FISICA

Scheda 04

I principi della dinamica

Le leggi che spiegano il moto

Teoria | Esempi | Esercizi | Soluzioni

Una guida chiara per imparare ad enunciare e applicare i tre principi della dinamica.

Indice

1 Che cos'è la dinamica? 2

2 Primo principio della dinamica 2
2.1 Enunciato . . . 2
2.2 Forze bilanciate . . . 3

3 Secondo principio della dinamica 3
3.1 Significato della massa . . . 4
3.2 Forma lungo gli assi cartesiani . . . 4

4 Terzo principio della dinamica 6
4.1 Esempio: due pattinatori . . . 6
4.2 Esempio: camminare . . . 7

5 Confronto tra i tre principi 7

6 Metodo per risolvere i problemi di dinamica 8

7 Sistemi di riferimento inerziali 9

8 Errori comuni 10

9 Esercizi 11

10 Soluzioni 12

1 Che cos'è la dinamica?

La **cinematica** descrive il moto di un corpo, studiandone posizione, velocità e accelerazione, senza occuparsi delle cause che lo producono.

La **dinamica**, invece, studia le interazioni che possono modificare il moto dei corpi. Queste interazioni vengono descritte attraverso le **forze**.

Il legame tra forze e movimento è espresso dai tre principi della dinamica, formulati da Isaac Newton:

- il **primo principio** descrive il comportamento di un corpo quando la risultante delle forze è nulla;
- il **secondo principio** collega la risultante delle forze all'accelerazione;
- il **terzo principio** descrive le forze reciproche tra due corpi che interagiscono.

Ricorda

Una forza non è necessaria per mantenere un corpo in movimento.
Una forza risultante è necessaria per **modificare la velocità**, cioè per cambiarne il modulo, la direzione o il verso. In altre parole, una forza risultante produce un'accelerazione.

2 Primo principio della dinamica

2.1 Enunciato

In un sistema di riferimento inerziale, un corpo mantiene il proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché la risultante delle forze esterne che agiscono su di esso è nulla.

In simboli:

$$\boxed{\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \quad \Longrightarrow \quad \vec{a} = \vec{0}}$$

Se l'accelerazione è nulla, la velocità non cambia:

$$\vec{v} = \text{costante}.$$

Il corpo può quindi essere fermo oppure muoversi con velocità costante lungo una linea retta.

Questo principio è chiamato anche **principio d'inerzia**.

L'**inerzia** è la tendenza di un corpo a mantenere invariata la propria velocità e a opporsi ai suoi cambiamenti.

Ricorda

Il primo principio non afferma che un corpo in movimento prima o poi si ferma.
Nelle situazioni reali i corpi rallentano perché agiscono forze come l'attrito e la resistenza dell'aria.
Se queste forze fossero assenti, un corpo in moto continuerebbe a muoversi con velocità costante.

2.2 Forze bilanciate

Una risultante nulla non implica necessariamente l'assenza di forze.

Più forze possono agire contemporaneamente sul corpo e compensarsi vettorialmente.

Consideriamo, per esempio, un libro fermo su un tavolo:

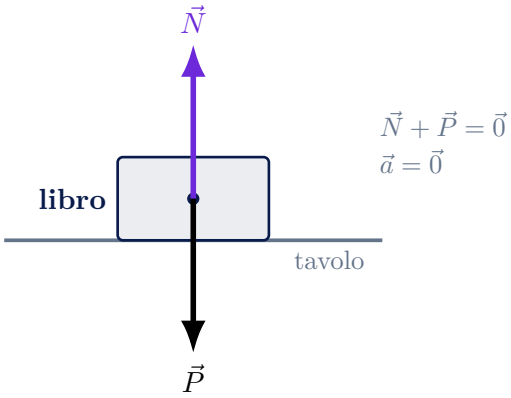
- la Terra esercita sul libro la forza peso $\vec{P}$, verso il basso;
- il tavolo esercita sul libro la reazione normale $\vec{N}$, verso l'alto.

