

# Classificazione delle forze

- Tutte le forze responsabili dei fenomeni naturali sono riconducibili a quattro tipi di interazioni fondamentali: l'interazione gravitazionale, elettromagnetica, nucleare debole e nucleare forte.
- L'interazione gravitazionale, la prima ad essere studiata, si esplica tra i corpi dotati di massa;
- L'interazione elettromagnetica caratterizza i corpi che posseggono una carica elettrica;
- L'interazione nucleare debole è responsabile di alcuni tipi di decadimenti di particelle;
- L'interazione nucleare forte garantisce la stabilità dei nuclei atomici
- L'interazione elettromagnetica e quella debole sono, su scala microscopica, due diversi aspetti della stessa interazione: l'interazione elettrodebole

# Campo di una forza

- La pratica quotidiana suggerisce che, affinché esplichino la propria azione, alcune forze richiedano il contatto tra il corpo e l'agente che determina l'azione (la spinta di un corpo su un piano ne determina il moto) mentre altre forze non richiedono alcun contatto (la forza tra i pianeti e il Sole o la forza tra cariche elettriche)
- Il problema dell'interazione a distanza si risolve mediante il concetto di *campo* formulato da Faraday
- Un corpo, in virtù di una qualche sua proprietà, come la massa o la carica elettrica, genera nello spazio attorno a sé un campo attraverso il quale gli altri corpi interagiscono con il corpo che lo ha generato.
- Il campo rappresenta l'entità che si propaga da un corpo all'altro affinché si verifichi l'interazione

# Forze nella meccanica classica

- Nell'ambito della fisica classica tutte le forze che si esplicano sono riconducibili a due soli tipi di interazione, quella gravitazionale e quella elettromagnetica.
- La forza gravitazionale giustifica il fatto che tutti i corpi, indipendentemente dalla loro massa, in prossimità della Terra acquistano la stessa accelerazione se lasciati liberi.
- L'interazione elettromagnetica è responsabile delle forze di contatto; osservate a livello microscopico, tali forze si esplicano attraverso azioni elettriche repulsive o attrattive tra gli atomi che costituiscono i corpi

# Forza peso

- Supponiamo di poter considerare la Terra un sistema di riferimento inerziale.
- Sperimentalmente (i primi esperimenti sono dovuti a Galilei), si osserva che in prossimità della Terra un corpo, indipendentemente dalla sua massa, quando è lasciato libero, acquista un'accelerazione il cui modulo vale, in media, circa  $9,81 \text{ m/s}^2$
- Questa accelerazione è conseguenza dell'interazione tra la Terra e il corpo e la forza corrispondente è detta *forza peso*.
- Applicando la seconda legge di Newton possiamo ricavare la forza subita dal corpo

$$\vec{P} = m\vec{g} \quad \text{dove} \quad \vec{g} : \text{accelerazione di gravità}$$

$m : \text{massa inerziale}$

- Il peso non è una caratteristica intrinseca dei corpi come la massa: il peso di un corpo su un altro pianeta sarebbe differente da quello misurato sulla Terra.

# Gravitazione universale

- Le conoscenze relative alla forza di gravitazione si sono sviluppate a partire dalle osservazioni astronomiche del moto dei pianeti del sistema solare condensabili nelle tre leggi di Keplero che rappresentano la base cinematica da cui scaturisce la descrizione in termini dinamici del moto planetari e l'identificazione dell'interazione responsabile di tale moto:
- 1: *Rispetto al Sole ogni pianeta descrive un'orbita ellittica di cui il Sole occupa uno dei fuochi*
- 2: *Il raggio vettore condotto dal Sole ad ogni pianeta descrive aree proporzionali ai tempi impiegati per descriverle; cioè il moto del pianeta rispetto al Sole si svolge con velocità areolare costante*
- 3: *I quadrati dei periodi di rivoluzione dei vari pianeti intorno al Sole sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle rispettive orbite ellittiche*

