

# Appunti Fisica I

Luca Seggiani

12 Marzo 2024

## 1 Relatività galileiana

Consideriamo due sistemi di riferimento. Il primo,  $S$ , detto riferimento stazionario o di laboratorio, è "relativamente" in quiete. Il secondo,  $S'$ , è in moto rettilineo uniforme con una certa velocità  $v_0$ , detta velocità di trascinamento. Al tempo  $t = 0$  le origini di  $S$  e  $S'$  coincidono. Vale allora, che per un qualsiasi vettore  $\vec{r}'$  individuato da  $S'$ , lo stesso vettore nel riferimento  $S$  sarà:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{v}_0 t$$

Andiamo a derivare questa espressione (trasformazione di Galileo):

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0$$

Derivando nuovamente avremo:

$$\vec{a} = \vec{a}'$$

ovvero l'accelerazione non cambia al cambiare del sistema di riferimento (questo finché i sistemi di riferimento considerati sono inerziali, ovvero in quiete o in moto rettilineo uniforme). Si dice che l'accelerazione è un invariante della relatività galileiana.

Diciamo inoltre che nelle formule appena riportate,  $\vec{v}$  prende il nome di velocità assoluta,  $\vec{v}'$  di velocità relativa, e come già detto,  $\vec{v}_0$  di velocità di trascinamento.

### Riferimenti non inerziali

Esaminiamo il caso in cui il nostro sistema di riferimento  $SM$  (sistema mobile) si muove di velocità  $\vec{v}_t$  e accelerazione costante  $\vec{a}_t$  rispetto al sistema di laboratorio  $SL$ . La relazione fra le posizioni diventa:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_{OO'}(t)$$

che deriveremo per ottenere la velocità:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_t, \quad \vec{v}_t = \frac{dr_{OO'}}{dt}$$

e l'accelerazione (notiamo che non è più invariante):

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_t, \quad \vec{a}_t = \frac{dr_{OO'}^2}{dt^2}$$

con  $\vec{r}_{OO'}$  uguale al vettore spostamento dall'origine in  $SL$  all'origine in  $SM$ . Ricordiamo poi che i sistemi di riferimento non sono sistemi di coordinate: più propriamente sono sistemi di coordinate dotati di una certa misura dello spazio (un metro) e del tempo (un orologio).

## 2 Introduzione alla dinamica

Introduciamo ora le leggi fondamentali della dinamica. Innanzitutto possiamo dire che queste leggi si applicano nei casi in cui:

- Le velocità prese in considerazione sono molto più piccole di quelle della luce ( $\vec{V} < c$ );
- Le dimensioni dei corpi non sono in ordini di grandezza subatomici;
- I campi gravitazionali sono deboli.

nel primo e nel secondo caso, avremo bisogno rispettivamente della relatività ristretta e generale. Nel terzo caso invece ci servirà la meccanica quantistica.

### Definizione di Forza

La forza è un'interazione fra due corpi, che può essere:

- **A distanza**, ovvero attraverso le cosiddette forze fondamentali o di campo (gravitazionali, elettriche, magnetiche, ecc...);
- **Per contatto**, ovvero le forze che si studiano nella meccanica (attrito, forza elastica, ecc...). Derivano da manifestazioni macroscopiche delle interazioni elettromagnetiche.

Le forze sono grandezze fisiche vettoriali (hanno punto d'applicazione, direzione modulo e verso). Si misurano staticamente con il dinamometro.

**Prima legge di Newton** Il primo principio della dinamica, detto anche prima legge di Newton o legge d'inerzia, riguarda l'assenza di interazioni (forze):

Esiste almeno un sistema di riferimento in cui un corpo non soggetto a forze (oppure soggetto ad un sistema di forze a risultante nulla  $\sum \vec{F} = \vec{0}$ ) prosegue nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

in simboli:

$$\sum \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0}$$

### **Sistemi di riferimento inerziali**

Un sistema di riferimento inerziale è un sistema in cui vale il principio d'inerzia (e quindi  $\vec{F} = m\vec{a}$ ). I sistemi di riferimento inerziali formano una classe di sistemi (godono di riflessività, simmetria e transitività, ergo tutti i sistemi in movimento fra di loro con velocità costante sono inerziali).

### **Seconda legge di Newton**

Il secondo principio della dinamica, detto anche seconda legge di Newton o legge fondamentale della dinamica, mette in relazione massa, forza e accelerazione di un corpo:

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

dove  $m$  è la massa, una grandezza scalare, proprietà intrinseca della composizione di un corpo.

### **Terza legge di Newton**

Il terzo principio della dinamica, detto anche terza legge di Newton o principio di azione-reazione, stabilisce che ogni forza esercitata su di un corpo è seguita da una reazione, ovvero una forza con lo stesso modulo e direzione in verso opposto. Un esempio classico della terza legge di Newton è la forza vincolante espressa da ogni corpo in collisione con un'altro corpo, che ad esempio permette al terreno di impedirci di sprofondare verso il centro della terra sotto l'effetto della gravità.

### **Le quattro interazioni fondamentali**

Adesso può essere conveniente esaminare, almeno a livello superficiale, le quattro interazioni (forze) fondamentali individuate ad oggi dalla comunità scientifica:

- **Forza gravitazionale**

La gravità è la forza che attrae fra di loro corpi come la Terra e il sole, o ancora i corpi sulla superficie terrestre alla Terra stessa. Di gran lunga è la forza più debole fra le quattro fondamentali. La comprensione più completa che ne abbiamo è quella come espressione della geometria

spazio-tempo secondo la relatività generale.

