Ultimo aggiornamento: November 1, 2026

🗺️ Percorso di quattro anni · Anno 2, Autunno

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 statica del secondo anno di ingegneria. Si ispira ai temi e alla profondità di MIT 2.001 (la parte di statica di Mechanics and Materials I, su MIT OpenCourseWare), Purdue ME 270 e Georgia Tech COE 2001, e al libro aperto gratuito Engineering Statics: Open and Interactive e a OpenStax University Physics Volume 1 (Chapter 12), a cui rimandiamo ovunque. Nessuno di questi autori o istituti approva questa pagina.
>
> Cosa aggiungiamo: ogni unità è collegata a un lavoro reale su energia pulita, infrastrutture o spazio con una fonte pubblica citata (turbine eoliche, eolico galleggiante offshore, ponti, diga di Hoover, stazione spaziale, frane, materiali da costruzione), 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

L’energia pulita e le infrastrutture resilienti poggiano sulla statica. La torre di una turbina eolica deve resistere al momento ribaltante del vento sul rotore, una piattaforma galleggiante offshore è tenuta in posizione da linee di ormeggio in equilibrio, una diga trasforma la pressione dell’acqua in forze che il suo calcestruzzo può sopportare, e ogni ponte viene verificato sommando forze e momenti.

La statica è anche il modo di costruire più leggero e sprecare meno: una travatura o un telaio ben progettati usano meno acciaio, calcestruzzo e legno per lo stesso compito, e le strutture che durano

di più tengono i materiali fuori dalle discariche. 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 211).
- 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

- Fisica I: forze, leggi di Newton, momento torcente e diagrammi di corpo libero.
- Analisi I e II: derivate e integrali (per carichi distribuiti, baricentri e diagrammi del momento).
- Vettori: componenti, prodotto scalare e vettoriale (ripassati nell'unità 1).
- Analisi III e Algebra lineare aiutano nei problemi 3D ma non sono richieste.

Come studiare

- Disegna prima un diagramma di corpo libero, ogni volta. La maggior parte degli errori di statica è una forza mancante o in più nel diagramma.
- Scegli assi e un polo dei momenti che eliminino quante più incognite possibile.
- Risolvi prima con i simboli, poi inserisci i numeri in unità SI e controlla unità e segni alla fine.
- Conta incognite ed equazioni indipendenti prima di risolvere, per sapere se il problema si risolve con la sola statica.
- Verifica la risposta con un'equazione che non hai usato (per esempio, un secondo polo dei momenti).
- Fai ogni esercizio su carta prima di aprire la risposta e ripeti i quiz qualche giorno dopo.

Che cosa ti serve

- Un computer o un tablet per le simulazioni PhET gratuite (funzionano nel browser).
- Una bilancia digitale pesabagagli o da cucina, spago e alcune masse note (vanno bene bottiglie d'acqua o sacchetti di riso con la massa sull'etichetta).
- Un righello da 30 cm, una matita, monete o rondelle e un'app goniometro o inclinometro sullo smartphone.
- Bastoncini di legno o cartoncino rigido, una pistola per colla a caldo o colla vinilica, e spilli.
- Un foglio di cartone ondulato, forbici, una puntina e un filo con un piccolo peso (un filo a piombo).
- Un libro con copertina rigida, una scatola piccola e una tazza liscia o un palo tondo per la prova di attrito della fune.

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	Forze e vettori in 2D e 3D	Unità, forze come vettori, componenti 2D e risultanti	Engineering Statics Ch. 1–2
2	Forze e vettori in 2D e 3D	Vettori 3D, vettori posizione e versori, prodotto scalare; Laboratorio A	Ch. 2
3	Equilibrio di un punto materiale	Diagrammi di corpo libero, equilibrio del punto in 2D e 3D, molle; Laboratorio B	Ch. 3; OpenStax UP1 12.1
4	Momenti, coppie e sistemi equivalenti	Momenti in 2D e 3D, prodotto vettoriale, Varignon	Ch. 4.1–4.4
5	Momenti, coppie e sistemi equivalenti	Momento rispetto a un asse, coppie, sistemi equivalenti, carichi distribuiti; Laboratorio C	Ch. 4.5–4.8
6	Equilibrio del corpo rigido in 2D	Vincoli, equilibrio del corpo rigido in 2D, isostaticità	Ch. 5.1–5.4; UP1 12.2
7	Equilibrio del corpo rigido in 3D	Equilibrio del corpo rigido in 3D; esercitazione per l'esame intermedio	Ch. 5.5–5.6
8	Travature reticolari: metodo dei nodi e metodo delle sezioni	Travature: nodi, aste scariche, sezioni; Laboratorio D	Ch. 6.1–6.4
9	Telai e macchine	Telai e macchine	Ch. 6.5–6.6

Settimana	Unità	Argomenti	Lettura
10	Baricentri, carichi distribuiti, pressione dei fluidi e momenti d’inerzia di area	Baricentri e centri di gravità, parti composte; Laboratorio E	Ch. 7
11	Baricentri, carichi distribuiti, pressione dei fluidi e momenti d’inerzia di area	Carichi distribuiti, pressione dei fluidi, momenti d’inerzia di area	Ch. 7, Ch. 10; UP1 14.1
12	Sollecitazioni interne: diagrammi di taglio e momento flettente, e cavi	Sollecitazioni interne, diagrammi di taglio e momento	Ch. 8.1–8.2
13	Sollecitazioni interne: diagrammi di taglio e momento flettente, e cavi	Relazioni carico–taglio–momento, cavi	Ch. 8.3
14	Attrito	Attrito radente, cunei, scale, attrito delle cinghie; Laboratorio F	Ch. 9; UP1 6.2
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

Forze e vettori in 2D e 3D

Che cos'è la statica, unità, forze come vettori, componenti, risultanti, versori e vettori posizione in 3D, e il prodotto scalare per angoli e proiezioni.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Scomporre una forza in componenti in 2D e 3D.
- Sommare forze per trovare una risultante e la sua direzione.
- Scrivere una forza lungo una retta definita da due punti.
- Usare il prodotto scalare per trovare angoli e proiezioni.

Concetti chiave

- La statica studia corpi con accelerazione nulla, quindi le forze su di essi si bilanciano: ΣF = 0 e ΣM = 0.
- Una forza ha modulo, direzione e un punto (o retta) di applicazione. Nel SI si misura in newton; 1 kg pesa 9.81 N.
- In 2D, una forza F ad angolo θ dall'asse x ha componenti F cos θ e F sin θ. Le risultanti si sommano componente per componente.
- In 3D, scrivi F = F û, dove û è un versore. Lungo una retta da A a B, û = (r_B − r_A)/|r_B − r_A|.
- Il prodotto scalare A·B = |A||B| cos θ dà l'angolo tra due vettori e la componente di una forza lungo qualsiasi retta.

Equazioni chiave

$$F_x = F\cos\theta, \quad F_y = F\sin\theta$$

F_x=Fθ, F_y=Fθ

Componenti in 2D

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad \theta = \tan^{-1}(R_y/R_x)$$

R=_x^2+R_y^2, θ=^-1(R_y/R_x)

Risultante

$$\vec{F} = F\,\hat{u}_{AB} = F\,\frac{\vec{r}_B - \vec{r}_A}{|\vec{r}_B - \vec{r}_A|}$$

F=F u_AB=F (r_B- r_A)/(| r_B- r_A|)

Forza lungo una retta

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = |\vec{A}||\vec{B}| \cos\theta$$

A· B=| A|| B|θ

Prodotto scalare

Esempi svolti passo passo

Esempio 1.1 Una forza di 500 N agisce a 30° sopra l'asse +x. Trova le sue componenti.

1. F_x = 500 cos 30° = 433 N.
2. F_y = 500 sin 30° = 250 N.

Risposta: F = (433, 250) N.

Esempio 1.2 Somma F_1 = 300 N lungo +x e F_2 = 400 N a 120° da +x.

1. F_2 = (400 cos 120°, 400 sin 120°) = (−200, 346.4) N.
2. R = (100, 346.4) N, quindi |R| = √(100² + 346.4²).
3. θ = $\tan^{-1}$(346.4/100).

Risposta: 360.6 N a 73.9° da +x.

Esempio 1.3 Un cavo tira con 1.2 kN da A(0, 0, 0) verso B(2, 3, 6) m. Scrivi la forza come vettore.

1. r_AB = (2, 3, 6) m, lunghezza √(4 + 9 + 36) = 7 m.
2. û = (2/7, 3/7, 6/7).
3. F = 1200 û.

Risposta: F = (343, 514, 1029) N.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Trova l'angolo tra A = (3, 4, 0) e B = (4, 0, 3).

   A·B = 12, |A| = |B| = 5, cos θ = 0.48, θ = 61.3°.

2. Trova la componente di F = (100, 200, −50) N lungo û = (0.6, 0.8, 0).

$F \cdot \hat{u} = 60 + 160 = 220$ N.

3. Trova gli angoli direttori di $F = (200, -300, 600)$ N.

   $|F| = 700$ N; $\alpha = \cos^{-1}(2/7) = 73.4°$, $\beta = \cos^{-1}(-3/7) = 115.4°$, $\gamma = \cos^{-1}(6/7) = 31.0°$.

4. Valori di esempio: una forza di 50 kN su una struttura agisce 20° sopra l'orizzontale. Trova le sue parti orizzontale e verticale.

   $F_x = 50 \cos 20° = 47.0$ kN; $F_y = 50 \sin 20° = 17.1$ kN.

Errori concettuali comuni

Mito: Le forze si sommano come numeri: 300 N + 400 N = 700 N.

In realtà: Si sommano come vettori; 300 N e 400 N ad angolo retto danno 500 N.

Mito: Un versore si misura in newton.

In realtà: Un versore è adimensionale e ha lunghezza 1; è il modulo a portare le unità.

Mito: Massa e peso sono la stessa cosa.

In realtà: La massa è in kg; il peso è una forza, mg, in newton.

Flashcard

Statica

Corpi fermi o a velocità costante: $\Sigma F = 0$, $\Sigma M = 0$.

Componenti

$F_x = F \cos \theta$, $F_y = F \sin \theta$.

Versore

$\hat{u} = r/|r|$, lunghezza 1.

Forza lungo una retta

$F = F\,(r_B - r_A)/|r_B - r_A|$.

Prodotto scalare

$A \cdot B = |A||B| \cos \theta$.

Peso

$W = mg$, 9.81 N per kg.

Quiz di autoverifica

1. La risultante di 3 kN verso est e 4 kN verso nord è...

7 kN

5 kN

1 kN

12 kN

5 kN. $\sqrt{(3^2 + 4^2)} = 5$.

2. Un versore ha lunghezza...

0

1

F

dipende dalle unità

1. Per definizione.

3. Il prodotto scalare di vettori perpendicolari è...

1

0

$|A||B|$

negativo

0. $\cos 90° = 0$.

4. L'unità SI di forza è il...

chilogrammo

newton

pascal

joule

newton. 1 N = 1 $kg \cdot m/s^2$.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La pala di una turbina eolica è una lezione sui vettori forza. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti spiega che il vento che scorre su una pala crea sia portanza sia resistenza, e che la portanza è maggiore della resistenza, facendo girare il rotore. Gli ingegneri scompongono queste forze lungo il rotore e perpendicolarmente a esso per dimensionare pale, mozzo e torre.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · Engineering Statics, Chapter 2: Forces and other vectors (https://engineeringstatics.org/Chapter_02.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 2 Forces and other vectors (https://engineeringstatics.org/Chapter_02.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 2.1 Scalars and vectors (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/2-1-scalars-and-vectors): Basi dei vettori.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Interattivo.