Se il libro è in equilibrio,

$$\vec{N} + \vec{P} = \vec{0}.$$

In termini di moduli,

$$N = P.$$



Attenzione

Risultante nulla non significa corpo fermo.
Un corpo soggetto a risultante nulla può essere:
- fermo;
- oppure in moto rettilineo uniforme.

Ciò che rimane costante è la velocità, non necessariamente la posizione.

3 Secondo principio della dinamica

Se la risultante delle forze esterne che agiscono su un corpo è diversa da zero, il corpo subisce un'accelerazione.

Il secondo principio della dinamica afferma che:

$$\boxed{\sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}}$$

La risultante delle forze e l'accelerazione hanno:

- la stessa direzione;
- lo stesso verso.

La relazione può anche essere scritta come

$$\vec{a} = \frac{\sum_i \vec{F}_i}{m}.$$

Da questa espressione segue che:

- a parità di massa, una risultante maggiore produce un'accelerazione maggiore;
- a parità di risultante, un corpo con massa maggiore acquista un'accelerazione minore.

Ricorda

L'accelerazione dipende dalla **forza risultante**, non da una singola forza considerata separatamente. Prima di applicare il secondo principio bisogna quindi individuare e sommare vettorialmente tutte le forze esterne che agiscono sul corpo.

3.1 Significato della massa

Nel secondo principio la massa rappresenta una misura dell'inerzia del corpo.

Un corpo con massa elevata oppone una maggiore resistenza ai cambiamenti della propria velocità. Per questo, a parità di forza, accelera meno rispetto a un corpo più leggero.

Per esempio, è più facile accelerare un carrello vuoto che un carrello pieno, anche applicando la stessa forza.

3.2 Forma lungo gli assi cartesiani

Il secondo principio è un'equazione vettoriale. Può quindi essere scomposto lungo gli assi cartesiani:

$$\boxed{\sum F_x = ma_x}$$

$$\boxed{\sum F_y = ma_y}$$

Prima di scrivere le equazioni è necessario:

1. scegliere gli assi;
2. stabilire il verso positivo;
3. attribuire il segno corretto a ogni componente delle forze.

Attenzione

Una forza non è positiva o negativa in modo assoluto.
Il segno dipende dall'asse scelto. Una forza diretta verso sinistra sarà negativa se scegliamo positivo il verso destro, ma positiva se scegliamo positivo il verso sinistro.

Esempio

Su un carrello di massa

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

agisce una forza risultante orizzontale di

$$F_R = 12\,\text{N}.$$

Applicando il secondo principio:

$$F_R = ma.$$

Ricaviamo l'accelerazione:

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{12}{4{,}0} = 3{,}0\,\text{m/s}^2.$$

Pertanto

$$\boxed{a = 3{,}0\,\text{m/s}^2}.$$

L'accelerazione ha la stessa direzione e lo stesso verso della forza risultante.

Esempio

Consideriamo un blocco di massa

$$m = 3{,}0\,\text{kg}$$

spinto verso destra da una forza di 20 N e frenato da una forza di attrito di 8 N.
Scegliamo positivo il verso verso destra.
La risultante lungo l'asse x è

$$F_R = 20 - 8 = 12\,\text{N}.$$

Applicando il secondo principio:

$$F_R = ma,$$

da cui

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{12}{3{,}0} = 4{,}0\,\text{m/s}^2.$$

Quindi

$$\boxed{a = 4{,}0\,\text{m/s}^2}$$

verso destra.



4 Terzo principio della dinamica

Le forze nascono sempre da un'interazione tra due corpi.

Se un corpo A esercita una forza sul corpo B, contemporaneamente il corpo B esercita una forza sul corpo A.

Le due forze hanno:

- lo stesso modulo;
- la stessa direzione;
- verso opposto;
- punti di applicazione su corpi diversi.

