: il rotore di una turbina eolica gira a 15 giri/min e un moltiplicatore di rapporto 100 aziona il generatore. Trova la velocità del generatore in giri/min e rad/s.

1. n = 15 × 100.
2. ω = 1500 × 2π/60.

Risposta: 1500 giri/min = 157.1 rad/s (valori di esempio).

Esempio 7.3 Un’asta di 1 m scivola con l’estremo A sul pavimento che si muove a destra a 2 m/s e l’estremo B su una parete. Trova ω e v_B quando l’asta forma 30° con il pavimento.

1. Il CIR è dove si incontrano le perpendicolari a v_A e v_B; la sua distanza da A è L sin 30° = 0.5 m.
2. ω = v_A/0.5; v_B = ω × L cos 30°.

Risposta: ω = 4 rad/s; v_B = 3.46 m/s verso il basso.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Valori di esempio: un rotore di 60 m gira a 15 giri/min. Trova la velocità in punta di pala e l’accelerazione normale.

$v = 60 \times 1.571 = 94.2$ m/s; $a_n = v^2/r = 148$ m/s² (valori di esempio).

2. Un volano passa da fermo a 3000 giri/min in 10 s con α costante. Trova α.

   $\omega = 314.2$ rad/s; $\alpha = 31.4$ rad/s².

3. Un disco di 0.5 m ha $\omega = 2$ rad/s e $\alpha = 4$ rad/s². Trova l'accelerazione sul bordo.

   $a_t = 2$, $a_n = 2$, $|a| = 2.83$ m/s².

4. Una ruota dentata da 20 denti ne aziona una da 80 denti a 1200 giri/min. Trova la velocità in uscita.

   $1200 \times 20/80 = 300$ giri/min.

Errori concettuali comuni

Mito: Tutti i punti di una ruota che rotola si muovono alla stessa velocità.
In realtà: Il punto di contatto è fermo e quello più alto si muove a 2v.

Mito: La velocità angolare varia da punto a punto di un corpo rigido.
In realtà: ω è la stessa per tutto il corpo.

Mito: Il CIR ha accelerazione nulla.
In realtà: Solo velocità nulla, in quell'istante.

Flashcard

Asse fisso

$v = r\omega$, $a_t = r\alpha$, $a_n = r\omega^2$.

Rapporto di trasmissione

$\omega_2/\omega_1 = r_1/r_2 = N_1/N_2$.

Velocità relativa

$v_B = v_A + \omega \times r_{B/A}$.

Centro di istantanea rotazione

Punto a velocità nulla in un dato istante.

Rotolamento

$v_G = r\omega$.

giri/min

$\times 2\pi/60$ per ottenere rad/s.

Quiz di autoverifica

1. Velocità di un punto a raggio r su un corpo rotante:

ω/r

rω

$r\omega^2$

r/ω

rω. v = rω.

2. Le ruote dentate ingranate condividono la stessa...

ω

numero di denti

velocità al contatto

raggio

velocità al contatto. $r_1\omega_1 = r_2\omega_2$.

3. Il punto di contatto di una ruota che rotola senza strisciare si muove a...

v

2v

0

$r\omega^2$

0. Nessuno strisciamento.

4. 1 giro/min in rad/s vale circa...

0.1047

1

6.28

60

0.1047. 2π/60.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Una turbina eolica è una catena di corpi rigidi rotanti. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti spiega che il rotore è collegato al generatore direttamente, in una turbina a presa diretta, oppure tramite un albero e un moltiplicatore che accelera la rotazione e permette un generatore fisicamente più piccolo. La cinematica dei rapporti di trasmissione di questa unità è il modo in cui gli ingegneri accoppiano un rotore enorme e lento a un generatore veloce.

Su Saving Planets: Fisica II

Fonti: DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · OpenStax UP1, 10.3 Relating angular and translational quantities (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-3-relating-angular-and-translational-quantities)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 10.3 Relating angular and translational quantities (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-3-relating-angular-and-translational-quantities): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 11.1 Rolling motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-1-rolling-motion): Rotolamento.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): Cinematica dei corpi rigidi del MIT.

Guarda la lezione

Kinematics: describing the motion of particles and rigid bodies (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/kinematics-describing-the-motion-of-particles-and-rigid-bodies/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Cinetica piana dei corpi rigidi: forza, massa e accelerazione

Momenti d’inerzia di massa, teorema degli assi paralleli, equazioni del moto per traslazione, rotazione attorno a un asse fisso e moto piano generale, e rotolamento con attrito.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Calcolare i momenti d’inerzia di massa di forme comuni.
- Scrivere ΣF = ma_G e ΣM_G = I_Gα.
- Risolvere problemi di rotazione attorno a un asse fisso e di pulegge.
- Risolvere problemi di rotolamento e verificare lo strisciamento.

Concetti chiave

- Il momento d’inerzia di massa I = ∫r² dm misura la resistenza all’accelerazione angolare. Disco pieno ½mr², anello mr², sfera piena ⅖mr², asta rispetto al centro mL²/12.
- Teorema degli assi paralleli: I = I_G + md².
- Equazioni del moto piano: ΣF_x = m a_Gx, ΣF_y = m a_Gy, ΣM_G = I_Gα (oppure ΣM_P = somma dei momenti del diagramma cinetico rispetto a un punto P qualsiasi).
- Un corpo che rotola senza strisciare lungo un pendio ha a = g sin θ/(1 + I_G/(mr²)); è l’attrito a produrre la rotazione.
- Verifica il rotolamento con f ≤ μ_sN; se l’attrito necessario è maggiore, il corpo striscia e rotola insieme.