☐ **Ho finito questa unità**

Equilibrio di un punto materiale

Diagrammi di corpo libero, equilibrio di forze concorrenti in 2D e 3D, cavi, pulegge e molle.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Disegnare un diagramma di corpo libero completo di un punto materiale.
- Risolvere l'equilibrio in 2D con due incognite.
- Risolvere l'equilibrio in 3D con le forze dei cavi scritte come vettori.
- Modellare le molle con F = kδ.

Concetti chiave

- Un punto materiale è un corpo abbastanza piccolo che tutte le forze agiscono in un punto, quindi conta solo ΣF = 0 (due equazioni in 2D, tre in 3D).
- Un diagramma di corpo libero (DCL) isola il corpo e mostra ogni forza esterna su di esso, con direzioni note e incognite etichettate.
- Un cavo o una fune può solo tirare, lungo la propria linea. Su una puleggia ideale la tensione è la stessa da entrambi i lati.
- Una molla lineare tira o spinge con F = kδ, dove δ è la variazione rispetto alla lunghezza a riposo.
- Se ottieni una tensione negativa, il verso ipotizzato era sbagliato; un cavo non può spingere, quindi la configurazione va cambiata.

Equazioni chiave

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0$$

`F_x=0, F_y=0`

Equilibrio del punto in 2D

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \;\Rightarrow\; \sum F_x = \sum F_y = \sum F_z = 0$$

`F= 0\ \ F_x= F_y= F_z=0`

Equilibrio del punto in 3D

$$F = k\,\delta$$

Molla lineare

Esempi svolti passo passo

Esempio 2.1 Una massa di 100 kg è appesa a due cavi, ciascuno a 30° sopra l'orizzontale. Trova la tensione.

1. $W = 100 \times 9.81 = 981$ N.
2. Verticale: $2T \sin 30° = 981$.

Risposta: $T = 981$ N in ciascun cavo.

Esempio 2.2 Una massa di 50 kg è appesa al cavo B a 30° e al cavo C a 45° sopra l'orizzontale, da lati opposti. Trova entrambe le tensioni.

1. $W = 490.5$ N.
2. Orizzontale: $T_B \cos 30° = T_C \cos 45°$.
3. Verticale: $T_B \sin 30° + T_C \sin 45° = 490.5$, quindi $T_B\,(0.5 + 0.866) = 490.5$.

Risposta: $T_B = 359.1$ N, $T_C = 439.8$ N.

Esempio 2.3 Una molla con $k = 2000$ N/m sostiene ferma una massa di 20 kg. Di quanto si allunga?

1. $k\delta = mg = 196.2$ N.
2. $\delta = 196.2/2000$.

Risposta: 0.0981 m (98.1 mm).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un blocco di 10 kg poggia su un piano liscio inclinato di 25°, trattenuto da un cavo parallelo al pendio. Trova la tensione e la reazione normale.

   $T = mg \sin 25° = 41.5$ N; $N = mg \cos 25° = 88.9$ N.

2. Un carico di 600 N è appeso a tre cavi fissati ai punti $(2, 0, 4)$, $(-1, 1.732, 4)$ e $(-1, -1.732, 4)$ m. Trova ciascuna tensione.

   Ogni cavo è lungo $\sqrt{20} = 4.47$ m con quota verticale $4/4.47 = 0.894$; per simmetria $3T(0.894) = 600$, quindi $T = 223.6$ N.

3. Due brache, ciascuna a 60° sopra l'orizzontale, sollevano un carico di 2000 kg. Trova la tensione nelle brache.

$T = 19620/(2 \sin 60°) = 11327$ N ≈ 11.3 kN.

4. Perché la tensione delle brache aumenta quando il loro angolo si appiattisce?

   $T = W/(2 \sin \theta)$; per $\theta \to 0$, $\sin \theta \to 0$ e T cresce senza limite.

Errori concettuali comuni

Mito: La tensione in un cavo è uguale al peso che sostiene.

In realtà: Solo se il cavo è verticale; inclinato deve essere maggiore.

Mito: Le forze che il corpo esercita sui vincoli vanno nel suo DCL.

In realtà: Nel DCL vanno solo le forze che agiscono sul corpo.

Mito: Un oggetto più pesante su una fune di puleggia rende la tensione diversa ai due lati.

In realtà: Una puleggia ideale senza attrito mantiene la stessa tensione su entrambi i lati.

Flashcard

Punto materiale

Tutte le forze si incontrano in un punto; solo $\Sigma F = 0$.

Diagramma di corpo libero

Il corpo isolato con tutte le forze esterne che agiscono su di esso.

Cavo

Tira solo lungo la propria linea.

Puleggia ideale

Stessa tensione su entrambi i lati.

Molla

$F = k\delta$.

Risposta negativa

Il verso ipotizzato era sbagliato.

Quiz di autoverifica

1. In 3D, quante equazioni indipendenti dà un punto materiale in equilibrio?

1

2

3

6

3. $\Sigma F_x = \Sigma F_y = \Sigma F_z = 0$.

2. Un cavo può...

spingere

tirare

spingere o tirare

si torcono

tirare. I cavi lavorano solo a trazione.

3. Due cavi reggono un peso a 30° ciascuno. Appiattirli a 15° rende la tensione...

minore

uguale

maggiore

zero

maggiore. $T = W/(2 \sin \theta)$.

4. Il primo passo di qualsiasi problema di statica è...

inserire i numeri

disegnare un diagramma di corpo libero

calcolare i momenti

tirare a indovinare

disegnare un diagramma di corpo libero. Il DCL mostra cosa sommare.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti osserva che gran parte del potenziale eolico offshore si trova su acque troppo profonde per fondazioni fisse ancorate al fondale, quindi lì le turbine hanno bisogno di piattaforme galleggianti. Una piattaforma galleggiante resta in posizione perché linee di ormeggio, spinta di galleggiamento e peso si bilanciano: è l'equilibrio del punto e del corpo rigido su scala gigantesca.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: U.S. DOE: Floating Offshore Wind Shot (https://www.energy.gov/eere/wind/floating-offshore-wind-shot) · Engineering Statics, Chapter 3: Equilibrium of particles (https://engineeringstatics.org/Chapter_03.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 3 Equilibrium of particles (https://engineeringstatics.org/Chapter_03.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 12.1 Conditions for static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-1-conditions-for-static-equilibrium): Il punto di vista della fisica.
- PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics): Forze bilanciate.
- PhET: Hooke's Law (https://phet.colorado.edu/en/simulations/hookes-law): Molle.

☐ **Ho finito questa unità**

Momenti, coppie e sistemi equivalenti

Momento di una forza in 2D e 3D, prodotto vettoriale, teorema di Varignon, momento rispetto a un asse, coppie, sistemi di forze equivalenti e risultanti dei carichi distribuiti.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trovare il momento di una forza rispetto a un punto in 2D (scalare) e in 3D (prodotto vettoriale).
- Trovare il momento di una forza rispetto a un asse.
- Lavorare con le coppie e sostituire un sistema di forze con una forza e una coppia equivalenti.
- Sostituire un carico distribuito con la sua risultante.

Concetti chiave

- Il momento di una forza rispetto a un punto O è M_O = r × F, dove r va da O a un punto qualsiasi della retta d'azione della forza. In 2D il suo modulo è F per la distanza perpendicolare d.
- Teorema di Varignon: il momento di una forza è uguale alla somma dei momenti delle sue componenti, quindi M_z = xF_y − yF_x.
- Il momento rispetto a un asse è la componente di M_O lungo quell'asse: M_a = û_a·(r × F).
- Una coppia è formata da due forze uguali, opposte e parallele. Il suo momento Fd è lo stesso rispetto a ogni punto, quindi è un vettore libero.
- Qualsiasi sistema di forze può essere sostituito da una forza e una coppia in un punto qualsiasi. Un carico distribuito w(x) equivale a una forza pari alla sua area, applicata nel suo baricentro.

Equazioni chiave

$$M_O = Fd, \quad \vec{M}_O = \vec{r} \times \vec{F}$$

`M_O=Fd, M_O= r× F`

Momento di una forza

$$M_z = xF_y - yF_x$$

`M_z=xF_y-yF_x`

Varignon in 2D

$$M_a = \hat{u}_a \cdot (\vec{r} \times \vec{F})$$

`M_a= u_a·( r× F)`

Momento rispetto a un asse

$$F_R = \int w\,dx, \quad \bar{x} = \frac{\int x\,w\,dx}{\int w\,dx}$$

```
F_R= w dx, x=( x w dx)/( w dx)
```

Risultante del carico distribuito

Esempi svolti passo passo

Esempio 3.1 Una trazione di 200 N agisce all’estremità di una chiave di 0.40 m, a 60° rispetto al manico. Trova il momento rispetto al bullone.

1. Parte perpendicolare della forza: 200 sin 60°.
2. M = 0.40 × 200 sin 60°.

Risposta: 69.3 N·m.

Esempio 3.2 Trova M_O per r = (2, 1, 0) m e F = (0, 0, 500) N.

1. r × F = (1 × 500 − 0, 0 − 2 × 500, 0).
2. |M| = √(500² + 1000²).

Risposta: M_O = (500, −1000, 0) N·m, modulo 1118 N·m.

Esempio 3.3 Una trave porta un carico uniforme di 4 kN/m su 5 m e, altrove, un carico triangolare che sale da 0 a 6 kN/m su 3 m. Trova ciascuna risultante.

1. Uniforme: area 4 × 5 a metà.
2. Triangolo: area ½ × 6 × 3 a due terzi dall’estremo nullo.

Risposta: 20 kN a 2.5 m; 9 kN a 2 m dall’estremo nullo.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Due forze da 150 N formano una coppia con bracci distanti 0.25 m. Trova il momento della coppia.

   M = Fd = 37.5 N·m, lo stesso rispetto a ogni punto.

2. F = (300, 400) N agisce in (2, 1.5) m. Trova M rispetto all’origine.

$M_z = xF_y - yF_x = 800 - 450 = 350$ N·m, antiorario.

3. Valori di esempio: il vento spinge il rotore di una turbina con 400 kN su un mozzo a 100 m dal suolo. Trova il momento ribaltante alla base.

   $M = 400$ kN × 100 m = 40 MN·m (valori di esempio).

4. Sostituisci 2 kN in $x = 3$ m e 4 kN in $x = 6$ m (entrambe verso il basso) con un'unica forza.

   $F_R = 6$ kN in $\bar{x} = (2 \times 3 + 4 \times 6)/6 = 5$ m.

Errori concettuali comuni

Mito: Momento = forza × distanza dal punto di applicazione.
In realtà: Usa la distanza perpendicolare alla retta d'azione.

Mito: Una coppia tende a spostare un corpo lateralmente.
In realtà: Una coppia ha forza risultante nulla; produce solo rotazione.

Mito: $r \times F = F \times r$.
In realtà: Il prodotto vettoriale cambia segno quando si inverte l'ordine.

Flashcard

Momento

$M_O = r \times F$; modulo Fd.

Varignon

Momento di una forza = somma dei momenti delle sue componenti.

Momento rispetto a un asse

$M_a = \hat{u} \cdot (r \times F)$.