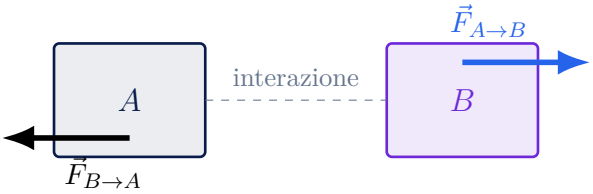
In simboli:

$$\boxed{\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}}$$

Questo principio è spesso chiamato **principio di azione e reazione**.

Ricorda

Le due forze compaiono sempre contemporaneamente.
Non esiste una forza che viene esercitata per prima e una risposta che compare successivamente: entrambe fanno parte della stessa interazione.



Attenzione

Le forze di azione e reazione non si annullano tra loro perché agiscono su **corpi diversi**.
In un diagramma di corpo libero si sommano soltanto le forze che agiscono sullo stesso corpo. Per questo una coppia azione-reazione non compare mai interamente nel diagramma di un singolo oggetto.

4.1 Esempio: due pattinatori

Due pattinatori inizialmente fermi si spingono reciprocamente.

Durante l'interazione, ciascun pattinatore esercita sull'altro una forza dello stesso modulo e di verso opposto.

Se il modulo della forza è F, le accelerazioni valgono:

$$a_1 = \frac{F}{m_1}, \qquad a_2 = \frac{F}{m_2}.$$

Le forze hanno lo stesso modulo, ma le accelerazioni possono essere diverse.

Il pattinatore con massa minore acquista l'accelerazione maggiore.

Esempio

Se i due pattinatori hanno masse

$$m_1 = 50\,\text{kg}, \qquad m_2 = 75\,\text{kg},$$

e la forza reciproca ha modulo

$$F = 150\,\text{N},$$

le accelerazioni sono

$$a_1 = \frac{150}{50} = 3{,}0\,\text{m/s}^2,$$

$$a_2 = \frac{150}{75} = 2{,}0\,\text{m/s}^2.$$

Il pattinatore più leggero accelera maggiormente, anche se le forze reciproche hanno lo stesso modulo.

4.2 Esempio: camminare

Quando cammini, il piede spinge il terreno all'indietro.

Per il terzo principio, il terreno esercita sul piede una forza di attrito statico diretta in avanti. È proprio questa forza a permetterti di avanzare.

Ricorda

Quando un corpo accelera, non significa necessariamente che eserciti una forza maggiore dell'altro corpo. Nella coppia azione-reazione le forze sono sempre uguali in modulo. Le accelerazioni possono essere diverse perché dipendono anche dalle masse.

5 Confronto tra i tre principi

Principio	Idea fondamentale	Relazione
Primo principio	Se la risultante è nulla, la velocità rimane costante.	$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0}$
Secondo principio	Una risultante non nulla produce un'accelerazione.	$\sum \vec{F} = m\vec{a}$
Terzo principio	Ogni interazione produce due forze uguali e opposte su corpi diversi.	$\vec{F}_{A\to B} = -\vec{F}_{B\to A}$

6 Metodo per risolvere i problemi di dinamica

Per affrontare correttamente un problema di dinamica è utile seguire sempre la stessa procedura.

1. **Scegli il corpo da studiare.**

   Stabilisci con precisione su quale oggetto vuoi applicare il secondo principio.

2. **Costruisci il diagramma di corpo libero.**

   Rappresenta tutte e sole le forze esterne che agiscono sul corpo scelto.

3. **Scegli gli assi cartesiani.**

   Conviene scegliere gli assi in modo da ridurre il numero di forze da scomporre.

4. **Stabilisci i versi positivi.**

   Questa scelta determina il segno delle componenti delle forze e dell'accelerazione.

5. **Scomponi le forze lungo gli assi.**

   Calcola le componenti delle forze che non sono parallele agli assi scelti.

