

# I principi della dinamica: la definizione di massa e forza ed il loro ruolo unificante

Luca Sbano

Licei *Vittoria Colonna*,  
Roma

Seminari per il Liceo Matematico

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- Spesso si associa la massa all'idea di **quantità di materia**, mentre la forza all'idea di **sfuerzo** misurabile con un *dinamometro*.
- Ma cos'è la quantità di materia?
- Come si può spiegare il funzionamento di un dinamometro senza rischiare circoli viziosi?

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- Spesso si associa la massa all'idea di **quantità di materia**, mentre la forza all'idea di **sforzo** misurabile con un *dinamometro*.
- Ma cos'è la quantità di materia?
- Come si può spiegare il funzionamento di un dinamometro senza rischiare circoli viziosi?

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- Spesso si associa la massa all'idea di **quantità di materia**, mentre la forza all'idea di **sforzo** misurabile con un *dinamometro*.
- Ma cos'è la quantità di materia?
- Come si può spiegare il funzionamento di un dinamometro senza rischiare circoli viziosi?

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- Spesso si associa la massa all'idea di **quantità di materia**, mentre la forza all'idea di **sforzo** misurabile con un *dinamometro*.
- Ma cos'è la quantità di materia?
- Come si può spiegare il funzionamento di un dinamometro senza rischiare circoli viziosi?

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- Spesso si associa la massa all'idea di **quantità di materia**, mentre la forza all'idea di **sforzo** misurabile con un *dinamometro*.
- Ma cos'è la quantità di materia?
- Come si può spiegare il funzionamento di un dinamometro senza rischiare circoli viziosi?

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- È importante notare che oggi, nel Modello Standard, le forze emergono dalle *interazioni* fra campi e la massa sorge dalla interazione dei campi con il campo di Higgs.

# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- È importante notare che oggi, nel Modello Standard, le forze emergono dalle *interazioni* fra campi  
e la massa sorge dalla interazione dei campi con il campo di Higgs.



# La massa e la forza

- Come definiamo la massa di un corpo?
- Come definiamo una forza?
- È importante notare che oggi, nel Modello Standard, le forze emergono dalle *interazioni* fra campi e la massa sorge dalla interazione dei campi con il campo di Higgs.

## La massa e la forza

La nozione di massa e forza, in meccanica classica, sono concetti che emergono e ci permettono di **sintetizzare ed unificare** gli aspetti sperimentali fondamentali delle leggi della dinamica.

## Ripartire dai fatti sperimentali

- Si può assumere di conoscere come misurare la posizione  $\vec{x}$ , la velocità  $\vec{v}$  e l'accelerazione  $\vec{a}$  (misure cinematiche).
- Assumiamo di saper identificare una **causa di moto**, ossia un fenomeno riproducibile che ci permetta di far variare lo stato di moto di un corpo.

## Ripartire dai fatti sperimentali

- Si può assumere di conoscere come misurare la posizione  $\vec{x}$ , la velocità  $\vec{v}$  e l'accelerazione  $\vec{a}$  (misure cinematiche).
- Assumiamo di saper identificare una **causa di moto**, ossia un fenomeno riproducibile che ci permetta di far variare lo stato di moto di un corpo.

## Ripartire dai fatti sperimentali

- Si può assumere di conoscere come misurare la posizione  $\vec{x}$ , la velocità  $\vec{v}$  e l'accelerazione  $\vec{a}$  (misure cinematiche).
- Assumiamo di saper identificare una **causa di moto**, ossia un fenomeno riproducibile che ci permetta di far variare lo stato di moto di un corpo.

## Primo principio della dinamica

Un corpo mantiene il suo stato di moto rettilineo ed uniforme finché non vi siano cause di moto che lo perturbino.

## Apparato sperimentale

Un esempio di *causa di moto riproducibile* potrebbe essere:



Apparato sperimentale: una guida, una molla e il corpo di prova. La molla è fissata al supporto ed il suo estremo libero è stato accostato al corpo A. Il riferimento cartesiano è costituito dall'asse delle  $x$  con origine il punto 0.

La lunghezza della contrazione della molla controlla la variazione della velocità e non è necessaria conoscere la legge di Hooke.

## Secondo principio della dinamica

- Abbiamo un certo numero di corpi:  $A, B, C \dots Z$
- Si pongono i corpi in un punto  $\vec{x}$  dove agisce una causa di moto **riproducibile**.
- Quali sono le conseguenze sperimentalmente verificabili?



## Secondo principio della dinamica

- Abbiamo un certo numero di corpi:  $A, B, C \dots Z$
- Si pongono i corpi in un punto  $\vec{x}$  dove agisce una causa di moto **riproducibile**.
- Quali sono le conseguenze sperimentalmente verificabili?

## Secondo principio della dinamica

- In laboratorio si è utilizzato una rotaia a cuscino d'aria.
- Il moto stato studiato utilizzando le riprese del movimento ed il software open source Tracker  
<https://physlets.org/tracker/>.