Coppia

Forze uguali, opposte e parallele; momento Fd ovunque.

Sistema equivalente

Una forza più una coppia in un punto qualsiasi.

Carico distribuito

Risultante = area, applicata nel baricentro.

Quiz di autoverifica

1. Spostare una forza lungo la propria retta cambia il suo momento rispetto a O...

raddoppiandolo

niente

invertendolo

annullandolo

niente. La distanza perpendicolare non cambia.

2. Il momento di una coppia rispetto a punti diversi è...

diverso

uguale

zero

non definito

uguale. Una coppia è un vettore libero.

3. Un carico uniforme w su una lunghezza L ha come risultante...

w

wL in L/2

wL in L

$wL^2/2$

wL in L/2. Area nel baricentro.

4. L'unità di misura del momento nel SI è...

N

N·m

N/m

Pa

N·m. Forza × distanza.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Torri alte significano grandi momenti. Il Dipartimento dell'Energia degli Stati Uniti afferma che le turbine eoliche offshore tendono a essere enormi e più alte della Statua della Libertà, e che le turbine più grandi sono più convenienti. La spinta del vento su un rotore molto al di sopra della base genera un grande momento ribaltante, e la torre, la fondazione o la piattaforma galleggiante deve fornire un momento uguale e opposto. Un calcolo di momento come quello degli esercizi è il punto di partenza di ogni progetto di torre.

Su Saving Planets: Fisica I

Fonti: DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work) · Engineering Statics, Chapter 4: Moments and static equivalence (https://engineeringstatics.org/Chapter_04.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 4 Moments and static equivalence (https://engineeringstatics.org/Chapter_04.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 10.6 Torque (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/10-6-torque): I momenti in fisica.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Interattivo.

Guarda la lezione

15.4 Momentum of a System of Point Particles (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/15-3/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

Equilibrio del corpo rigido in 2D

Vincoli e relative reazioni, diagrammi di corpo libero dei corpi rigidi, le tre equazioni di equilibrio nel piano, membrature a due e tre forze e determinatezza statica.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Sostituire ogni vincolo (cerniera, carrello, incastro) con le reazioni corrette.
- Calcolare le reazioni vincolari con ΣF_x = ΣF_y = ΣM = 0.
- Riconoscere le membrature a due forze.
- Stabilire se un corpo è isostatico, iperstatico o vincolato in modo improprio.

Concetti chiave

- Un corpo rigido richiede sia ΣF = 0 sia ΣM = 0. In 2D sono tre equazioni: ΣF_x = 0, ΣF_y = 0 e ΣM_A = 0 rispetto a un punto A qualsiasi.
- Vincoli: un carrello dà una forza normale alla sua superficie, una cerniera dà due componenti di forza e un incastro dà due forze e una coppia.
- Calcola i momenti rispetto al punto in cui si incontrano più incognite; spesso si ottiene un'incognita per equazione.
- Una membratura a due forze (forze in due soli punti, nessun momento) porta forze uguali e opposte lungo la retta che unisce quei punti.
- Con più reazioni incognite che equazioni il corpo è iperstatico; con reazioni tutte parallele o tutte concorrenti è vincolato in modo improprio.

Equazioni chiave

$$\sum F_x = 0, \quad \sum F_y = 0, \quad \sum M_A = 0$$

```
F_x=0, F_y=0, M_A=0
```

Equilibrio del corpo rigido in 2D

$$\text{unknowns} = 3 \;\Rightarrow\; \text{determinate (if properly supported)}$$

```
unknowns=3\ \ determinate (if properly supported)
```

Determinatezza in 2D

Esempi svolti passo passo

Esempio 4.1 Una trave semplicemente appoggiata di 6 m (cerniera in A, carrello in B) porta 12 kN a 2 m da A. Trova le reazioni.

1. $\Sigma M_A = 0$: $6R_B = 12 \times 2$.
2. $\Sigma F_y = 0$: $R_A = 12 - R_B$.

Risposta: $R_B = 4$ kN, $R_A = 8$ kN.

Esempio 4.2 Una mensola di 3 m porta 2 kN/m lungo tutta la lunghezza più 5 kN in punta. Trova le reazioni all'incastro.

1. Risultante distribuita di 6 kN a 1.5 m.
2. $V = 6 + 5$; $M = 6 \times 1.5 + 5 \times 3$.

Risposta: $V = 11$ kN verso l'alto, $M = 24$ kN·m all'incastro.

Esempio 4.3 Una trave di 8 m ha una cerniera in $x = 0$, un carrello in $x = 6$ m e un carico uniforme di 3 kN/m su tutta la lunghezza. Trova le reazioni.

1. Risultante di 24 kN in $x = 4$ m.
2. ΣM_A: $6R_B = 24 \times 4$.
3. $R_A = 24 - R_B$.

Risposta: $R_B = 16$ kN, $R_A = 8$ kN.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un braccio orizzontale di 4 m è incernierato a una parete; un cavo dalla sua punta alla parete forma 30° con il braccio. Un carico di 500 kg è appeso in punta. Trova la tensione del cavo e le reazioni della cerniera (trascura il peso del braccio).

   ΣM_{pin}: $T \sin 30° \times 4 = 4905 \times 4$, $T = 9810$ N; $A_x = T \cos 30° = 8496$ N; $A_y = 4905 - 4905 = 0$.

2. Una trave ha una cerniera e due carrelli. È isostatica?

   Quattro reazioni incognite, tre equazioni: iperstatica di primo grado.

3. Valori di esempio: una campata di ponte di 10 m porta un gruppo di assi di camion da 80 kN a 4 m dall'appoggio A. Trova le reazioni.

R_B = 80 × 4/10 = 32 kN; R_A = 48 kN (valori di esempio).

4. Perché una trave su tre carrelli (tutti verticali) non è sicura?

   Niente si oppone alle forze orizzontali: è vincolata in modo improprio pur avendo tre reazioni.

Errori concettuali comuni

Mito: Una cerniera trasmette un momento.
In realtà: Una cerniera lascia ruotare il corpo; solo un incastro dà una coppia.

Mito: Calcola sempre i momenti rispetto al centro.
In realtà: Scegli il punto che elimina più incognite.

Mito: Tre reazioni significano sempre isostatico.
In realtà: No, se sono tutte parallele o concorrenti in un punto.

Flashcard

Carrello

Una reazione, normale alla superficie.

Pin

Due reazioni di forza.

Incastro

Due forze e una coppia (2D).

Membratura a due forze

Forze uguali e opposte lungo la retta tra le estremità.

Iperstatico

Più incognite che equazioni di equilibrio.

Vincolo improprio

Reazioni tutte parallele o concorrenti.

Quiz di autoverifica

1. Un appoggio a carrello fornisce...

una forza

due forze

una forza e una coppia

niente

una forza. Normale alla superficie di rotolamento.

2. Quante reazioni fornisce un incastro in 2D?

1

2

3

6

3. Due forze e una coppia.

3. Le forze di una membratura a due forze agiscono...

in qualsiasi direzione

lungo la retta che unisce i due punti

perpendicolarmente alla membratura

come una coppia

lungo la retta che unisce i due punti. Altrimenti i momenti non sarebbero in equilibrio.

4. Quante equazioni indipendenti dà un corpo rigido in 2D?

2

3

4

6

3. Due di forza e una di momento.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Ogni valutazione di un ponte parte dalle reazioni vincolari. Il Report Card dell'ASCE conta 623218 ponti negli Stati Uniti, di cui il 6.8% in cattive condizioni, e 63085 avevano limitazioni di carico nel 2024, cioè limitano il peso dei veicoli ammessi al transito. Limitazioni di carico e decisioni di riparazione si basano sulle stesse equazioni di equilibrio di questa unità; mantenere in servizio più a lungo i ponti esistenti fa anche risparmiare il calcestruzzo e l'acciaio che servirebbero per sostituirli.

Su Saving Planets: Soluzioni

Fonti: ASCE Report Card for America's Infrastructure: Bridges (https://infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges-infrastructure/) · Engineering Statics, Chapter 5: Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 5 Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 12.2 Examples of static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-2-examples-of-static-equilibrium): Esempi svolti di fisica.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Interattivo.

☐ **Ho finito questa unità**

Equilibrio del corpo rigido in 3D

Vincoli in 3D (snodo sferico, cerniera, cuscinetto, incastro), sei equazioni di equilibrio, momenti rispetto ad assi per isolare le incognite e determinatezza in 3D.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Modellare i vincoli 3D con le reazioni corrette.
- Scrivere e risolvere le sei equazioni dell'equilibrio in 3D.
- Usare momenti rispetto ad assi ben scelti per trovare un'incognita alla volta.
- Contare le incognite per valutare la determinatezza in 3D.

Concetti chiave

- In 3D un corpo rigido dà sei equazioni: ΣF_x = ΣF_y = ΣF_z = 0 e ΣM_x = ΣM_y = ΣM_z = 0.
- Uno snodo sferico dà tre forze; una superficie liscia o un cavo ne dà una; una cerniera o un cuscinetto dà fino a cinque reazioni; un incastro dà tre forze e tre coppie.
- Calcolare i momenti rispetto a un asse che passa per più forze incognite le elimina tutte da quell'equazione.
- Una piastra piana su tre appoggi verticali con carichi verticali usa tre equazioni (ΣF_z, ΣM_x, ΣM_y); un quarto appoggio la rende iperstatica.
- In 3D il prodotto vettoriale r × F è il modo affidabile di ottenere i momenti; usa un determinante e mantieni l'ordine r poi F.

Equazioni chiave

$$\sum \vec{F} = \vec{0}, \quad \sum \vec{M}_O = \vec{0}$$

`F= 0, M_O= 0`

Sei equazioni scalari in 3D

$$M_x = yF_z - zF_y,\ M_y = zF_x - xF_z,\ M_z = xF_y - yF_x$$

`M_x=yF_z-zF_y,\ M_y=zF_x-xF_z,\ M_z=xF_y-yF_x`

Componenti del momento

Esempi svolti passo passo

Esempio 5.1 Una piastra di 2 m × 1 m poggia su appoggi in (0, 0), (2, 0) e (0, 1) m. Un carico di 800 N agisce in (0.8, 0.4) m. Trova le tre reazioni.

1. Momenti rispetto all'asse x (retta y = 0): $R_3 \times 1 = 800 \times 0.4$.
2. Momenti rispetto all'asse y (retta x = 0): $R_2 \times 2 = 800 \times 0.8$.
3. ΣF_z: $R_1 = 800 - R_2 - R_3$.

Risposta: $R_1 = 160$ N, $R_2 = 320$ N, $R_3 = 320$ N.

Esempio 5.2 F = (0, 0, −200) N agisce in (0.5, 0.3, 0) m. Trova i suoi momenti rispetto agli assi x e y passanti per l'origine.

1. $M_x = yF_z - zF_y = 0.3 \times (-200)$.
2. $M_y = zF_x - xF_z = -0.5 \times (-200)$.

Risposta: $M_x = -60$ N·m, $M_y = +100$ N·m.

Esempio 5.3 Un supporto simmetrico a tre gambe porta 1.5 kN al centro. Trova la forza in ciascuna gamba.

1. Per simmetria le tre reazioni verticali sono uguali.
2. $3R = 1.5$ kN.

Risposta: 500 N per gamba.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Ripeti l'esempio della piastra con il carico di 800 N in (0.5, 0.5) m.