Equazioni chiave

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}_G, \quad \sum M_G = I_G\alpha$$

F=m a_G, M_G=I_Gα

Moto piano

$$I = I_G + md^2$$

I=I_G+md^2

Assi paralleli

$$a = \frac{g\sin\theta}{1 + I_G/(mr^2)}$$

a=(gθ)/(1+I_G/(mr^2))

Esempi svolti passo passo

Esempio 8.1 Un disco pieno di 10 kg e raggio 0.2 m su un asse fisso subisce una coppia di 4 N·m. Trova α.

1. $I = \tfrac{1}{2} \times 10 \times 0.2^2 = 0.2$ kg·m².
2. $\alpha = M/I$.

Risposta: 20 rad/s².

Esempio 8.2 Un cilindro pieno rotola senza strisciare lungo un pendio di 30°. Trova l'accelerazione e il minimo μ_s che impedisce lo strisciamento.

1. $a = g \sin 30° / (1 + \tfrac{1}{2}) = (2/3) g \sin 30°$.
2. Momenti rispetto a G: $f r = \tfrac{1}{2} m r^2 (a/r)$, quindi $f = \tfrac{1}{2} m a = (1/3) m g \sin 30°$; $\mu_s \geq f/N = (1/3) \tan 30°$.

Risposta: $a = 3.27$ m/s²; $\mu_s \geq 0.192$.

Esempio 8.3 Una massa di 4 kg pende da una fune avvolta su una puleggia a disco pieno di 2 kg e raggio 0.1 m. Trova accelerazione e tensione.

1. Massa: $4g - T = 4a$. Puleggia: $Tr = \tfrac{1}{2} M r^2 \, (a/r)$, quindi $T = \tfrac{1}{2} M a = a$.
2. $4g = 5a$.

Risposta: $a = 7.85$ m/s²; $T = 7.85$ N.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Trova I di un'asta di 3 kg e 2 m rispetto a un'estremità.

   $I = mL^2/3 = 4$ kg·m².

2. Quell'asta è incernierata a un'estremità e lasciata dalla posizione orizzontale. Trova α al rilascio.

   $\alpha = 3g/(2L) = 7.36$ rad/s².

3. Valori di esempio: la girante di una turbina idraulica ha $I = 5 \times 10^4$ kg·m² e una coppia netta di 1×10^6 N·m all'avviamento. Trova α.

$\alpha = 20\ \text{rad/s}^2$ (valori di esempio).

4. Trova l’accelerazione di una sfera piena che rotola lungo un pendio di 30°.

   $a = (5/7)\, g \sin 30° = 3.50\ \text{m/s}^2$.

Errori concettuali comuni

Mito: Solo la massa si oppone all’accelerazione angolare.

In realtà: Conta dove si trova la massa (I); un anello accelera più lentamente di un disco della stessa massa.

Mito: L’attrito rallenta sempre una ruota che rotola.

In realtà: Nel rotolamento puro l’attrito statico non compie lavoro ed è ciò che la fa ruotare.

Mito: $\Sigma M = I\alpha$ vale rispetto a qualsiasi punto.

In realtà: Usala rispetto a G o a un asse fisso; rispetto ad altri punti includi il momento di ma_G.

Flashcard

Momento d’inerzia di massa

$I = \int r^2\, dm$.

Disco, anello, sfera

$\frac{1}{2}mr^2$, mr^2, $\frac{2}{5}mr^2$.

Rod

$mL^2/12$ (centro), $mL^2/3$ (estremità).

Moto piano

$\Sigma F = ma_G$, $\Sigma M_G = I_G\alpha$.

a nel rotolamento

$g \sin\theta/(1 + I/(mr^2))$.

Verifica dello strisciamento

$f \le \mu_s N$.

Quiz di autoverifica

1. Quale arriva per primo in fondo al pendio?

anello

disco pieno

sfera piena

tutti pari

sfera piena. Il minore $I/(mr^2)$.

2. I di un disco pieno rispetto al suo asse:

mr^2

$\frac{1}{2}mr^2$

$\frac{2}{5}mr^2$

$mL^2/12$

$\frac{1}{2}mr^2$. Risultato classico.

3. Il teorema degli assi paralleli aggiunge...

md^2

mr

I/d

d^2

md^2. $I = I_G + md^2$.

4. Forma rotazionale della legge di Newton:

$M = I\alpha$

$M = m\alpha$

$F = I\omega$

$P = I\alpha$

$M = I\alpha$. Rispetto a G o a un asse fisso.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Le turbine idrauliche sono corpi rigidi messi in rotazione dall'acqua. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti descrive due grandi famiglie: le turbine a reazione, come Francis e Kaplan, che lavorano immerse nel flusso e sfruttano la pressione e l'acqua in movimento, e le turbine ad azione, come la ruota Pelton, le cui pale a cucchiaio sono colpite da getti liberi. Il DOE osserva che le turbine Francis sono comunemente usate per salti di circa 130–2000 piedi. Dimensionare il momento d'inerzia e la coppia della girante è la cinetica di questa unità.

Su Saving Planets: Fisica II

Fonti: U.S. DOE: Types of hydropower turbines (https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines) · OpenStax UP1, 10.7 Newton's second law for rotation (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-7-newtons-second-law-for-rotation)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 10.5 Calculating moments of inertia (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-5-calculating-moments-of-inertia): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 10.7 Newton's second law for rotation (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-7-newtons-second-law-for-rotation): Dinamica rotazionale.
- PhET: Torque (https://phet.colorado.edu/en/simulations/torque): Interattivo.