6. **Scrivi il secondo principio per ciascun asse.**

$$\sum F_x = ma_x, \qquad \sum F_y = ma_y.$$

7. **Risolvi le equazioni.**

   Ricava le grandezze richieste, come accelerazione, forza o massa.

8. **Controlla il risultato.**

   Verifica unità di misura, segni, direzione e ordine di grandezza.

Attenzione

Non iniziare sostituendo immediatamente i numeri nelle formule.
Prima individua le forze, scegli gli assi e scrivi le equazioni simboliche. Solo dopo inserisci i valori numerici. Questo riduce moltissimo gli errori.

7 Sistemi di riferimento inerziali

Il moto di un corpo deve sempre essere descritto rispetto a un **sistema di riferimento**.

Un sistema di riferimento si dice **inerziale** se, al suo interno, un corpo soggetto a risultante nulla:

- rimane fermo, se inizialmente era fermo;
- continua a muoversi di moto rettilineo uniforme, se inizialmente era in movimento.

In un sistema inerziale, quindi, un corpo isolato non cambia spontaneamente la propria velocità.

Un'aula ferma rispetto al suolo può essere considerata, con buona approssimazione, un sistema di riferimento inerziale.

Un'automobile o un autobus che accelera, frena oppure curva costituiscono invece sistemi di riferimento non inerziali durante quelle fasi.

Curiosità

Perché quando l'autobus frena ti sembra di essere spinta in avanti?
Prima della frenata, tu e l'autobus vi muovete insieme con la stessa velocità. Quando il conducente frena, le ruote esercitano una forza sul veicolo e l'autobus comincia a rallentare.
Il tuo corpo, però, tende per inerzia a conservare la velocità che aveva prima della frenata. Per questo, rispetto all'autobus che sta rallentando, ti sposti verso la parte anteriore del veicolo.
Per capire bene cosa accade bisogna distinguere due sistemi di riferimento.

Per un osservatore fermo rispetto alla strada, non esiste alcuna forza reale che ti spinge in avanti. Il tuo corpo continua semplicemente a muoversi con la velocità precedente, mentre l'autobus rallenta. Saranno poi il sedile, la cintura di sicurezza o il pavimento a esercitare su di te una forza reale diretta all'indietro, necessaria a rallentarti insieme al veicolo.

Per una persona che osserva il fenomeno dall'interno dell'autobus, invece, sembra comparire una forza diretta in avanti. Questa viene chiamata **forza apparente** o **forza d'inerzia**. Non è una forza dovuta all'interazione con un altro corpo: viene introdotta per descrivere il moto da un sistema di riferimento accelerato, quindi **non inerziale**, come l'autobus durante la frenata.
Se l'autobus ha accelerazione $\vec{a}_{\text{bus}}$, nel sistema di riferimento solidale con il veicolo si introduce la forza apparente

$$\boxed{\vec{F}_{\text{app}} = -m\vec{a}_{\text{bus}}}.$$

Durante la frenata l'accelerazione dell'autobus è diretta all'indietro; la forza apparente risulta quindi diretta in avanti.

In sintesi, non vieni realmente spinta in avanti da una nuova interazione: è il tuo corpo che tende a conservare il proprio stato di moto, mentre l'autobus rallenta. La forza in avanti compare soltanto nella descrizione del fenomeno dal sistema di riferimento non inerziale dell'autobus.

8 Errori comuni

Attenzione

Errore 1: pensare che serva una forza per mantenere il moto.
Una forza risultante serve a cambiare la velocità, non a mantenerla costante.

Attenzione

Errore 2: confondere risultante nulla con assenza di forze.
Più forze possono agire sul corpo e compensarsi.

Attenzione

Errore 3: applicare $F = ma$ a una singola forza.
Nel secondo principio deve comparire la somma vettoriale di tutte le forze esterne:

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

Attenzione

Errore 4: pensare che velocità e accelerazione abbiano sempre lo stesso verso.
Un corpo può muoversi verso destra e accelerare verso sinistra, per esempio quando sta rallentando.