   $R_3 = 400$ N, $R_2 = 200$ N, $R_1 = 200$ N.

2. Quante reazioni dà uno snodo sferico?

   Tre componenti di forza e nessuna coppia.

3. Un tavolo poggia su quattro gambe. La statica da sola può dare le quattro forze sotto un carico verticale?

   No: quattro incognite ma solo tre equazioni utili (ΣF_z, ΣM_x, ΣM_y), quindi è iperstatico.

4. Trova M_z per F = (100, 50, 0) N in (0.2, 0.4, 0) m.

   $M_z = xF_y - yF_x = 10 - 40 = -30$ N·m.

Errori concettuali comuni

Mito: I problemi 3D hanno sempre sei incognite.

In realtà: Solo quante ne forniscono i vincoli; un carico piano su una piastra usa tre equazioni.

Mito: I momenti rispetto a un asse usano la distanza totale dalla forza.

In realtà: Contano solo la distanza perpendicolare all'asse e la componente della forza non parallela a esso.

Mito: Una cerniera dà sempre un momento.

In realtà: Cerniere ben allineate si modellano di solito solo con forze, per evitare reazioni ridondanti.

Flashcard

Equilibrio in 3D

$\Sigma F = 0$ e $\Sigma M = 0$: sei equazioni.

Snodo sferico

Tre forze.

Incastro (3D)

Tre forze, tre coppie.

Momento rispetto a un asse

$\hat{u} \cdot (r \times F)$.

Piastra su tre appoggi

Isostatica per carichi verticali.

Tavolo a quattro gambe

Iperstatico per carichi verticali.

Quiz di autoverifica

1. Equazioni di equilibrio di un corpo rigido in 3D:

3

4

6

9

6. Tre di forza e tre di momento.

2. Quante reazioni dà un cavo?

1

2

3

6

1. Trazione lungo il cavo.

3. Un asse che passa per due forze incognite le elimina...

ΣF

dall'equazione dei momenti rispetto a quell'asse

da ogni equazione

niente

dall'equazione dei momenti rispetto a quell'asse. Le forze che passano per un asse non hanno momento rispetto a esso.

4. Un incastro in 3D dà...

3 reazioni

5 reazioni

6 reazioni

1 reazione

6 reazioni. Tre forze e tre coppie.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La Stazione Spaziale Internazionale è un problema di statica 3D costruito in orbita. La NASA indica una massa di 419725 kg e afferma che il Canadarm2, lungo 55 piedi, ha sette giunti e serve a spostare interi moduli. A terra e durante il lancio, ogni modulo, giunto e attacco è stato verificato

per forze e momenti 3D, e gli otto pannelli solari della stazione forniscono da 75 a 90 kilowatt di energia pulita per la sua attività scientifica, compresa l'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/) · Engineering Statics, Chapter 5: Rigid body equilibrium (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 5 Rigid body equilibrium (3D) (https://engineeringstatics.org/Chapter_05.html): Capitolo di libro gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Appunti ed esercizi del MIT.

- [ ] **Ho finito questa unità**

Travature reticolari: metodo dei nodi e metodo delle sezioni

Travature reticolari ideali, aste tese e compresse, metodo dei nodi, aste scariche, metodo delle sezioni e determinatezza delle travature.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Enunciare le ipotesi di una travatura reticolare ideale.
- Trovare gli sforzi nelle aste con il metodo dei nodi.
- Individuare a colpo d'occhio le aste scariche.
- Trovare rapidamente alcuni sforzi con il metodo delle sezioni.

Concetti chiave

- Una travatura ideale ha aste rettilinee collegate da cerniere senza attrito e caricate solo nei nodi, quindi ogni asta è una membratura a due forze in trazione (T) o compressione (C).
- Metodo dei nodi: ogni nodo è un punto materiale con due equazioni; parti da un nodo con al massimo due incognite.
- Aste scariche: in un nodo scarico con due aste non allineate, entrambe sono scariche; in un nodo scarico con due aste allineate e una terza, la terza è scarica.
- Metodo delle sezioni: taglia al massimo tre aste con sforzi incogniti e usa le tre equazioni del corpo rigido su un lato; calcola i momenti dove si incontrano due aste tagliate.
- Una travatura piana con m aste, r reazioni e j nodi è isostatica quando m + r = 2j (ed è stabile).

Equazioni chiave

$$m + r = 2j$$

`m+r=2j`

Determinatezza della travatura piana

$$\sum F_x = \sum F_y = 0 \text{ at each joint}$$

`F_x= F_y=0\ at each joint`

Metodo dei nodi

$$F_{\text{chord}} = \frac{M}{h}$$

`F_chord=M/h`

Esempi svolti passo passo

Esempio 6.1 Una travatura triangolare copre 4 m con il vertice alto 2 m a metà luce; 10 kN sono appesi al vertice. Trova gli sforzi nelle aste.

1. Reazioni: 5 kN su ciascun appoggio.
2. In A: F_AC sin 45° = 5, quindi F_AC = 7.07 kN.
3. Orizzontale in A: F_AB = F_AC cos 45°.

Risposta: AC e BC: 7.07 kN (C); AB: 5 kN (T).

Esempio 6.2 Una travatura è alta 3 m. In una sezione, il momento di carichi e reazioni del lato sinistro rispetto al nodo inferiore è 60 kN·m. Trova lo sforzo nel corrente superiore.

1. Momenti rispetto al nodo inferiore dove si incontrano le altre due aste tagliate.
2. F × 3 = 60.

Risposta: 20 kN (C) nel corrente superiore.

Esempio 6.3 In una travatura da ponte, un nodo scarico unisce due aste allineate del corrente inferiore e un montante. Trova lo sforzo nel montante.

1. Somma le forze perpendicolari al corrente in quel nodo: solo il montante ha una componente.

Risposta: Zero: è un’asta scarica con questo carico.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una travatura triangolare copre 6 m con angoli alla base di 30°; 12 kN sono appesi al vertice. Trova gli sforzi.

   R = 6 kN ciascuna; F_AC = 6/sin 30° = 12 kN (C); F_AB = 12 cos 30° = 10.39 kN (T).

2. Una travatura piana ha 9 aste, 6 nodi e 3 reazioni. È isostatica?

   m + r = 12 = 2j, quindi sì (se stabile).

3. Perché tenere le aste scariche se non portano nulla?

Controventano le aste compresse contro l'instabilità e portano carico quando il carico cambia.

4. La NASA indica che la travatura della ISS è lunga 94 m e la stazione 109 m da un'estremità all'altra. Quale frazione della lunghezza è travatura?

   94/109 = 0.86, circa 86%.

Errori concettuali comuni

Mito: Le aste di una travatura si inflettono.

In realtà: In una travatura ideale le aste si allungano o si accorciano soltanto (trazione o compressione pura).

Mito: Le aste scariche si possono eliminare.

In realtà: Stabilizzano la travatura e portano carico in altre condizioni.

Mito: Una risposta negativa indica un errore.

In realtà: Se hai ipotizzato trazione, una risposta negativa indica compressione.

Flashcard

Travatura ideale

Nodi incernierati, carichi nei nodi, aste rettilinee.

Metodo dei nodi

$\Sigma F = 0$ in ogni nodo.

Metodo delle sezioni

Tagliare ≤ 3 aste; usare le equazioni del corpo rigido.

Asta scarica

Non porta carico nella condizione data.

m + r = 2j

Determinatezza della travatura piana.

T e C

La trazione tira i nodi; la compressione li spinge.

Quiz di autoverifica

1. Ogni asta di una travatura ideale è...

una trave

una membratura a due forze

un cavo

una coppia

una membratura a due forze. Carichi solo nei nodi incernierati.

2. Quante aste con sforzi incogniti può tagliare al massimo il metodo delle sezioni?

1

2

3

6

3. Tre equazioni per un corpo piano.

3. Per una travatura piana, la determinatezza richiede...

m = j

m + r = 2j

m = 3j

r = 3

m + r = 2j. Due equazioni per nodo.

4. Un’asta tirata dai suoi nodi è in...

compressione

trazione

taglio

torsione

trazione. Tirarla la allunga.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La spina dorsale della stazione spaziale è una travatura reticolare. La NASA indica per la sua travatura una lunghezza di 310 piedi (94 metri), che porta pannelli solari con un'apertura di 109 metri; gli otto pannelli forniscono da 75 a 90 kilowatt. Una travatura ottiene grande rigidezza con poco materiale perché ogni asta si allunga o si accorcia soltanto; è anche per questo che le travature reggono ponti, tralicci elettrici e torri a traliccio delle turbine eoliche con meno acciaio.

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/) · Engineering Statics, Chapter 6: Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 6 Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html): Capitolo di libro di testo gratuito (travature, telai, macchine).
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Appunti del MIT sulle travature.

☐ **Ho finito questa unità**

Telai e macchine

Strutture con membrature multiforza: scomporre i telai, forze nelle cerniere su ogni membratura, vantaggio meccanico delle macchine e sistemi di pulegge.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Distinguere un telaio o una macchina da una travatura.
- Scomporre un telaio e applicare la terza legge di Newton nelle cerniere condivise.
- Trovare la forza in uscita e il vantaggio meccanico di macchine semplici.
- Analizzare sistemi di pulegge ideali.

Concetti chiave

- Telai e macchine contengono almeno una membratura multiforza: una membratura con forze in tre o più punti, o con forze e momenti, che quindi può inflettersi.
- Scomponi la struttura. In ogni cerniera condivisa, le forze sulle due membrature sono uguali e opposte.
- Trova prima le membrature a due forze; la direzione della loro forza è nota, il che riduce le incognite.
- Una macchina trasforma una forza in ingresso in una forza in uscita; vantaggio meccanico MA = F_out/F_in (ideale, senza attrito).
- In un sistema di pulegge ideale il carico è ripartito tra i tratti di fune che lo sostengono, quindi sforzo = carico/n.

Equazioni chiave

$$MA = \frac{F_{\text{out}}}{F_{\text{in}}} = \frac{d_{\text{in}}}{d_{\text{out}}}$$

`MA=_outF_in=_ind_out`

Vantaggio meccanico di una leva (ideale)

$$F_{\text{effort}} = \frac{W}{n}$$

`F_effort=W/n`

Puleggia ideale con n tratti portanti

Esempi svolti passo passo

Esempio 7.1 Una mano stringe una pinza con 100 N a 120 mm dal perno; le ganasce serrano a 30 mm dal perno. Trova la forza di serraggio.

1. Momenti rispetto al perno su un manico: F_jaw × 30 = 100 × 120.

Risposta: 400 N (MA = 4).

Esempio 7.2 Il carico di una carriola di 600 N si trova a 0.4 m dall'asse della ruota; le maniglie sono a 1.4 m dall'asse. Trova la forza di sollevamento.

1. Momenti rispetto all'asse: F × 1.4 = 600 × 0.4.

Risposta: 171.4 N.

Esempio 7.3 Un sistema di pulegge ideale ha 4 tratti di fune che sostengono un carico di 800 N. Trova lo sforzo.

1. Ogni tratto porta la stessa tensione T; 4T = 800.

Risposta: 200 N.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Un tagliabulloni composto ha stadi con vantaggi meccanici 4 e 5. Le mani spingono con 150 N. Trova la forza di taglio.

   MA totale = 20; F = 3000 N.