Guarda la lezione

Angular momentum for rigid bodies and the mass moment of inertia matrix, [I] (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/angular-momentum-for-rigid-bodies-and-the-mass-moment-of-inertia-matrix-i/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Corpi rigidi: metodi dell’energia e della quantità di moto

Energia cinetica dei corpi rigidi in traslazione, rotazione e rotolamento, lavoro delle coppie, potenza nelle macchine rotanti, impulso e momento angolare, e conservazione del momento angolare.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Scrivere T = ½mv_G² + ½I_Gω².
- Usare lavoro–energia per corpi che rotolano o ruotano attorno a un perno.
- Calcolare la potenza di una macchina rotante P = Mω.
- Applicare la conservazione del momento angolare.

Concetti chiave

- L’energia cinetica di un corpo rigido è T = ½mv_G² + ½I_Gω²; nel rotolamento parte dell’energia va nella rotazione.
- Una coppia M che ruota di un angolo θ compie lavoro Mθ; la potenza è P = Mω.
- Il momento angolare rispetto a G è H_G = I_Gω. Impulso angolare–momento angolare: I_Gω$_1$ + ∫M dt = I_Gω$_2$.
- Se nessun momento esterno agisce attorno a un asse, I ω si conserva: avvicinare la massa all’asse fa girare più veloce.
- Un volano accumula l’energia ½Iω²; farlo girare al doppio della velocità accumula quattro volte l’energia.

Equazioni chiave

$$T = \tfrac{1}{2} m v_G^2 + \tfrac{1}{2} I_G \omega^2$$

T=12mv_G^2+12I_Gω^2

Energia cinetica del corpo rigido

$$U = M\theta, \quad P = M\omega$$

U=Mθ, P=Mω

Lavoro e potenza di una coppia

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

I_1ω_1=I_2ω_2

Conservazione del momento angolare

$$v = \sqrt{\frac{2gh}{1 + I_G/(mr^2)}}$$

v=(2gh)/(1+I_G/(mr^2))

Rotolamento da un’altezza h

Esempi svolti passo passo

Esempio 9.1 Un volano con I = 10 kg·m² gira a 300 rad/s. Trova l’energia accumulata in J e kWh.

1. T = ½ × 10 × 300².
2. ÷ 3.6 × 10⁶.

Risposta: 450 kJ = 0.125 kWh.

Esempio 9.2 Una sfera piena rotola senza strisciare da ferma scendendo di 2 m. Trova la sua velocità.

1. mgh = ½mv² + ½(⅖mr²)(v/r)² = (7/10)mv².
2. v = √(10gh/7).

Risposta: 5.29 m/s.

Esempio 9.3 Una pattinatrice ruota a 2 rad/s con I = 4 kg·m², poi raccoglie le braccia fino a I = 1.6 kg·m². Trova la nuova velocità di rotazione.

1. 4 × 2 = 1.6ω.

Risposta: 5 rad/s.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un cilindro pieno rotola da fermo scendendo di 2 m. Trova la sua velocità.

   v = √(4gh/3) = 5.11 m/s.

2. Un disco pieno di 20 kg e raggio 0.5 m gira a 100 rad/s. Trova la sua energia cinetica.

   $I = 2.5\ \text{kg}\cdot\text{m}^2$; $T = 12.5$ kJ.

3. Un'asta di 2 m incernierata a un'estremità viene lasciata dalla posizione orizzontale. Trova ω quando pende verticale.

   $mg(L/2) = \tfrac{1}{2}(mL^2/3)\omega^2$, $\omega = \sqrt{(3g/L)} = 3.84$ rad/s.

4. Valori di esempio: l'albero di una turbina trasmette 1×10^6 N·m a 150 giri/min. Trova la potenza.

   $\omega = 15.7$ rad/s; $P = M\omega = 15.7$ MW (valori di esempio).

Errori concettuali comuni

Mito: Una palla che rotola ha solo energia cinetica $\tfrac{1}{2}mv^2$.
In realtà: Aggiungi $\tfrac{1}{2}I\omega^2$ per la rotazione.

Mito: Raccogliere le braccia aggiunge energia dal nulla.
In realtà: Il lavoro lo fanno i tuoi muscoli; si conserva il momento angolare, non l'energia cinetica.

Mito: Coppia e potenza sono la stessa cosa.
In realtà: $P = M\omega$; la stessa coppia dà più potenza a velocità maggiore.

Flashcard

T del corpo rigido

$\tfrac{1}{2}mv_G^2 + \tfrac{1}{2}I_G\omega^2$.

Lavoro di una coppia

$U = M\theta$.

Potenza all'albero

$P = M\omega$.

Momento angolare

$H_G = I_G\omega$.

Conservazione

$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$.

Volano

Accumula $\tfrac{1}{2}I\omega^2$.

Quiz di autoverifica

1. L'energia cinetica di un corpo che rotola include…

solo $\tfrac{1}{2}mv^2$

solo $\frac{1}{2}I\omega^2$

entrambi i termini

mgh

entrambi i termini. Traslazione più rotazione.

2. Potenza di un albero rotante:

$M\omega$

M/ω

$I\omega$

mv

$M\omega$. $P = M\omega$.

3. Dimezzare I senza momento esterno rende ω...

la metà

uguale

il doppio

quattro volte più grande

il doppio. $I\omega$ costante.

4. Raddoppiare la velocità di un volano moltiplica la sua energia per...

2

4

8

$\sqrt{2}$

4. ω^2.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

L'idroelettrico è una catena energetica dall'altezza alla rotazione all'elettricità. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti spiega che l'acqua scorre in un tubo chiamato condotta forzata, fa ruotare le pale di una turbina, e la turbina fa girare un generatore che produce elettricità per la rete. Le equazioni lavoro–energia e di potenza di questa unità, da mgh a $P = M\omega$, descrivono ogni anello di quella catena.