## Secondo principio della dinamica

- Per ogni coppia  $A, B$  di corpi possono misurare costanti  $K_{AB} > 0$  tali che:

$$\vec{a}_A(\vec{x}) = K_{AB} \vec{a}_B(\vec{x})$$

- Le costanti  $K_{AB}$  dipendono solo dalla coppia dei corpi e soddisfano semplici relazioni:

$$K_{CB} = K_{CA} K_{AB}$$

- Se si uniscono due corpi (es:  $B + C = BC$ ) e vengono sottoposti ad una variazione dello stato di moto, confrontando il corpo composto  $BC$  con  $A$ , si trova:

$$K_{A(BC)} = K_{AB} + K_{AC}$$

## Secondo principio della dinamica

- Per ogni coppia  $A, B$  di corpi possono misurare costanti  $K_{AB} > 0$  tali che:

$$\vec{a}_A(\vec{x}) = K_{AB} \vec{a}_B(\vec{x})$$

- Le costanti  $K_{AB}$  dipendono solo dalla coppia dei corpi e soddisfano semplici relazioni:

$$K_{CB} = K_{CA} K_{AB}$$

- Se si uniscono due corpi (es:  $B + C = BC$ ) e vengono sottoposti ad una variazione dello stato di moto, confrontando il corpo composto  $BC$  con  $A$ , si trova:

$$K_{A(BC)} = K_{AB} + K_{AC}$$

## Secondo principio della dinamica

- Per ogni coppia  $A, B$  di corpi possono misurare costanti  $K_{AB} > 0$  tali che:

$$\vec{a}_A(\vec{x}) = K_{AB} \vec{a}_B(\vec{x})$$

- Le costanti  $K_{AB}$  dipendono solo dalla coppia dei corpi e soddisfano semplici relazioni:

$$K_{CB} = K_{CA} K_{AB}$$

- Se si uniscono due corpi (es:  $B + C = BC$ ) e vengono sottoposti ad una variazione dello stato di moto, confrontando il corpo composto  $BC$  con  $A$ , si trova:

$$K_{A(BC)} = K_{AB} + K_{AC}$$

## Secondo principio della dinamica

- Per ogni coppia  $A, B$  di corpi possono misurare costanti  $K_{AB} > 0$  tali che:

$$\vec{a}_A(\vec{x}) = K_{AB} \vec{a}_B(\vec{x})$$

- Le costanti  $K_{AB}$  dipendono solo dalla coppia dei corpi e soddisfano semplici relazioni:

$$K_{CB} = K_{CA} K_{AB}$$

- Se si uniscono due corpi (es:  $B + C = BC$ ) e vengono sottoposti ad una variazione dello stato di moto, confrontando il corpo composto  $BC$  con  $A$ , si trova:

$$K_{A(BC)} = K_{AB} + K_{AC}$$

## Terzo principio della dinamica

Se due corpi (es  $A, B$ ) sono posti a *contatto* o in *in interazione* e modificano il loro stato di moto, l'esperienza mostra che:

$$\vec{\mathbf{a}}_A = -K_{AB} \vec{\mathbf{a}}_B.$$

Come nascono le nozioni di massa e di forza?



## La massa

Fissato un corpo di prova  $A$  si può definire la *massa* di un corpo  $B$  come:

$$m_B = K_{AB},$$

*la massa di  $B$  è misurata a partire dal confronto con un altro corpo (in questo caso  $A$ ) sottoposto alla stessa causa di moto.*

Le relazioni

$$K_{CB} = K_{CA} K_{AB}, \quad K_{A(BC)} = K_{AB} + K_{AC}$$

diventano

$$K_{CB} = \frac{m_C}{m_B}, \quad m_{BC} = m_B + m_C.$$

Le nuove costanti  $m_B, m_C, \dots, m_Z, m_{BC}, \dots$  saranno dette **masse inerziali** rispettivamente di  $B, C, \dots, Z, BC, \dots$

## La forza

In un punto  $\vec{x}$ , per la coppia  $B, C$  vale:

$$\vec{a}_B(\vec{x}) = K_{BC} \vec{a}_C(\vec{x}).$$

Usando le masse inerziali:

$$m_B \vec{a}_B(\vec{x}) = m_C \vec{a}_C(\vec{x}).$$

Nel punto  $\vec{x}$  valgono una successione di relazioni:

$$m_B \vec{a}_B(\vec{x}) = m_C \vec{a}_C(\vec{x}) = m_D(\vec{x}) \vec{a}_D = m_E \vec{a}_E(\vec{x}) = \dots$$

Quindi nel punto  $\vec{x}$  possiamo definire una vettore  $\vec{F}(\vec{x})$  dipendente da  $\vec{x}$  (*funzione vettoriale = campo vettoriale*) che sintetizza la proprietà di  $\vec{x}$  di provocare una variazione dello stato di moto un corpo.  $\vec{F}(\vec{x})$  è la **forza**.