2. Un paranco ideale ha 6 tratti portanti sotto un carico di 1200 N. Trova la trazione.

   200 N.

3. Perché non si può usare il metodo dei nodi su un telaio?

   Le membrature multiforza portano forze non dirette lungo la membratura, quindi i nodi da soli non danno abbastanza equazioni.

4. Una leva è lunga 2 m con il fulcro a 0.25 m dal carico. Quale forza solleva 1000 N?

   F × 1.75 = 1000 × 0.25, F = 142.9 N.

Errori concettuali comuni

Mito: Ogni membratura di un telaio è una membratura a due forze.

In realtà: Almeno una è multiforza; è questo che lo rende un telaio.

Mito: Le macchine creano energia.

In realtà: Le macchine ideali scambiano forza con spostamento; lavoro in ingresso = lavoro in uscita.

Mito: Le forze nelle cerniere agiscono nello stesso verso su entrambe le membrature.

In realtà: Uguali e opposte, per la terza legge di Newton.

Flashcard

Telaio

Struttura fissa con una membratura multiforza.

Macchina

Parti mobili che trasformano una forza.

Membratura multiforza

Forze in tre o più punti, oppure forze più momenti.

Cerniera condivisa

Forze uguali e opposte su ciascuna membratura.

Vantaggio meccanico

F_out/F_in.

Sistema di pulegge ideale

Sforzo = carico/n.

Quiz di autoverifica

1. Un telaio differisce da una travatura perché ha...

nessuna cerniera

membrature multiforza

solo cavi

nessun vincolo

membrature multiforza. Membrature con forze in tre o più punti.

2. In una cerniera condivisa, le forze sulle due membrature sono...

uguali e opposte

nello stesso verso

zero

raddoppiate

uguali e opposte. Terza legge.

3. MA ideale di una leva con braccio di ingresso di 0.8 m e braccio di uscita di 0.2 m:

0.25

4

1.6

0.8

4. 0.8/0.2.

4. Sforzo ideale con 3 tratti di fune portanti e un carico di 900 N:

900 N

450 N

300 N

2700 N

300 N. 900/3.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

I telai smontabili si possono riutilizzare. L'EPA degli Stati Uniti riporta che nel 2018 negli Stati Uniti sono stati prodotti 600 milioni di tonnellate di rifiuti da costruzione e demolizione, di cui poco più di

455 milioni di tonnellate avviati a un nuovo impiego e poco meno di 145 milioni di tonnellate conferiti in discarica. L'EPA promuove il recupero e il riuso dei componenti edilizi; i telai progettati con giunti bullonati o incernierati, che in questa unità analizzi membratura per membratura, sono più facili da smontare e riutilizzare.

Su Saving Planets: Soluzioni

Fonti: U.S. EPA: Sustainable management of construction and demolition materials (https://www.epa.gov/smm/sustainable-management-construction-and-demolition-materials) · Engineering Statics, Chapter 6: Equilibrium of structures (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 6 Frames and machines (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html): Capitolo di libro gratuito.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Leve.

☐ **Ho finito questa unità**

Baricentri, carichi distribuiti, pressione dei fluidi e momenti d’inerzia di area

Baricentro e centroidi per integrazione e per figure composte, carichi distribuiti, pressione idrostatica su superfici immerse e momenti d’inerzia d’area con il teorema degli assi paralleli.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trovare il baricentro di aree composte.
- Trovare la risultante e la retta d’azione della pressione idrostatica su una parete o paratoia verticale.
- Calcolare i momenti d’inerzia d’area di rettangoli e figure composte.
- Applicare il teorema degli assi paralleli.

Concetti chiave

- Il baricentro è il punto in cui agisce il peso totale. Per una piastra omogenea coincide con il baricentro dell’area: $\bar{x} = \Sigma x_i A_i / \Sigma A_i$.
- Figure composte: dividi una forma in rettangoli, triangoli e cerchi; i fori contano come aree negative.
- La pressione dell’acqua cresce linearmente con la profondità, $p = \rho g h$. Su una parete verticale di larghezza b e profondità h, la risultante è $\tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$ e agisce a $h/3$ sopra il fondo.
- Il momento d’inerzia d’area $I = \int y^2 \, dA$ misura quanto l’area è lontana da un asse; governa la rigidezza flessionale di una trave (corso successivo).
- Teorema degli assi paralleli: $I = I_c + Ad^2$, dove I_c è rispetto all’asse baricentrico e d è la distanza tra gli assi.

Equazioni chiave

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}_i A_i}{\sum A_i}, \quad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}_i A_i}{\sum A_i}$$

```
x=( x_iA_i)/( A_i), y=( y_iA_i)/( A_i)
```

Baricentro composto

$$p = \rho g h, \quad F_R = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$$

```
p=ρ gh, F_R=12ρ g h^2 b
```

Pressione idrostatica su una parete verticale

$$I_x = \int y^2\,dA, \quad I_{\text{rect}} = \frac{bh^3}{12}$$

`I_x= y^2 dA, I_rect=(bh^3)/(12)`

Momento d’inerzia d’area

$$I = I_c + Ad^2$$

`I=I_c+Ad^2`

Teorema degli assi paralleli

Esempi svolti passo passo

Esempio 8.1 Una forma a L è composta da una barra di 100 × 20 mm lungo l’asse x più una barra di 20 × 80 mm verticale sulla sua estremità sinistra (x da 0 a 20 mm, y da 20 a 100 mm). Trova il baricentro.

1. A_1 = 2000 mm² in (50, 10); A_2 = 1600 mm² in (10, 60).
2. $\bar{x}$ = (2000 × 50 + 1600 × 10)/3600.
3. $\bar{y}$ = (2000 × 10 + 1600 × 60)/3600.

Risposta: (32.2, 32.2) mm.

Esempio 8.2 Una paratoia verticale larga 2 m trattiene acqua profonda 3 m. Trova la forza risultante e dove agisce.

1. F = ½ρgh²b = ½ × 1000 × 9.81 × 3² × 2.
2. Retta d’azione: h/3 sopra il fondo.

Risposta: 88.3 kN, 1 m sopra il fondo (2 m sotto la superficie).

Esempio 8.3 Trova I per un rettangolo largo 100 mm e alto 200 mm rispetto al suo asse baricentrico e rispetto alla base.

1. I_c = bh³/12 = 100 × 200³/12.
2. I_base = I_c + A(100)² con A = 20000 mm².

Risposta: I_c = 66.7 × 10⁶ mm⁴; I_base = 266.7 × 10⁶ mm⁴ (= bh³/3).

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Il Bureau of Reclamation indica una pressione massima dell'acqua alla base della diga Hoover di 45000 lb/ft². Convertila in pascal e trova la profondità d'acqua che produce questa pressione.

   45000 × 47.88 = 2.15 MPa; h = p/(ρg) = 219.6 m, circa 721 ft, vicino all'altezza della diga di 726.4 ft.

2. Trova l'altezza del baricentro di un semicerchio di raggio 0.3 m sopra il suo diametro.

   $\bar{y} = 4r/(3\pi) = 0.127$ m.

3. Dov'è il baricentro di un triangolo di altezza h?

   A h/3 sopra la base.

4. Trova I_c di un quadrato di 50 × 50 mm.

   $bh^3/12 = 50^4/12 = 520{,}833$ mm⁴ (5.21×10^5 mm⁴).

Errori concettuali comuni

Mito: Il baricentro è sempre all'interno della figura.
In realtà: Non per una L, una C o un anello; può trovarsi nel vuoto.

Mito: L'acqua spinge con la stessa forza a ogni profondità.
In realtà: La pressione cresce linearmente con la profondità.

Mito: I è lo stesso rispetto a qualsiasi asse.
In realtà: Cresce con il quadrato della distanza dall'asse (teorema degli assi paralleli).

Flashcard

Baricentro

Posizione media pesata sull'area.

Baricentro

Dove agisce il peso totale.

Pressione idrostatica

$p = \rho g h$.

Forza sulla parete

$\frac{1}{2}\rho g h^2 b$ a h/3 sopra il fondo.

Momento d'inerzia d'area

Teorema degli assi paralleli

$I = \int y^2\, dA$; $bh^3/12$ per un rettangolo. $I = I_c + Ad^2$.

Quiz di autoverifica

1. La risultante della pressione dell’acqua su una parete verticale agisce…

in superficie

a metà profondità

a h/3 sopra il fondo

sul fondo

a h/3 sopra il fondo. Baricentro del carico triangolare.

2. Un foro in un’area composta si tratta come…

ignorato

area negativa

area doppia

un punto

area negativa. Sottrailo.

3. Raddoppiare l’altezza di un rettangolo moltiplica I_c per…

2

4

8

16

8. $I \propto h^3$.

4. La pressione dell’acqua alla profondità h è…

ρg/h

ρgh

ρh²

gh/ρ

ρgh. Idrostatica.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

La diga Hoover è statica dei fluidi in calcestruzzo. Il Bureau of Reclamation afferma che la diga è alta 726.4 piedi dalla roccia di fondazione al coronamento, che la pressione massima dell'acqua alla base è di 45000 libbre per piede quadrato e che è una diga ad arco-gravità in calcestruzzo, in cui il carico dell'acqua è sostenuto sia dall'azione a gravità sia dall'azione ad arco orizzontale. L'esercizio mostra che 45000 lb/ft² sono circa la pressione prodotta da 220 m d'acqua. Il peso e la forma della diga mantengono la risultante di quella pressione all'interno della base, così che non scivola né si ribalta, mentre il suo serbatoio alimenta una centrale idroelettrica.

Su Saving Planets: Fisica II

Fonti: U.S. Bureau of Reclamation: Hoover Dam frequently asked questions (https://www.usbr.gov/lc/hooverdam/faqs/damfaqs.html) · Engineering Statics, Chapter 7: Centroids and centers of gravity (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 7 Centroids and centers of gravity (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html): Capitolo di libro gratuito.
- Engineering Statics, Ch. 10 Moments of inertia (https://engineeringstatics.org/Chapter_10.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 9.6 Center of mass (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/9-6-center-of-mass): Il punto di vista della fisica.
- OpenStax UP1, 14.1 Fluids, density and pressure (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/14-1-fluids-density-and-pressure): Pressione e profondità.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Interattivo.

Guarda la lezione

29.2 Moment of Inertia of a Rod (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/29-1/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

Sollecitazioni interne: diagrammi di taglio e momento flettente, e cavi

Sforzo normale, taglio e momento flettente interni, convenzioni di segno, diagrammi di taglio e momento dall'equilibrio e dalle relazioni carico–taglio–momento, e funi sotto carichi distribuiti.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Trovare le azioni interne in qualsiasi sezione di una trave.
- Tracciare i diagrammi di taglio e momento flettente per carichi concentrati e distribuiti.
- Usare dV/dx = −w e dM/dx = V per verificare i diagrammi.
- Trovare la tensione in una fune parabolica.

Concetti chiave

- Taglia una trave in x: la faccia esposta porta uno sforzo normale N, un taglio V e un momento flettente M, ricavati dall'equilibrio di uno dei due tronchi.
- Convenzione di segno usata qui: il taglio positivo fa ruotare un tratto in senso orario; il momento positivo inflette la trave a sorriso (fibre tese in basso).
- Relazioni: dV/dx = −w (carico per unità di lunghezza, positivo verso il basso) e dM/dx = V. Un carico concentrato produce un salto in V; una coppia produce un salto in M.
- Il momento massimo si ha dove V = 0 (o in un salto di V); è il valore che dimensiona la trave.
- Una fune sotto un carico orizzontale uniforme assume una forma parabolica; la tensione orizzontale è H = wL²/(8s) per luce L e freccia s, e la tensione è massima agli appoggi.