Su Saving Planets: Fisica II

Fonti: U.S. DOE: How hydropower works (https://www.energy.gov/eere/water/how-hydropower-works) · OpenStax UP1, 11.3 Conservation of angular momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 11.1 Rolling motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-1-rolling-motion): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 11.3 Conservation of angular momentum (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/11-3-conservation-of-angular-momentum): Momento angolare.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): Lezioni del MIT.

Guarda la lezione

Angular momentum for rigid bodies and the mass moment of inertia matrix, [I] (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/angular-momentum-for-rigid-bodies-and-the-mass-moment-of-inertia-matrix-i/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Vibrazioni meccaniche

Vibrazioni libere non smorzate, frequenza propria, metodi energetici, smorzamento viscoso e rapporto di smorzamento, vibrazioni forzate, risonanza e amplificazione.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trovare le frequenze proprie di sistemi massa-molla e pendoli.
- Usare il rapporto di smorzamento per classificare il moto e stimarlo dal decadimento.
- Trovare l'ampiezza a regime delle vibrazioni forzate.
- Spiegare la risonanza e perché uno smorzamento basso è pericoloso.

Concetti chiave

- Una massa su una molla segue mẍ + kx = 0 e vibra a ω_n = √(k/m); il periodo è T = 2π/ω_n. Un pendolo semplice ha ω_n = √(g/L) per piccole oscillazioni.
- Con smorzamento viscoso, mẍ + cẋ + kx = 0. Il rapporto di smorzamento ζ = c/(2√(km)) determina il comportamento: ζ < 1 oscilla e decade, ζ = 1 è critico, ζ > 1 rientra lentamente.
- Il decremento logaritmico δ = ln(x_1/x_2) tra picchi successivi dà ζ ≈ δ/(2π) per smorzamento leggero.
- Una forza armonica F_0 sin ωt produce una risposta a regime di ampiezza X = (F_0/k)/√((1 − r²)² + (2ζr)²), con r = ω/ω_n.
- In risonanza (r = 1) l'amplificazione è 1/(2ζ): con poco smorzamento, una piccola spinta ripetuta al ritmo giusto produce un grande moto.

Equazioni chiave

$$\omega_n = \sqrt{k/m}, \quad T = 2\pi/\omega_n$$

ω_n=/m, T=2π/ω_n

Pulsazione naturale

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}}, \quad \omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$$

=2, ω_d=ω_n1-^2

Smorzamento

$$X = \frac{F_0/k}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}}, \quad r = \frac{\omega}{\omega_n}$$

X=_0/k(1-r^2)^2+(2 r)^2, r=(ω)/(ω_n)

Risposta forzata

$$\left.\frac{X}{F_0/k}\right|_{r=1} = \frac{1}{2\zeta}$$

`.(X)/(F_0/k)|_r=1=12`

Amplificazione in risonanza

Esempi svolti passo passo

Esempio 10.1 Una massa di 2 kg è appesa a una molla con k = 800 N/m. Trova ω_n, f e T.

1. ω_n = √(800/2) = 20 rad/s.
2. f = ω_n/(2π); T = 1/f.

Risposta: 20 rad/s, 3.18 Hz, 0.314 s.

Esempio 10.2 Aggiungi uno smorzatore con c = 8 N·s/m. Trova ζ e la pulsazione smorzata.

1. ζ = 8/(2√(800 × 2)) = 8/80.
2. ω_d = 20√(1 − 0.01).

Risposta: ζ = 0.1; ω_d = 19.9 rad/s.

Esempio 10.3 Il sistema non smorzato è forzato da F_0 = 10 N a 15 rad/s. Trova l'ampiezza a regime.

1. F_0/k = 12.5 mm; r = 0.75.
2. X = 12.5/(1 − 0.5625).

Risposta: 28.6 mm.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Trova il periodo di un pendolo semplice di 1 m.

   T = 2π√(1/9.81) = 2.01 s.

2. Una macchina si abbassa di 10 mm sui suoi supporti. Stima la sua frequenza propria.

$\omega_n = \sqrt{(g/\delta)}$ dà $f = 4.98$ Hz.

3. Trova l'amplificazione in risonanza per $\zeta = 0.02$.

   $1/(2 \times 0.02) = 25$.

4. Due picchi successivi di una vibrazione libera misurano 10 mm e 7 mm. Stima ζ.

   $\delta = \ln(10/7) = 0.357$; $\zeta \approx \delta/(2\pi) = 0.057$.

Errori concettuali comuni

Mito: Una massa più pesante vibra più velocemente.
In realtà: $\omega_n = \sqrt{(k/m)}$: più massa, frequenza più bassa.

Mito: Più smorzamento significa sempre più sicurezza.
In realtà: Abbassa i picchi di risonanza ma trasmette anche più forza ad alta frequenza.

Mito: Il periodo di un pendolo dipende da quanto è pesante la massa.
In realtà: Per piccole oscillazioni, solo da L e g.

Flashcard

Pulsazione naturale

$\omega_n = \sqrt{(k/m)}$.

Pendolo

$\omega_n = \sqrt{(g/L)}$.

Rapporto di smorzamento

$\zeta = c/(2\sqrt{(km)})$.

Decremento logaritmico

$\zeta \approx \ln(x_1/x_2)/(2\pi)$.

Rapporto di frequenza

$r = \omega/\omega_n$.

Risonanza

$X/(F_0/k) = 1/(2\zeta)$ per $r = 1$.

Quiz di autoverifica

1. Frequenza propria di un sistema massa-molla:

$\sqrt{(m/k)}$

$\sqrt{(k/m)}$

k/m

km

√(k/m). ω_n = √(k/m).

2. Lo smorzamento critico è ζ =

0

0.5

1

2

1. Ritorno più rapido senza oscillazione.

3. In risonanza con ζ = 0.05, l'amplificazione è...

5

10

20

0.1

10. 1/(2ζ).