Attenzione

Errore 5: sommare azione e reazione nello stesso diagramma.
Le due forze agiscono su corpi diversi e non appartengono allo stesso diagramma di corpo libero.

Attenzione

Errore 6: pensare che il corpo più pesante eserciti sempre la forza maggiore.
In una coppia azione-reazione le forze hanno lo stesso modulo, qualunque siano le masse dei corpi.

9 Esercizi

Esercizio

1. Un corpo si muove in linea retta a velocità costante. Quanto vale la risultante delle forze?

Esercizio

2. Su un corpo di massa 5kg agisce una risultante di 15N. Calcola l'accelerazione.

Esercizio

3. Calcola il peso di un oggetto di massa 2,5kg usando $g = 9{,}8\text{m/s}^2$.

Esercizio

4. Un blocco di massa 8kg è spinto verso destra con 30N; l'attrito vale 10N. Calcola risultante e accelerazione.

Esercizio

5. Una forza risultante di 18N produce un'accelerazione di 3m/s^2. Qual è la massa?

Esercizio

6. Due pattinatori di massa 50kg e 75kg si spingono con una forza reciproca di 150N. Calcola le accelerazioni.

Esercizio

7. Un ascensore sale con accelerazione $1{,}5\text{m/s}^2$. Una persona di massa 60kg è soggetta al peso e alla normale della bilancia. Calcola la normale.

Esercizio

8. Un corpo di massa 10kg ha accelerazione orizzontale 2m/s^2 verso sinistra. Se una forza di 35N agisce verso destra, determina l'altra forza orizzontale.

Esercizio

9. Spiega perché, durante una collisione tra automobile e camion, le forze reciproche hanno lo stesso modulo ma i danni e le accelerazioni possono essere molto diversi.

10 Soluzioni

1. Moto rettilineo uniforme significa $\vec{a} = 0$, quindi $\sum \vec{F} = 0$.

2.
$$a = \frac{F}{m} = \frac{15}{5} = 3\text{m/s}^2.$$

3.
$$P = mg = 2{,}5 \cdot 9{,}8 = 24{,}5\text{N}.$$

4.
$$F_{\text{ris}} = 30 - 10 = 20\text{N}, \qquad a = \frac{20}{8} = 2{,}5\text{m/s}^2.$$

5.
$$m = \frac{F}{a} = \frac{18}{3} = 6\text{kg}.$$

6.
$$a_1 = \frac{150}{50} = 3\text{m/s}^2, \qquad a_2 = \frac{150}{75} = 2\text{m/s}^2.$$

Le accelerazioni hanno versi opposti.

7. Scegliendo verso l'alto positivo:
$$N - mg = ma \quad \Rightarrow \quad N = m(g + a) = 60(9{,}8 + 1{,}5) = 678\text{N}.$$

8. Prendiamo verso destra positivo. L'accelerazione è $a = -2\text{m/s}^2$, dunque
$$F_{\text{ris}} = ma = 10(-2) = -20\text{N}.$$
Se F_2 è la forza verso sinistra:
$$35 - F_2 = -20 \quad \Rightarrow \quad F_2 = 55\text{N}.$$

9. Per il terzo principio le forze sono uguali e opposte. Tuttavia $a = F/m$: il veicolo di massa minore subisce un'accelerazione maggiore. I danni dipendono inoltre da struttura, deformazioni, durata dell'urto e sistemi di sicurezza.

Ti è piaciuta questa scheda?
Sul sito trovi altre risorse gratuite di fisica e matematica: teoria, esempi, esercizi e soluzioni pensati per studiare meglio, senza perdersi tra formule scritte male e spiegazioni inutilmente complicate.

STEMPower
www.progettostempower.it
Instagram: @stem_power_

STEMPower – Divulgazione, Inclusione e Innovazione per il Futuro Scientifico