Equazioni chiave

$$\frac{dV}{dx} = -w, \quad \frac{dM}{dx} = V$$

`dV/dx=-w, dM/dx=V`

Relazioni carico–taglio–momento

$$M_{\max} = \frac{wL^2}{8}$$

`M_=(wL^2)/(8)`

Trave semplicemente appoggiata, carico uniforme

$$H = \frac{wL^2}{8s}, \quad T_{\max} = \sqrt{H^2 + \left(\tfrac{wL}{2}\right)^2}$$

H=(wL^2)/(8s), T_=^2+(2)^2

Fune parabolica

Esempi svolti passo passo

Esempio 9.1 Una trave semplicemente appoggiata di 6 m porta 4 kN/m. Trova V(x), M(x) e il momento massimo.

1. Reazioni: 12 kN ciascuna.
2. V = 12 − 4x; M = 12x − 2x².
3. V = 0 in x = 3 m.

Risposta: M_max = wL²/8 = 18 kN·m in mezzeria.

Esempio 9.2 La trave dell'unità 4 (6 m, 12 kN a 2 m da A). Traccia V e M.

1. R_A = 8 kN, R_B = 4 kN.
2. V = +8 kN per 0 < x < 2, poi −4 kN.
3. M cresce linearmente fino a 8 × 2 sotto il carico, poi scende a 0 in B.

Risposta: M_max = 16 kN·m sotto il carico.

Esempio 9.3 Una fune copre 100 m con una freccia di 10 m e porta 2 kN/m lungo la luce. Trova la tensione orizzontale e quella massima.

1. H = wL²/(8s) = 2 × 100²/80.
2. Componente verticale a ogni appoggio = wL/2 = 100 kN.
3. T_max = √(250² + 100²).

Risposta: H = 250 kN; T_max = 269.3 kN.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Una mensola di 3 m ha 5 kN in punta. Indica V e il momento massimo.

   V = 5 kN ovunque; |M_max| = 15 kN·m all'incastro (fibre tese in alto).

2. Quanto valgono V e M in mezzeria della trave di 6 m con 4 kN/m?

V = 0, M = 18 kN·m.

3. Se la freccia della fune si dimezza a 5 m, cosa succede a H?

   H raddoppia a 500 kN: le funi più tese tirano di più.

4. Una trave semplicemente appoggiata di 5 m porta 6 kN/m. Trova M_max.

   6 × 25/8 = 18.75 kN·m.

Errori concettuali comuni

Mito: Il momento massimo è sempre in mezzeria.
In realtà: Solo per carichi simmetrici; in generale è dove V = 0 o dove V salta.

Mito: I diagrammi di taglio e momento hanno la stessa forma.
In realtà: M è l'integrale di V, quindi è di un grado superiore.

Mito: Una fune più tesa (più piatta) subisce meno tensione.
In realtà: Meno freccia significa più tensione, $H = wL^2/(8s)$.

Flashcard

Azioni interne

N, V e M in una sezione.

dV/dx = −w

Il carico determina la pendenza del taglio.

dM/dx = V

Il taglio determina la pendenza del momento.

M_max

Dove V = 0 o salta.

$wL^2/8$

Momento massimo, carico uniforme, campata semplice.

Fune parabolica

$H = wL^2/(8s)$.

Quiz di autoverifica

1. dM/dx è uguale a...

w

V

N

0

V. Relazione momento–taglio.

2. Un carico concentrato provoca un salto in…

M

V

entrambi

nessuno dei due

V. Il taglio salta del valore del carico.

3. M_max di una trave semplicemente appoggiata con carico uniforme w su L:

wL/2

$wL^2/2$

$wL^2/8$

$wL^3/12$

$wL^2/8$. Risultato classico.

4. Dimezzare la freccia di una fune rende H…

la metà

uguale

il doppio

quattro volte più grande

il doppio. $H \propto 1/s$.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

I ponti devono durare più che mai. Il Report Card dell'ASCE afferma che, al ritmo attuale di sostituzione, un ponte costruito oggi dovrà durare 126 anni, che circa il 45% dei ponti ha superato la vita utile di progetto di 50 anni e che camion più pesanti di quelli per cui molti ponti sono stati progettati possono sovrasollecitarne gli elementi. I diagrammi di taglio e momento sono il modo in cui gli ingegneri verificano se una trave datata può ancora portare i carichi di oggi, permettendo di conservare i ponti buoni invece di ricostruirli.

Su Saving Planets: Soluzioni

Fonti: ASCE Report Card for America's Infrastructure: Bridges (https://infrastructurereportcard.org/cat-item/bridges-infrastructure/) · Engineering Statics, Chapter 8: Internal forces (https://engineeringstatics.org/Chapter_08.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 8 Internal forces (https://engineeringstatics.org/Chapter_08.html): Capitolo di libro gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Appunti del MIT sulle travi.

Guarda la lezione

16.2 Momentum Diagrams (https://ocw.mit.edu/courses/8-01sc-classical-mechanics-fall-2016/resources/16-1/) (in inglese)

MIT 8.01SC Classical Mechanics (Fall 2016), 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**

Attrito

Attrito secco (coulombiano), moto incipiente, angolo di riposo, scivolamento o ribaltamento, cunei, scale e attrito di cinghie o funi.

Obiettivi di apprendimento

Alla fine di questa unità saprai:

- Stabilire se un corpo scivola, resta fermo o si ribalta.
- Risolvere problemi di moto incipiente con F = μ_sN.
- Usare l'angolo di riposo e il problema della scala.
- Usare l'equazione dell'attrito delle cinghie $T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$.

Concetti chiave

- L'attrito statico si adegua a quanto serve, fino a un massimo F_max = μ_sN. Una volta iniziato lo scivolamento, l'attrito dinamico vale circa μ_kN, di solito un po' meno.
- Un blocco su un pendio resta fermo se $\tan\theta \le \mu_s$; l'angolo più ripido, $\tan^{-1}\mu_s$, è l'angolo di riposo.
- Verifica sia lo scivolamento sia il ribaltamento: una cassa alta spinta in alto può ribaltarsi prima di scivolare.
- Cunei e viti sfruttano l'attrito per sostenere i carichi; risolvi ogni pezzo come corpo rigido con l'attrito opposto al moto incipiente.
- Una fune avvolta attorno a un palo per un angolo β (in radianti) sostiene $T_2 = T_1 e^{\mu\beta}$, quindi pochi giri reggono un grande carico con una piccola trazione.

Equazioni chiave

$$F \le \mu_s N, \quad F_{\max} = \mu_s N$$

Fμ_sN, F_=μ_sN

Attrito statico

$$\tan\theta_r = \mu_s$$

θ_r=μ_s

Angolo di riposo

$$\frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\beta}$$

(T_2)/(T_1)=e^μβ

Esempi svolti passo passo

Esempio 10.1 Una cassa di 50 kg è su un pendio di 20° con $\mu_s = 0.4$. Scivola?

1. $\tan 20° = 0.364 < 0.4$, quindi tiene.
2. Attrito necessario = $mg \sin 20° = 167.8$ N; disponibile = $0.4 \times mg \cos 20° = 184.4$ N.

Risposta: Resta ferma; servono 167.8 N di attrito sui 184.4 N disponibili.

Esempio 10.2 Quale forza parallela al pendio mette in moto verso l'alto la stessa cassa?

1. Ora l'attrito agisce verso il basso del pendio, al suo massimo.
2. $P = mg \sin 20° + 0.4\, mg \cos 20°$.

Risposta: 352.2 N.

Esempio 10.3 Una fune fa 1.5 giri attorno a un palo ($\beta = 3\pi$) con $\mu = 0.3$. Quale carico può reggere una trazione di 100 N?

1. $T_2/T_1 = e^{0.3 \times 3\pi} = e^{2.83}$.

Risposta: Rapporto 16.9, quindi circa 1690 N.

Esercizi

Svolgi ciascuno prima su carta, poi controlla.

1. Trova l'angolo di riposo per $\mu_s = 0.6$.

   $\tan^{-1} 0.6 = 31.0°$.

2. Una scala di 5 m che pesa 200 N è appoggiata a 60° dal pavimento contro una parete liscia. Trova il minimo μ_s del pavimento che la trattiene.

   Forza della parete N_w: $N_w \times 5 \sin 60° = 200 \times 2.5 \cos 60°$, $N_w = 57.7$ N; pavimento $N = 200$ N; $\mu_{min} = 57.7/200 = 0.289$.

3. Una cassa larga 0.5 m e alta 1.5 m ($\mu_s = 0.4$) viene spinta sul bordo superiore. Scivola o si ribalta prima?

Scivola quando $P > 0.4W$; si ribalta quando $P \times 1.5 > W \times 0.25$, $P > 0.167W$. Si ribalta prima.

4. Una fune fa 2 giri ($\beta = 4\pi$) con $\mu = 0.2$. Trova T_2/T_1.

   $e^{0.8\pi} = 12.3$.

Errori concettuali comuni

Mito: L'attrito è sempre uguale a μN.

In realtà: Solo con scivolamento incipiente o effettivo; prima vale quanto richiede l'equilibrio.

Mito: L'attrito dipende dall'area di contatto.

In realtà: Nel modello semplice di Coulomb dipende solo da μ e N.

Mito: L'attrito si oppone sempre al moto, quindi è diretto verso il basso del pendio.

In realtà: Si oppone al moto relativo incipiente; su un blocco sul punto di scivolare in basso, è diretto verso l'alto del pendio.

Flashcard

Attrito statico

$F \le \mu_s N$.

Attrito dinamico

$F \approx \mu_k N$, di solito un po' minore.

Angolo di riposo

$\tan \theta = \mu_s$.

Verifica al ribaltamento

Confronta i momenti rispetto allo spigolo di ribaltamento.

Equazione dell'argano

$T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$.

Moto incipiente

Attrito al suo massimo, opposto al moto che sta per avvenire.

Quiz di autoverifica

1. Un blocco resta su un pendio se...

$\tan \theta \le \mu_s$

$\sin \theta \le \mu_s$

θ < 45°

N > W

tan θ ≤ μ_s. Confronta mg sin θ con μ_s mg cos θ.

2. Prima dello scivolamento, l’attrito statico è…

sempre μ_sN

quanto richiede l’equilibrio, fino a μ_sN

zero

μ_kN

quanto richiede l’equilibrio, fino a μ_sN. Si adegua.

3. Aggiungere un giro di fune attorno a un palo moltiplica il rapporto di tenuta per…

μ

2π

e^{2πμ}

1

e^{2πμ}. Esponenziale in β.

4. Una cassa alta e stretta spinta in alto tende a…

scivolare prima

ribaltarsi prima

non muoversi mai

float

ribaltarsi prima. Base piccola, spinta alta.

Rifai questo quiz

Come questo aiuta a salvare il pianeta

Un pendio resta stabile per lo stesso motivo di un blocco su una rampa: l'attrito e la resistenza del terreno si oppongono alla trazione della gravità verso valle. Il programma Landslide Hazards dell'USGS lavora per ridurre le perdite a lungo termine dovute alle frane comprendendo le cause dei cedimenti del terreno, e osserva che gli incendi boschivi possono aumentare la suscettibilità alle frane nei terreni montuosi. Mantenere i pendii vegetati e stabili protegge sia le persone sia i bacini idrografici.