La forza di gravità si applica fra due corpi nella direzione della retta che li congiunge, è direttamente proporzionale alle loro masse e inversamente proporzionale alla distanza fra i due:

$$\vec{F}_g = \frac{m_1 m_2}{R^2} G \hat{R}, \quad G = 6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{Nm}^2}{\text{kg}^2}$$

dove  $\hat{R}$  è il versore nella direzione della distanza fra i due corpi. Chiaramente i corpi sono attratti fra di loro quanto più sono vicini e le loro masse sono grandi. Inoltre, la forza gravitazionale a raggio di azione infinito (seppur insignificante su distanze abbastanza grandi).

- **Forza elettromagnetica**

La forza elettromagnetica dà origine ai legami chimici, alle proprietà di atomi e molecole, alla luce nonché a gran parte delle forze di contatto studiate nella meccanica classica. La forza elettromagnetica si applica fra cariche: la carica elettrica, misurata in Coulomb (C), ne determina infatti il verso. Cariche concordi si respingono, cariche discordi si attraggono. In simboli:

$$\vec{F}_c = \frac{q_1 q_2}{R^2} k \hat{R}$$

dove  $k$  è la costante di Coulomb, ovvero:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Come per la forza gravitazionale, la forza elettromagnetica ha raggio di azione infinito. La differenza però sta nel verso, che può essere sia attrattivo (come la gravità) che repulsivo.

- **Forza nucleare (forte)**

La forza nucleare entra in gioco su distanze estremamente piccole, inferiori ai  $10^{-15}\text{m}$ . La si può osservare nei nuclei di atomi, formati da protoni carichi positivamente, che però non si disperdono a causa della forza elettromagnetica proprio grazie all'azione della forza nucleare che li mantiene uniti. La forza nucleare determina le interazioni fra particelle elementari come quark e gluoni.

- **Forza nucleare debole**

La forza nucleare debole è responsabile delle forze che entrano in gioco nei meccanismi di decadimento nucleare. Ha un range estremamente limitato, di  $10^{-18}\text{m}$ .

### Forze di contatto

Vediamo quali sono i tipi principali di forze di contatto fra corpi, o fra corpi e fluidi:

- Fra corpi rigidi
  - Forze vincolari
    - \* normali fra superfici
    - \* ganci o fili inestensibili
    - \* cerniere
    - \* ...
  - Attriti (paralleli alla superficie di contatto):
    - \* statico
    - \* dinamico
- Fra corpi deformabili:
  - Forze elastiche
  - Forze anelastiche
- Fra un corpo solido e un fluido
  - Attrito viscoso
  - Forze di pressione

### Forza gravitazionale

Riprendendo la legge di gravitazione universale:

$$\vec{F}_m = \frac{mM_t}{r^2}G$$

con  $M_t$  massa della Terra ( $6 \times 10^{24}$ ) e  $m$  massa dell'oggetto in questione, possiamo dire:

$$\vec{a} = \frac{M_t}{R^2}G$$

in accordo con:

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

Chiaramente, nei pressi della Terra  $\vec{a}$  sarà uguale a  $g$ , ovvero l'accelerazione gravitazionale terrestre. La forza  $F_m$  prende il nome di forza peso (da non confondersi con la massa!). La forza peso è diretta approssimativamente verso

il centro della terra e vale circa  $9.81 \cdot m$  per un corpo di massa  $m$ , sulla superficie terrestre attorno al  $45^\circ$  parallelo.

### **Forze normali**

Vediamo adesso tutte quelle forze vincolari che i corpi esercitano l'uno sull'altro perpendicolarmente alle loro superfici. Le forze normali si verificano solamente in caso di compressione. Notiamo che la forza normale esercitata da un corpo che sorregge un'altro corpo non è sempre uguale al peso: ad esempio, il corpo sorretto potrebbe da parte sua subire altre forze, con una componente parallela alla forza peso ma diretta verso l'alto o verso il basso, che andrebbero rispettivamente a diminuire o decrementare la reazione vincolare.

### **Piano inclinato**

Notiamo adesso come la forza normale non è necessariamente diretta verso l'asse verticale. Prendiamo in esempio un piano inclinato di angolo  $\theta$ . Potremo allora dividere la forza di gravità che agisce sul corpo in due componenti: quella parallela e quella perpendicolare alla superficie del piano. Chiamandole rispettivamente  $F_{\parallel}$  e  $F_{\perp}$  potremo dire:

$$F_{\parallel} = F_g \sin \theta, \quad F_{\perp} = -F_g \cos \theta$$

In questo caso, il piano inclinato compenserà con una reazione vincolare soltanto la componente  $F_{\perp}$ , mentre la componente  $F_{\parallel}$  resterà invariata nella direzione parallela al piano.

### **Contatto diretto**

Due oggetti di massa  $m_1$  e  $m_2$ , in contatto diretto e su cui viene applicata una forza (e che quindi si spingono fra di loro), possono essere considerati dal punto di vista della forza come un unico oggetto di massa  $m_1 + m_2$ , da cui l'accelerazione complessiva:

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

Possiamo a questo punto trovare le due forze di reazione  $R_1$  e  $R_2$  che i corpi applicano l'uno sull'altro:

$$R_1 = \frac{Fm_1}{m_1 + m_2}, \quad R_2 = \frac{Fm_2}{m_1 + m_2}$$

Notiamo inoltre che  $R_1 = F - R_2$  e  $R_2 = F - R_1$ , ovvero:

$$F = R_1 + R_2$$

### **Funi e corde**

Consideriamo funi e corde come vincoli monodimensionali privi di massa inerziale e inestensibili. Trasferiscono la forza, detta tensione ( $T$ ) fra i loro estremi.