4. Forzare molto al di sopra di ω_n (r ≫ 1) rende la risposta...

enorme

piccola

a frequenza zero

critica

piccola. X → 0 al crescere di r.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La risonanza decide quali edifici sopravvivono ai terremoti. IRIS (oggi EarthScope) spiega che ogni edificio ha un periodo proprio, il tempo che impiega a oscillare avanti e indietro, e che quando il moto del suolo coincide con esso l'edificio subisce le oscillazioni più ampie e i danni maggiori. Uno studio dell'USGS su 41 edifici alti ha trovato rapporti di smorzamento nettamente inferiori al 3%, e la formula di amplificazione di questa unità mostra perché uno smorzamento basso rende pericolosa la risonanza. Gli ingegneri regolano i periodi e aggiungono smorzamento perché case, ospedali e infrastrutture restino in piedi.

Su Saving Planets: Soluzioni

Fonti: IRIS/EarthScope: Building resonance (https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/224) · USGS: Natural periods and damping of tall buildings (Çelebi, 2022) (https://www.usgs.gov/publications/preliminary-study-correlation-natural-periods-and-damping-percentages-tall-buildings)

Risorse di apprendimento gratuite

- OpenStax UP1, 15.1 Simple harmonic motion (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-1-simple-harmonic-motion): Sezione di un manuale gratuito.
- OpenStax UP1, 15.5 Damped oscillations (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-5-damped-oscillations): Smorzamento.
- OpenStax UP1, 15.6 Forced oscillations (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/15-6-forced-oscillations): Risonanza.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): Interattivo.
- PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab): Interattivo.

Guarda la lezione

Lecture 19: Introduction to Mechanical Vibration (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/resources/lecture-19-introduction-to-mechanical-vibration-1/) (in inglese)

MIT 2.003SC Engineering Dynamics (Fall 2011), MIT OpenCourseWare. Licenza: CC BY-NC-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) · Condizioni d'uso (https://ocw.mit.edu/pages/privacy-and-terms-of-use/). Link fornito solo per lo studio gratuito; Saving Planets non è affiliato a questa università né approvato da essa.

☐ **Ho finito questa unità**

Esercizi

Questi esercizi stanno dentro ogni unità. Falli su carta, poi apri la risposta.

1. Cinematica del punto in linea retta
   4 esercizi
2. Moto curvilineo: proiettili, coordinate normale–tangenziale e polari
   4 esercizi
3. Cinetica del punto: seconda legge di Newton
   4 esercizi
4. Lavoro, energia e potenza
   4 esercizi
5. Impulso, quantità di moto e urti
   4 esercizi
6. Sistemi di punti e massa variabile: getti e razzi
   4 esercizi
7. Cinematica piana dei corpi rigidi
   4 esercizi
8. Cinetica piana dei corpi rigidi: forza, massa e accelerazione
   4 esercizi
9. Corpi rigidi: metodi dell'energia e della quantità di moto
   4 esercizi
10. Vibrazioni meccaniche
    4 esercizi

Il laboratorio (Dynamics lab)

Il laboratorio è la parte pratica del corso. Qui è gratuito e solo per esercitarsi, senza crediti.

Ogni laboratorio si può svolgere in una simulazione PhET gratuita o con oggetti di casa. Fai rotolare e cadere solo oggetti morbidi e leggeri, libera il pavimento e non lanciare mai nulla verso persone, animali o finestre.

Riferimento per la sicurezza: OSHA: Hand and power tools (https://www.osha.gov/hand-power-tools)

Laboratorio A: Accelerazione costante su una rampa

SETTIMANA 2

Obiettivo: Misura la posizione in funzione del tempo per una palla che scende lungo una rampa poco inclinata, mostra che x cresce come t² e ricava l'accelerazione.

$$x = \tfrac{1}{2}at^2$$

`x=12at^2`

Da fermo; traccia x in funzione di t² per ottenere una retta di pendenza a/2

Procedimento

1. Appoggia un'estremità di una lunga tavola su un libro per creare una pendenza dolce; segna 0.25, 1.0, 2.25 e 4.0 m (o segni in scala).
2. Lascia andare una palla da ferma e filmala al rallentatore con un telefono; leggi il tempo a ogni segno.
3. Traccia x in funzione di t² e adatta una retta passante per l'origine; a = 2 × pendenza.
4. Facoltativo: confronta con PhET o con a = (5/7) g sin θ per una palla piena che rotola.

Tabella dei dati

t (s)	x (m) per a = 0.5 m/s²
1	0.25
2	1.00
3	2.25
4	4.00

Valori di esempio per a = 0.5 m/s²; la tua pendenza dà il tuo a.

Calcolo di esempio

1. x/t² = 0.25 m/s² in ogni riga, quindi a = 0.50 m/s².
2. Raddoppiare il tempo quadruplica la distanza.
3. Per una palla piena, a = 0.5 m/s² richiede sin θ = 0.5 × 7/(5 × 9.81), θ = 4.1°.

> **Sicurezza**
>
> - Libera il pavimento dove la palla finisce la corsa; usa una palla morbida.

Alternativa a casa o virtuale

- L’intero laboratorio si fa a casa.