Su Saving Planets: Deforestazione

Fonti: USGS Landslide Hazards Program (https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards) · Engineering Statics, Chapter 9: Friction (https://engineeringstatics.org/Chapter_09.html)

Risorse di apprendimento gratuite

- Engineering Statics, Ch. 9 Friction (https://engineeringstatics.org/Chapter_09.html): Capitolo di libro gratuito.
- OpenStax UP1, 6.2 Friction (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/6-2-friction): Il punto di vista della fisica.
- PhET: Friction (https://phet.colorado.edu/en/simulations/friction): Interattivo.
- PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp): Forze su un pendio.

☐ **Ho finito questa unità**

Esercizi

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

1. Forze e vettori in 2D e 3D
   4 esercizi
2. Equilibrio di un punto materiale
   4 esercizi
3. Momenti, coppie e sistemi equivalenti
   4 esercizi
4. Equilibrio del corpo rigido in 2D
   4 esercizi
5. Equilibrio del corpo rigido in 3D
   4 esercizi
6. Travature reticolari: metodo dei nodi e metodo delle sezioni
   4 esercizi
7. Telai e macchine
   4 esercizi

8. Baricentri, carichi distribuiti, pressione dei fluidi e momenti d’inerzia di area
   4 esercizi
9. Sollecitazioni interne: diagrammi di taglio e momento flettente, e cavi
   4 esercizi
10. Attrito
    4 esercizi

Il laboratorio (Statics 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 domestici economici. Usa carichi piccoli (al massimo qualche chilogrammo), tieni piedi e mani lontani da sotto i carichi sospesi e non salire mai su una struttura di prova.

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

Laboratorio A: Tavolo delle forze e forza equilibrante

SETTIMANA 2

Obiettivo: Somma due forze per componenti, prevedi l'unica forza che le equilibra e verifica la previsione in simulazione e con dinamometri o bilance pesavaligie.

$$\vec{E} = -(\vec{F}_1 + \vec{F}_2)$$

E=-(F_1+ F_2)

L'equilibrante è uguale e opposta alla risultante

Procedimento

1. Apri PhET Vector Addition. Imposta F_1 = 2.0 N a 0° e F_2 = 3.0 N a 90°, e leggi modulo e angolo della risultante.
2. Prevedi l'equilibrante (stesso modulo, verso opposto) per componenti.
3. A casa: lega tre spaghi a un piccolo anello. Tira due spaghi con bilance pesavaligie o dinamometri a 0° e 90° finché segnano 2.0 N e 3.0 N (circa 204 g e 306 g), e misura la trazione e l'angolo del terzo spago con un goniometro sul telefono.
4. Ripeti con F_2 a 60° e confronta.

Tabella dei dati

Forza	Modulo (N)	Angolo (°)
F_1	2.00	0
F_2	3.00	90
Risultante	3.61	56.3
Equilibrante	3.61	236.3

Valori calcolati per componenti per le forze scelte (valori di esempio); le letture fatte a casa di solito concordano entro pochi punti percentuali.

Calcolo di esempio

1. R = $\sqrt{(2^2 + 3^2)}$ = 3.61 N a $\tan^{-1}(3/2)$ = 56.3°.
2. L'equilibrante punta nel verso opposto: 56.3° + 180° = 236.3°.
3. Con F_2 a 60°: R = (3.5, 2.60) N, modulo 4.36 N a 36.6°.

> **Sicurezza**
>
> - Usa spaghi corti e trazioni delicate; uno spago che si spezza può colpire gli occhi.

Alternativa a casa o virtuale

- Il passaggio con anello e bilance è la versione casalinga; funziona anche una bilancia da cucina con uno spago sopra lo schienale di una sedia.

PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition)

Legame con il pianeta: Gli ingegneri bilanciano i carichi del vento su pale e torri delle turbine eoliche proprio con questo tipo di somma vettoriale. DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

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

Laboratorio B: Tensione nei cavi e angolo delle brache

SETTIMANA 3

Obiettivo: Misura come cresce la tensione in due spaghi simmetrici che reggono un peso man mano che diventano più piatti, e confronta con T = W/(2 sin θ).

$$T = \frac{W}{2\sin\theta}$$

`T=(W)/(2θ)`

θ misurato dall'orizzontale

Procedimento

1. Appendi una massa di 1.0 kg (una bottiglia d'acqua da 1 L) al centro di uno spago; lega ciascuna estremità a una bilancia pesavaligie tenuta da un aiutante o agganciata a due schienali di sedia.
2. Sposta i supporti per avere angoli dello spago di circa 90°, 60°, 45°, 30° e 15° rispetto all'orizzontale (usa un goniometro sul telefono).
3. Registra entrambe le letture a ogni angolo e fanne la media.
4. Traccia T in funzione di 1/sin θ; la pendenza dovrebbe essere W/2 = 4.9 N.

Tabella dei dati

θ dall'orizzontale (°)	T (N) per 9.81 N
90	4.91
60	5.66
45	6.94
30	9.81
15	18.95

Valori calcolati da T = W/(2 sin θ) per una massa di 1.0 kg.

Calcolo di esempio

1. A 30° ogni spago porta l'intero peso, 9.81 N.
2. A 15° ognuno porta quasi il doppio del peso: 18.95 N.
3. Pendenza di T in funzione di 1/sin θ = W/2 = 4.91 N.

> **Sicurezza**
>
> - Tieni la massa bassa sopra una superficie morbida e tieni i piedi lontani da sotto.

- Usa solo una massa leggera; ad angoli piccoli la tensione dello spago diventa grande.

Alternativa a casa o virtuale

- L'intero laboratorio si fa a casa; funzionano anche due letture di bilancia da cucina con uno spago sopra un'asta liscia.

PhET: Forces and Motion: Basics (https://phet.colorado.edu/en/simulations/forces-and-motion-basics)

Legame con il pianeta: Le linee di ormeggio delle piattaforme eoliche offshore galleggianti si dimensionano con la stessa geometria: angoli della linea piccoli significano tensioni elevate. U.S. DOE: Floating Offshore Wind Shot (https://www.energy.gov/eere/wind/floating-offshore-wind-shot)

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

Laboratorio C: Momenti e una massa incognita su una bilancia

SETTIMANA 5

Obiettivo: Usa ΣM = 0 su una bilancia a righello per trovare una massa incognita e verifica le regole dell'equilibrio in PhET.

$$m_1 d_1 = m_2 d_2$$

`m_1d_1=m_2d_2`

I momenti si bilanciano rispetto al fulcro

Procedimento

1. In PhET Balancing Act, bilancia un mattone noto con un oggetto misterioso e calcola la sua massa dalle distanze.
2. A casa: bilancia un righello da 30 cm su una matita in corrispondenza della tacca dei 15 cm.
3. Metti una pila nota di monete da 20 g (pesala su una bilancia da cucina) a 4, 6 e 8 cm dal fulcro e fai scorrere l'oggetto incognito finché il righello è in equilibrio; registra ogni volta la sua distanza.
4. Calcola la massa incognita da ogni prova e fai la media.

Tabella dei dati

20 g noti a (cm)	**L'incognita equilibra a (cm)**
4.0	6.4
6.0	9.6
8.0	12.8

Valori di esempio per un'incognita di 12.5 g.

Calcolo di esempio

1. m = 20 × 4.0/6.4 = 12.5 g, e ogni riga dà lo stesso valore.
2. Il rapporto tra le distanze è costante (1.6), cioè il rapporto inverso delle masse.

> **Sicurezza**
>
> - Nessuna, a parte tenere le monetine lontano dai bambini piccoli.

Alternativa a casa o virtuale

- Il passaggio con righello e monete è la versione casalinga.

PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act)

Legame con il pianeta: Lo stesso equilibrio dei momenti stabilisce quanto deve essere grande la fondazione di una turbina eolica per resistere al momento ribaltante del vento. DOE degli Stati Uniti: come funzionano le turbine eoliche? (in inglese) (https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work)

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

Laboratorio D: Costruire e analizzare una piccola travatura

SETTIMANA 8

Obiettivo: Costruisci una travatura triangolare con bastoncini da bricolage, prevedi gli sforzi nelle aste con il metodo dei nodi e osserva quali aste sono tese e quali compresse.

$$F_{AC} = \frac{P/2}{\sin\theta}, \quad F_{AB} = F_{AC}\cos\theta$$

`F_AC=(P/2)/(θ), F_AB=F_ACθ`

Travatura triangolare simmetrica con carico P al vertice

Procedimento

1. Incolla i bastoncini a formare un triangolo largo 30 cm e alto 10 cm (angolo alla base 33.7°).
2. Appoggialo su due libri e appendi 5, 10 e 20 N (bottiglie d'acqua da 0.5, 1 e 2 L) al vertice.
3. Calcola gli sforzi nelle aste con il metodo dei nodi per ogni carico.
4. Sostituisci l'asta inferiore con uno spago: resta teso (trazione). Prova lo stesso con un'asta inclinata e la vedrai piegarsi (compressione).

Tabella dei dati

Carico P (N)	Aste inclinate (N, C)	Asta inferiore (N, T)
5	4.51	3.75
10	9.01	7.50
20	18.0	15.0

Valori calcolati per la geometria 30 cm × 10 cm (valori di esempio).

Calcolo di esempio

1. θ = $\tan^{-1}(10/15)$ = 33.7°.
2. Con 10 N: F_AC = 5/sin 33.7° = 9.01 N (C); F_AB = 9.01 cos 33.7° = 7.50 N (T).
3. Gli sforzi nelle aste sono proporzionali al carico.

> **Sicurezza**
>
> - La colla a caldo scotta; lascia raffreddare i giunti.
> - Tieni mani e piedi lontani da sotto le bottiglie appese.

Alternativa a casa o virtuale

- L’intero laboratorio si fa a casa; vanno bene anche strisce di cartoncino rigido e nastro adesivo.

Engineering Statics: interactive truss examples (https://engineeringstatics.org/Chapter_06.html)

Legame con il pianeta: La travatura di 94 m della stazione spaziale e ogni traliccio eolico o elettrico portano i carichi tramite aste tese e compresse come queste. 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 E: Trovare un baricentro con il filo a piombo

SETTIMANA 10

Obiettivo: Trova il baricentro di una forma a L di cartone appendendola da due punti e confronta con il calcolo per aree composte.

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}_i A_i}{\sum A_i}$$

x=(x_iA_i)/(A_i)

Baricentro composto

Procedimento

1. Ritaglia una L dal cartone: una barra di 20 × 4 cm in basso e una barra di 4 × 16 cm verticale sulla sua estremità sinistra.
2. Infila uno spillo vicino a un angolo, lascia pendere liberamente la forma e un filo a piombo, e traccia la linea del filo sul cartone.
3. Ripeti da un secondo angolo. Le linee si incrociano nel baricentro; misura x e y dall'angolo in basso a sinistra.
4. Calcola il baricentro dai due rettangoli e confronta.

Tabella dei dati

Parte	Area (cm²)	x̃ (cm)	ỹ (cm)
Barra inferiore	80	10	2
Barra verticale	64	2	12
Forma a L	144	6.44	6.44

Valori calcolati per le dimensioni indicate; l'incrocio dei fili a piombo dovrebbe cadere entro pochi millimetri.