## Formulazione del secondo principio

*Un corpo di massa  $m$  posto in un punto  $\vec{x}$  acquisterà un'accelerazione  $\vec{a}(\vec{x})$  tale che*

$$m \vec{a}(x) = \vec{F}(\vec{x})$$

*dove  $\vec{F}(\vec{x})$  è la forza agente in  $\vec{x}$ .*

## Conclusioni

- Le grandezze cinematiche sono introdotte per via geometrica
- Il contenuto sperimentale dei principi della dinamica è descrivibile in termini di quantità geometriche (le accelerazioni) e una serie di costanti  $K$  dipendenti solo dai singoli corpi.
- Fissando un corpo di prova, le costanti  $K$  sono misurabili e definendo così la **massa inerziale** per ogni corpo.
- La proprietà di *impartire un'accelerazione ad un qualunque* corpo posto in un punto dello spazio viene sintetizzata da una *campo vettoriale* che definirà la **forza**.

## Conclusioni

- Le grandezze cinematiche sono introdotte per via geometrica
- Il contenuto sperimentale dei principi della dinamica è descrivibile in termini di quantità geometriche (le accelerazioni) e una serie di costanti  $K$  dipendenti solo dai singoli corpi.
- Fissando un corpo di prova, le costanti  $K$  sono misurabili e definendo così la **massa inerziale** per ogni corpo.
- La proprietà di *impartire* un'accelerazione ad un *qualunque* corpo posto in un punto dello spazio viene sintetizzata da una *campo vettoriale* che definirà la **forza**.

## Conclusioni

- Le grandezze cinematiche sono introdotte per via geometrica
- Il contenuto sperimentale dei principi della dinamica è descrivibile in termini di quantità geometriche (le accelerazioni) e una serie di costanti  $K$  dipendenti solo dai singoli corpi.
- Fissando un corpo di prova, le costanti  $K$  sono misurabili e definendo così la **massa inerziale** per ogni corpo.
- La proprietà di *impartire* un'accelerazione ad un *qualunque* corpo posto in un punto dello spazio viene sintetizzata da una *campo vettoriale* che definirà la **forza**.

## Conclusioni

- Le grandezze cinematiche sono introdotte per via geometrica
- Il contenuto sperimentale dei principi della dinamica è descrivibile in termini di quantità geometriche (le accelerazioni) e una serie di costanti  $K$  dipendenti solo dai singoli corpi.
- Fissando un corpo di prova, le costanti  $K$  sono misurabili e definendo così la **massa inerziale** per ogni corpo.
- La proprietà di *impartire* un'accelerazione ad un *qualunque* corpo posto in un punto dello spazio viene sintetizzata da una *campo vettoriale* che definirà la **forza**.

## Conclusioni

- Le grandezze cinematiche sono introdotte per via geometrica
- Il contenuto sperimentale dei principi della dinamica è descrivibile in termini di quantità geometriche (le accelerazioni) e una serie di costanti  $K$  dipendenti solo dai singoli corpi.
- Fissando un corpo di prova, le costanti  $K$  sono misurabili e definendo così la **massa inerziale** per ogni corpo.
- La proprietà di *impartire* un'accelerazione ad un *qualunque* corpo posto in un punto dello spazio viene sintetizzata da una *campo vettoriale* che definirà la **forza**.



## Bibliografia

- E.Mach *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*  
Boringhieri
- V.I.Arnol'd *Metodi matematici della meccanica classica* Ed.  
Riuniti
- G.Dell'Antonio *Elementi di meccanica. I Meccanica classica*  
Liguori Editore
- D.Halliday, R.Resnick, J.Walker *Fondamenti di fisica:*  
*Meccanica Zanichelli*

## Ringrazamenti

Desidero ringraziare il gruppo del *Liceo Matematico* della Dip. di Matematica della *Sapienza* ed in particolare il Prof Giovanni Organtini (Dip. di Fisica) per aver condiviso l'idea di questo progetto, per i suoi consigli ed osservazioni.

Non posso non ringraziare i ragazzi della Seconda Q del *Vittoria Colonna* che hanno sopportato di buon grado lo stravolgimento della programmazione, divertendosi poi con il software Tracker a studiare i moti in laboratorio.

## Ringrazamenti

Desidero ringraziare il gruppo del *Liceo Matematico* della Dip. di Matematica della *Sapienza* ed in particolare il Prof Giovanni Organtini (Dip. di Fisica) per aver condiviso l'idea di questo progetto, per i suoi consigli ed osservazioni.

Non posso non ringraziare i ragazzi della Seconda Q del *Vittoria Colonna* che hanno sopportato di buon grado lo stravolgimento della programmazione, divertendosi poi con il software Tracker a studiare i moti in laboratorio.