PhET: Ladybug Motion 2D (https://phet.colorado.edu/en/simulations/ladybug-motion-2d)

Legame con il pianeta: Dati di accelerazione misurati come questi alimentano i cicli di guida che valutano l’efficienza energetica delle auto. FuelEconomy.gov (DOE/EPA): All-electric vehicles (https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio B: Gittata di un proiettile e angolo di lancio

SETTIMANA 3

Obiettivo: Misura come la gittata dipende dall'angolo di lancio e confronta con R = v_0^2 sin 2θ/g.

$$R = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$$

`R=(v_0^22θ)/(g)`

Terreno piano, senza resistenza

Procedimento

1. Apri PhET Projectile Motion, disattiva la resistenza dell'aria, imposta v_0 = 10 m/s e l'altezza di lancio a 0.
2. Lancia a 15°, 30°, 45°, 60° e 75° e registra la gittata.
3. Traccia R in funzione di sin 2θ; la pendenza dovrebbe essere v_0^2/g = 10.19 m.
4. Attiva la resistenza dell'aria e annota quale angolo dà ora la gittata massima.

Tabella dei dati

θ (°)	R (m)
15	5.10
30	8.83
45	10.19
60	8.83
75	5.10

Valori calcolati dalla formula con g = 9.81 m/s².

Calcolo di esempio

1. Angoli complementari (15° e 75°, 30° e 60°) danno la stessa gittata.
2. Massimo a 45°: R = v_0^2/g = 10.19 m.

> **Sicurezza**
>
> - Nessuna oltre al normale uso del computer; se provi una versione casalinga, lancia solo palle morbide e mai verso persone.

Alternativa a casa o virtuale

- Facoltativo: lancia una palla morbida ad angoli stimati in un cortile e misura le gittate; resistenza e altezza di lancio la rendono meno esatta.

PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion)

Legame con il pianeta: Le stesse equazioni, con la resistenza aggiunta, pianificano le traiettorie di ascesa dei razzi che mettono in orbita i satelliti di osservazione della Terra. NASA: International Space Station facts and figures (https://www.nasa.gov/international-space-station/space-station-facts-and-figures/)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio C: Rimbalzi, urti e coefficiente di restituzione

SETTIMANA 7

Obiettivo: Trova e per una palla che rimbalza dalle altezze di rimbalzo e verifica la conservazione della quantità di moto in urti simulati.

$$e = \sqrt{h_2/h_1}$$

e=_2/h_1

Palla lasciata cadere su un pavimento pesante

Procedimento

1. Lascia cadere una palla da 1.0 m davanti a un metro a nastro e filmala; leggi le prime tre altezze di rimbalzo.
2. Calcola e per ogni rimbalzo.
3. In PhET Collision Lab, fai urtare 2 kg a 5 m/s con 3 kg fermi con elasticità all'80% e confronta le velocità finali con l'esempio dell'unità 5.
4. Ripeti con elasticità allo 0% e al 100% e confronta quantità di moto totale ed energia cinetica prima e dopo.

Tabella dei dati

Rimbalzo	Altezza (m)	e
Caduta	1.00	—
1	0.64	0.80
2	0.41	0.80
3	0.26	0.80

Valori di esempio per una palla con e ≈ 0.8.

Calcolo di esempio

1. e = √(0.64/1.00) = 0.80; √(0.41/0.64) = 0.80; √(0.26/0.41) = 0.80.
2. Simulazione all'80%: v_1' = −0.4 m/s, v_2' = 3.6 m/s; quantità di moto di 10 kg·m/s prima e dopo.

> **Sicurezza**
>
> - Usa una palla morbida e tieni lontani gli oggetti fragili.

Alternativa a casa o virtuale

- La parte dei rimbalzi è la versione casalinga.

PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab)

Legame con il pianeta: Il test DART della NASA è stato un urto pianificato; misurare come si trasferisce la quantità di moto negli impatti è il modo in cui si progetta la difesa planetaria. NASA: DART impact changed asteroid's motion in space (https://www.nasa.gov/news-release/nasa-confirms-dart-mission-impact-changed-asteroids-motion-in-space/)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio D: La gara di rotolamento

SETTIMANA 11

Obiettivo: Fai gareggiare una palla, una lattina piena e un anello sulla stessa pendenza e spiega l'ordine con a = g sin θ/(1 + I/(mr²)).

$$a = \frac{g \sin\theta}{1 + I_G/(mr^2)}, \quad t = \sqrt{2L/a}$$

`a=(gθ)/(1+I_G/(mr^2)), t=2L/a`

Rotolamento da fermo lungo L

Procedimento

1. Inclina una tavola a 10° (inclinometro del telefono) e segna un percorso di 1 m.
2. Lascia andare coppie insieme: palla piena contro lattina di zuppa piena, lattina piena contro un anello o una lattina vuota (parete sottile).
3. Filma gli arrivi e cronometra ogni corsa; ripeti tre volte.
4. Confronta con i tempi previsti.

Tabella dei dati

Oggetto	I/(mr²)	a (m/s²)	t su 1 m (s)
Sfera piena	0.4	1.22	1.28
Cilindro pieno	0.5	1.14	1.33
Anello	1.0	0.852	1.53

Valori calcolati per θ = 10° e rotolamento senza strisciamento; una lattina di zuppa piena si comporta solo approssimativamente come un cilindro pieno perché il liquido può muoversi.

Calcolo di esempio

1. Sfera: a = 9.81 sin 10°/1.4 = 1.22 m/s²; t = √(2/1.22) = 1.28 s.
2. Anello: a = 9.81 sin 10°/2 = 0.852 m/s²; t = 1.53 s.
3. Massa e raggio si semplificano: conta solo il fattore di forma.

> **Sicurezza**
>
> - Afferra gli oggetti in fondo; tieni le dita lontano da sotto le lattine pesanti.

Alternativa a casa o virtuale

- L'intero laboratorio si fa a casa.