Calcolo di esempio

1. $\bar{x}$ = (80 × 10 + 64 × 2)/144 = 6.44 cm.
2. $\bar{y}$ = (80 × 2 + 64 × 12)/144 = 6.44 cm.
3. Il baricentro si trova fuori dal cartone, nella zona vuota dell'angolo, come confermano i fili a piombo.

> **Sicurezza**
>
> - Taglia allontanando la lama dalla mano; usa un tappetino da taglio.

Alternativa a casa o virtuale

- L’intero laboratorio si fa a casa.

Engineering Statics, Chapter 7: centroids (https://engineeringstatics.org/Chapter_07.html)

Legame con il pianeta: Una diga a gravità deve mantenere la risultante del suo peso e della pressione dell’acqua all’interno della base; individuare i baricentri è il primo passo. U.S. Bureau of Reclamation: Hoover Dam frequently asked questions (https://www.usbr.gov/lc/hooverdam/faqs/damfaqs.html)

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

Laboratorio F: Misurare l’attrito su un pendio e attorno a un palo

SETTIMANA 14

Obiettivo: Misura il coefficiente di attrito statico dall’angolo di scivolamento di una scatola su un libro inclinato, e misura come la capacità di tenuta di una fune cresce con i giri attorno a una tazza.

$$\mu_s = \tan\theta_{\text{slip}}, \quad \frac{T_2}{T_1} = e^{\mu\beta}$$

μ_s=θ_slip, (T_2)/(T_1)=e^μβ

Angolo di scivolamento e attrito dell’argano

Procedimento

1. Metti una piccola scatola su un libro con copertina rigida e inclina lentamente il libro; leggi l’angolo di scivolamento con un inclinometro sul telefono. Ripeti tre volte.
2. Calcola μ_s = tan θ per ogni prova e fai la media.
3. Avvolgi uno spago per 0.5, 1 e 1.5 giri attorno a una tazza liscia. Appendi un piccolo peso a un’estremità e misura con una bilancia pesavaligie la trazione necessaria all’altra per trattenerlo appena.
4. Confronta il rapporto con e^{μβ}, β = 2π × giri, usando il μ ricavato da una prova.

Tabella dei dati

Prova o giri	Lettura	Risultato
Prova 1	22°	μ_s = 0.404
Prova 2	24°	μ_s = 0.445
Prova 3	23°	μ_s = 0.424
0.5 giro, μ = 0.25	—	rapporto 2.19
1 giro	—	rapporto 4.81
1.5 giri	—	rapporto 10.55

Valori di esempio; i tuoi angoli dipendono dalle superfici della scatola e del libro, e il μ di 0.25 dello spago sulla tazza è un valore di esempio.

Calcolo di esempio

1. μ_s medio = (0.404 + 0.445 + 0.424)/3 = 0.424.
2. Ogni mezzo giro in più moltiplica il rapporto di tenuta per e^{0.25π} = 2.19.
3. Un giro completo: e^{0.5π} = 4.81.

Sicurezza

- Usa un peso leggero e tienilo sopra una superficie morbida.

Alternativa a casa o virtuale

- L'intero laboratorio si fa a casa.

PhET: Friction (https://phet.colorado.edu/en/simulations/friction) · PhET: The Ramp (https://phet.colorado.edu/en/simulations/the-ramp)

Legame con il pianeta: L'idea dell'angolo di scivolamento è il punto di partenza per valutare la stabilità dei pendii, che l'USGS studia per ridurre le perdite dovute alle frane. USGS Landslide Hazards Program (https://www.usgs.gov/programs/landslide-hazards)

☐ **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. Trova la risultante di 400 N lungo +x e 300 N lungo +y.

    1. $R = \sqrt{(400^2 + 300^2)}$; $\theta = \tan^{-1}(300/400)$.

    Risposta: 500 N a 36.9°.

2. Una massa di 80 kg è appesa a due cavi, ciascuno a 40° sopra l'orizzontale. Trova la tensione.

    1. $2T \sin 40° = 784.8$ N.

    Risposta: 610.5 N.

3. F = (0, −250) N agisce in (3, 2) m. Trova il suo momento rispetto all'origine.

    1. $M_z = xF_y - yF_x = 3(-250) - 0$.

    Risposta: −750 N·m (750 N·m in senso orario).

4. Una trave semplicemente appoggiata di 5 m porta 10 kN a 1.5 m da A. Trova le reazioni.

    1. $\Sigma M_A: 5R_B = 10 \times 1.5$.

    Risposta: $R_B = 3$ kN, $R_A = 7$ kN.

5. Una mensola di 2 m porta 3 kN/m. Trova le reazioni all’incastro.

    1. Risultante di 6 kN a 1 m.

    Risposta: V = 6 kN, M = 6 kN·m.

Serie di esercizi finale (tutte le unità)

1. Una travatura triangolare copre 8 m con il vertice alto 3 m a metà luce; 20 kN sono appesi al vertice. Trova gli sforzi nelle aste.

    1. R = 10 kN ciascuna; sin θ = 0.6, cos θ = 0.8.
    2. F_AC = 10/0.6; F_AB = F_AC × 0.8.

    Risposta: Aste inclinate 16.67 kN (C); asta inferiore 13.33 kN (T).

2. Una sezione a T ha un’ala di 120 × 20 mm sopra un’anima di 20 × 100 mm. Trova l’altezza del baricentro dal basso.

    1. Anima: 2000 mm^2 a 50 mm; ala: 2400 mm^2 a 110 mm.

    Risposta: 82.7 mm.

3. Una paratoia verticale larga 3 m trattiene acqua profonda 4 m. Trova la risultante e la sua altezza sopra il fondo.

    1. $F = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$.

    Risposta: 235.4 kN a 1.33 m sopra il fondo.

4. Una trave semplicemente appoggiata di 8 m porta 5 kN/m. Trova le reazioni e il momento massimo.

    1. $R = wL/2$; $M = wL^2/8$.

    Risposta: 20 kN ciascuna; 40 kN·m.

5. Una cassa di 30 kg è su un pendio di 25° con μ_s = 0.5. Scivola?

    1. tan 25° = 0.466 < 0.5.
    2. Necessario mg sin 25° contro disponibile 0.5 mg cos 25°.

    Risposta: No: servono 124.4 N, ne sono disponibili 133.4 N.

6. Una fune fa 2 giri attorno a un palo con μ = 0.2. Trova il rapporto di tenuta.

    1. $T_2/T_1 = e^{0.2 \times 4\pi}$.

    Risposta: 12.3.

Formulario

$$F_x = F\cos\theta,\ F_y = F\sin\theta$$

$$\vec{F} = F\,\hat{u}_{AB}$$

$$\vec{A}\cdot\vec{B} = |A||B|\cos\theta$$

$$\sum \vec{F} = \vec{0},\ \sum \vec{M} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_O = \vec{r}\times\vec{F},\ M = Fd$$

$$M_a = \hat{u}_a\cdot(\vec{r}\times\vec{F})$$

$$F_R = \int w\,dx \text{ at the centroid}$$

$$m + r = 2j$$

$$\bar{x} = \sum \tilde{x}_i A_i / \sum A_i$$

$$p = \rho g h,\ F_R = \tfrac{1}{2}\rho g h^2 b$$

$$I = bh^3/12,\ I = I_c + Ad^2$$

$$dV/dx = -w,\ dM/dx = V$$

$$M_{\max} = wL^2/8$$

$$H = wL^2/(8s)$$

$$F \le \mu_s N,\ \tan\theta_r = \mu_s$$

$$T_2/T_1 = e^{\mu\beta}$$

Costanti

Costante	Valore
Accelerazione di gravità standard, g	9.80665 m/s² (usiamo 9.81 m/s²)
Peso di 1 kg con gravità standard	9.81 N
Densità dell’acqua dolce (valore arrotondato usato qui)	1000 kg/m³
Peso specifico dell’acqua, ρg	9.81 kN/m³
1 piede	0.3048 m (esatto)
1 libbra-forza	4.448 N
1 libbra per piede quadrato	47.88 Pa

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.

- Engineering Statics: Open and Interactive (Baker and Haynes) (https://engineeringstatics.org/): Libro di testo di statica interattivo, completo e gratuito.
- MIT OpenCourseWare 2.001 Mechanics and Materials I (https://ocw.mit.edu/courses/2-001-mechanics-materials-i-fall-2006/): Appunti delle lezioni ed esercizi gratuiti del MIT.
- OpenStax University Physics Volume 1, Chapter 12: Static equilibrium (https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/12-1-conditions-for-static-equilibrium): L'equilibrio dal punto di vista della fisica, gratis.
- PhET: Vector Addition (https://phet.colorado.edu/en/simulations/vector-addition): Sommare e scomporre vettori.
- PhET: Balancing Act (https://phet.colorado.edu/en/simulations/balancing-act): Momenti ed equilibrio.
- PhET: Under Pressure (https://phet.colorado.edu/en/simulations/under-pressure): Pressione di un fluido con la profondità.

Glossario

Angolo di riposo
Angolo di pendio più ripido a cui un corpo resta fermo, $\tan^{-1} \mu_s$.

Momento flettente
Momento interno in una sezione di trave.

Baricentro
Centro geometrico di un'area o di un volume.

Coppia
Due forze uguali, opposte e parallele; un momento puro.

Equilibrante
La forza che equilibra un insieme di forze.

Incastro
Vincolo che impedisce traslazione e rotazione.

Telaio
Struttura con almeno una membratura multiforza.

Diagramma di corpo libero
Schizzo di un corpo isolato con tutte le forze esterne che agiscono su di esso.

Vantaggio meccanico
Forza in uscita divisa per forza in ingresso.

Metodo dei nodi
Analisi delle travature con $\Sigma F = 0$ in ogni nodo.

Metodo delle sezioni
Analisi delle travature con l'equilibrio di corpo rigido di un tronco tagliato.

Momento
Effetto rotatorio di una forza, $r \times F$.

Teorema degli assi paralleli
$I = I_c + Ad^2$.

Cerniera
Vincolo che impedisce la traslazione ma consente la rotazione.

Risultante
Unica forza equivalente a un insieme di forze.

Carrello
Vincolo che dà una forza normale alla sua superficie.

Taglio
Forza interna attraverso una sezione di trave.

Iperstatico
Più incognite che equazioni di equilibrio.

Travatura reticolare
Struttura di membrature a due forze incernierate nei nodi.

Membratura a due forze
Membratura caricata in due soli punti; le forze giacciono sulla retta che li unisce.

Asta scarica
Asta di travatura che non porta sforzo con un dato carico.

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	Disegna diagrammi di corpo libero completi, sceglie bene assi e poli dei momenti, verifica la determinatezza e controlla le risposte con un'equazione non usata.
3 · Competente	Risolve gli esercizi con qualche errore occasionale di segno o di unità.
2 · In sviluppo	Segue gli esempi svolti ma dimentica forze nei diagrammi di corpo libero o sceglie poli dei momenti che lasciano troppe incognite.
1 · Principiante	Inserisce numeri nelle formule senza diagramma di corpo libero; deve rivedere l'unità.

Pesi suggeriti se vuoi un punteggio

Parte	Peso
Esercizi	25%

Parte	Peso
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

- Fisica II PHYS 210 + PHYS 210L
- Dinamica ENGR 212
- Analisi III MATH 210
- Tutti i corsi