

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 **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?
- 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.