PhET: Torque (https://phet.colorado.edu/en/simulations/torque)

Legame con il pianeta: La posizione della massa di un rotore cambia la rapidità con cui accelera, il che conta per le turbine eoliche e idroelettriche. U.S. DOE: Types of hydropower turbines (https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-turbines)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio E: Periodo del pendolo e g

SETTIMANA 13

Obiettivo: Misura il periodo di un pendolo semplice a diverse lunghezze e ricava g da un'interpolazione.

$$T = 2\pi\sqrt{L/g} \;\Rightarrow\; T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$$

T=2π/g\ \ T^2=(4π^2)/(g)L

Traccia T² in funzione di L

Procedimento

1. Lega un piccolo peso a un filo e appendilo allo stipite di una porta. Imposta L (fino al centro del peso) a 0.25, 0.50 e 1.00 m.
2. Spostalo di circa 10° e cronometra 10 oscillazioni; dividi per 10.
3. Traccia T² in funzione di L e adatta una retta passante per l'origine; g = 4π²/pendenza.
4. Verifica in PhET Pendulum Lab che la massa non cambia il periodo.

Tabella dei dati

L (m)	T (s)
0.25	1.003
0.50	1.419
1.00	2.006

Valori calcolati per g = 9.81 m/s²; formula per piccoli angoli.

Calcolo di esempio

1. T²/L = 4.024 s²/m in ogni riga, quindi g = 4π²/4.024 = 9.81 m/s².
2. Quadruplicare L raddoppia T.

> **Sicurezza**
>
> - Usa un peso leggero e tieni l'oscillazione lontana dal viso.

Alternativa a casa o virtuale

- L'intero laboratorio si fa a casa.

PhET: Pendulum Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/pendulum-lab)

Legame con il pianeta: Ogni edificio ha anche un periodo proprio; farlo coincidere con lo scuotimento del suolo è ciò che rende pericolosi i terremoti. IRIS/EarthScope: Building resonance (https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/224)

- [ ] **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Laboratorio F: Vibrazione massa-molla e smorzamento

SETTIMANA 14

Obiettivo: Misura la frequenza propria in funzione della massa e stima il rapporto di smorzamento dai picchi decrescenti.

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{k/m}, \quad \zeta \approx \frac{\ln(x_1/x_2)}{2\pi}$$

`f=(1)/(2π)/m, ≈((x_1/x_2))/(2π)`

Frequenza propria e decremento logaritmico

Procedimento

1. In PhET Masses and Springs, imposta una molla da 10 N/m e appendi 100, 200 e 400 g; cronometra 10 oscillazioni per ciascuna.
2. Attiva lo smorzamento, rilascia e leggi tre altezze di picco successive sul righello.
3. A casa: appendi un sacchetto di monete a un elastico o a una molla morbida e ripeti con il cronometro del telefono.
4. Traccia f in funzione di 1/√m.

Tabella dei dati

m (kg)	f (Hz) per k = 10 N/m
0.1	1.592
0.2	1.125
0.4	0.796

Valori calcolati dalla formula; sotto si usano picchi di smorzamento di esempio di 10, 8 e 6.4 cm.

Calcolo di esempio

1. Quadruplicare m dimezza f: 1.592 → 0.796 Hz.
2. Picchi 10 → 8 → 6.4 cm: δ = ln 1.25 = 0.223, ζ ≈ 0.0355.
3. Con ζ = 0.0355, l'amplificazione in risonanza sarebbe 1/(2ζ) = 14.1.

> **Sicurezza**
>
> - Gli elastici possono spezzarsi; indossa occhiali e tieni la massa piccola.

Alternativa a casa o virtuale

- Il passaggio con l'elastico è la versione casalinga.

PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs)

Legame con il pianeta: Le misure dell'USGS mostrano che gli edifici alti hanno poco smorzamento, perciò gli ingegneri aggiungono smorzatori per ridurre il moto di risonanza. USGS: Natural periods and damping of tall buildings (Çelebi, 2022) (https://www.usgs.gov/publications/preliminary-study-correlation-natural-periods-and-damping-percentages-tall-buildings)

☐ **Ho completato questo laboratorio (reale o virtuale)**

Serie di esercizi per gli esami

Cronometrati: circa 10 minuti per problema. Poi confronta con le soluzioni complete.

Esercizi di preparazione all'esame intermedio (unità 1–5)

1. Un'auto accelera da ferma a 2.5 m/s² fino a 30 m/s. Trova il tempo e la distanza.
    1. $t = v/a$; $x = v^2/(2a)$.

    Risposta: 12 s; 180 m.
2. Una palla è lanciata a 25 m/s e 40° su terreno piano. Trova la gittata.
    1. $R = v_0^2 \sin 80°/g$.

    Risposta: 62.7 m.
3. Un blocco di 5 kg è tirato con 40 N su un pavimento con $\mu_k = 0.2$. Trova la sua accelerazione.
    1. $a = (40 - 0.2 \times 49.05)/5$.

    Risposta: 6.04 m/s².
4. Una massa di 1 kg cade da 5 m su una molla (k = 2000 N/m). Trova la compressione massima.
    1. $mg(5 + x) = \frac{1}{2}kx^2$, quindi $1000x^2 - 9.81x - 49.05 = 0$.

    Risposta: 0.226 m.
5. Una palla di 0.06 kg a 50 m/s viene fermata in 0.005 s. Trova la forza media.
    1. $F = m\Delta v/\Delta t$.

    Risposta: 600 N.

Serie di esercizi finale (tutte le unità)

1. Uno stadio con $v_e = 2800$ m/s ha $m_0/m_f = 3$. Trova il Δv ideale.

1. Δv = v_e ln 3.

Risposta: 3,076 m/s.

2. Una ruota di raggio 0.4 m rotola senza strisciare a 20 m/s. Trova ω.

    1. ω = v/r.

Risposta: 50 rad/s.

3. Un disco pieno di 4 kg e raggio 0.25 m subisce una coppia di 2 N·m. Trova α.

    1. I = ½mr² = 0.125 kg·m².

Risposta: 16 rad/s².

4. Un anello rotola senza strisciare da fermo scendendo di 1.5 m. Trova la sua velocità.

    1. mgh = mv² per un anello, v = √(gh).

Risposta: 3.84 m/s.

5. Una massa di 5 kg su una molla con k = 1250 N/m. Trova ω_n e f.

    1. ω_n = √(k/m).

Risposta: 15.8 rad/s; 2.52 Hz.

6. Trova l'amplificazione in risonanza per ζ = 0.05.

    1. 1/(2ζ).

Risposta: 10.

Formulario

$$v = dx/dt,\ a = dv/dt,\ a\,dx = v\,dv \qquad v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

$$R = v_0^2 \sin 2\theta / g \qquad a_n = v^2/\rho,\ a_t = \dot{v}$$

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2,\ a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} \qquad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$T_1 + \sum U = T_2,\ P = \vec{F}\cdot\vec{v} \qquad m\vec{v}_1 + \int \vec{F}dt = m\vec{v}_2,\ e = (v_2' - v_1')/(v_1 - v_2)$$

$$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$$

$$v = r\omega,\ a_t = r\alpha,\ a_n = r\omega^2$$

$$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{\omega} \times \vec{r}_{B/A}$$

$$\sum M_G = I_G\alpha,\ I = I_G + md^2$$

$$T = \tfrac{1}{2}mv_G^2 + \tfrac{1}{2}I_G\omega^2,\ P = M\omega$$

$$\omega_n = \sqrt{k/m},\ \zeta = c/(2\sqrt{km})$$

$$X = (F_0/k)/\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}$$

Costanti

Costante	Valore
Accelerazione di gravità standard, g	9.80665 m/s² (usiamo 9.81 m/s²)
Parametro gravitazionale terrestre, GM (arrotondato)	3.986 × 10¹⁴ m³/s²
Raggio medio terrestre (arrotondato)	6371 km
1 giro al minuto	2π/60 = 0.1047 rad/s
1 chilowattora	3.6 × 10⁶ J
1 miglio	1.609 km

Fonte: NIST: Standard acceleration of gravity (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gn)

Testi e simulazioni gratuiti

Usa questi libri, lezioni e simulazioni gratuiti insieme al corso.

- OpenStax University Physics Volume 1 (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/3-1-position-displacement-and-average-velocity): Libro di testo gratuito per la parte di fisica del corso.
- MIT OpenCourseWare 2.003SC Engineering Dynamics (https://ocw.mit.edu/courses/2-003sc-engineering-dynamics-fall-2011/): Lezioni, esercizi ed esami del MIT, gratuiti.
- MIT OpenCourseWare 8.01SC Classical Mechanics (in inglese) (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/): Lezioni gratuite di meccanica del MIT.
- PhET: Projectile Motion (https://phet.colorado.edu/en/simulations/projectile-motion): Traiettorie.
- PhET: Collision Lab (https://phet.colorado.edu/en/simulations/collision-lab): Quantità di moto e urti.
- PhET: Masses and Springs (https://phet.colorado.edu/en/simulations/masses-and-springs): Vibrazioni e smorzamento.

Glossario

Momento angolare
H = r × mv per una particella; I_Gω per un corpo rigido in moto piano.

Coefficiente di restituzione
Rapporto tra velocità di separazione e di avvicinamento in un urto.

Accelerazione di Coriolis
Termine 2ṙθ̇ in coordinate polari.

Rapporto di smorzamento
ζ = c/(2√(km)); 1 è il caso critico.

Impulso
Integrale della forza nel tempo.

Centro di istantanea rotazione
Punto di un corpo con velocità nulla in un istante.

Diagramma cinetico
Schema che mostra ma_G e I_Gα.

Decremento logaritmico
ln del rapporto tra picchi successivi.

Momento d’inerzia di massa
I = ∫r² dm.

Pulsazione naturale
Frequenza della vibrazione libera, √(k/m).

Accelerazione normale
v^2/ρ, verso il centro di curvatura.

Potenza
Rapidità con cui si compie lavoro, F·v o Mω.

Proiettile
Corpo che si muove sotto la sola gravità.

Risonanza
Grande risposta quando la forzante coincide con una frequenza propria.

Equazione del razzo
$\Delta v = v_e \ln(m_0/m_f)$.

Rotolamento senza strisciamento
v_G = rω; punto di contatto fermo.

Accelerazione tangenziale
dv/dt lungo la traiettoria.

Teorema dell’energia cinetica
$T_1 + \Sigma U = T_2$.

Griglia di autovalutazione

Non si assegnano voti né crediti. Usala per valutare onestamente a che punto sei in ogni unità.

Livello	Come si presenta
4 · Padronanza	Sceglie le coordinate e il metodo migliore (forze, energia o quantità di moto), disegna diagrammi di corpo libero e cinetici, e controlla unità e casi limite.
3 · Competente	Risolve gli esercizi con qualche errore occasionale di segno o di unità.
2 · In sviluppo	Segue gli esempi svolti ma confonde i metodi o dimentica i termini di rotazione.
1 · Principiante	Inserisce numeri nelle formule senza diagrammi; deve rivedere l'unità.

Pesi suggeriti se vuoi un punteggio

Parte	Peso
Esercizi	25%
Laboratori	20%
Serie di esercizi di metà corso	25%
Serie di esercizi finale	30%

Punta al livello 3 o superiore in ogni unità prima di passare al corso successivo.

Corsi correlati

- Statica ENGR 211
- Scienza delle costruzioni ENGR 213
- Analisi III MATH 210
- Tutti i corsi