# Gravitazione universale

- Le leggi dell'interazione gravitazionale (ad opera di Newton) descrivono l'interazione che si esplica tra due generici corpi materiali e che determina un moto descrivibile attraverso le leggi di Keplero
- Supponiamo, in prima approssimazione che le orbite dei pianeti si possano considerare circolari
- Ricordiamo che la seconda legge di Keplero stabilisce che la velocità areolare (velocità con cui una superficie viene spazzata dal vettore posizione di un punto che si muove lungo una curva) è costante, per cui la velocità angolare  $\omega$  sarà costante (orbita circolare)
- Se  $\omega$  è costante, il moto è di tipo circolare uniforme e, quindi, l'accelerazione tangenziale è nulla e il modulo dell'accelerazione centripeta vale:

$$a = \frac{v^2}{r} \quad \overset{v=r\omega}{\Rightarrow} \quad a = r\omega^2$$

# Gravitazione universale

- Sul pianeta agisce la forza centripeta: modulo  $F = mr\omega^2$
- Indicando con  $T$  il periodo di rivoluzione, il modulo della forza centripeta diventa

$$F_p = mr\omega^2 = mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

- Nell'approssimazione fatta di orbita circolare, la terza legge di Keplero permette di affermare che

$$T^2 \propto r^3 \Rightarrow T^2 = kr^3$$

- Il modulo della forza centripeta, quindi, diventa

$$F_p = mr \frac{4\pi^2}{T^2} = mr \frac{4\pi^2}{k_p r^3} = \frac{4\pi^2}{k_p} \frac{m}{r^2}$$

- La forza esercitata dal Sole sui pianeti è inversamente proporzionale alla distanza dal Sole

# Gravitazione universale

- Se  $M$  rappresenta la massa del Sole, la forza esercitata dal pianeta sul Sole vale

$$F_S = \frac{4\pi^2}{k_S} \frac{M}{r^2}$$

- Per la terza legge di Newton, la forza che il Sole esercita sul pianeta deve essere uguale alla forza che il pianeta esercita sul Sole

$$F_P = F_S \Rightarrow \frac{4\pi^2}{k_P} \frac{m}{r^2} = \frac{4\pi^2}{k_S} \frac{M}{r^2} \Rightarrow \frac{m}{k_P} = \frac{M}{k_S} \Rightarrow k_S m = k_P M$$

- Se poniamo

$$G \equiv \frac{4\pi^2}{k_S m} = \frac{4\pi^2}{k_P M} \Rightarrow F_G = F_P = F_S = G \frac{Mm}{r^2}$$

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{m}^3}{\text{s}^2 \text{kg}}$$



# Gravitazione universale

- ***Ogni particella materiale esistente nell'universo attira ogni altra particella con una forza gravitazionale. Le forze gravitazionali esistenti tra due particelle (tra loro opposte per il principio di azione e reazione) hanno come retta di azione la retta passante per le due particelle e intensità proporzionale al prodotto delle masse delle particelle e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza***

# Gravitazione universale

- Quando consideriamo corpi sulla superficie terrestre, trascureremo sempre le forze di mutua attrazione tra di essi, perché molto più piccole delle rispettive forze peso.
- La forza peso che agisce sui corpi può essere derivata dalla forza gravitazionale:

$$P = mg = F_G = G \frac{mM_T}{(d + r_T)^2} \quad d \ll r_T \Rightarrow g = G \frac{M_T}{r_T^2}$$

# Deformazione

- Tutti i corpi soggetti all'azione di una forza subiscono una deformazione, che dipende:
  - dall'intensità della forza applicata,
  - dalla natura del corpo stesso.
- In generale, le deformazioni possono essere di due tipi:
  - elastiche, che scompaiono quando la forza non è più applicata,
  - anelastiche, che permangono anche successivamente alla rimozione della forza originariamente applicata
- È detta forza elastica quella che si oppone alla deformazione di un corpo consentendogli di ritornare alla sua forma iniziale

# Classificazione dei corpi

- È possibile classificare i corpi sulla base del comportamento che essi hanno durante e dopo l'applicazione della forza, ovvero sulla base di quanto essi si siano deformati con l'applicazione della forza e sulla base della circostanza che essi riprendano o meno il loro aspetto iniziale:
- corpi rigidi: mantengono inalterata la propria forma anche a seguito dell'applicazione di una forza
- corpi plastici: deformati dall'azione di una forza, non riprendono il loro aspetto primitivo
- corpi elastici: vengono deformati ma riprendono il loro aspetto primitivo quando viene meno l'azione della forza (*fino al limite di elasticità*).

# La forza elastica

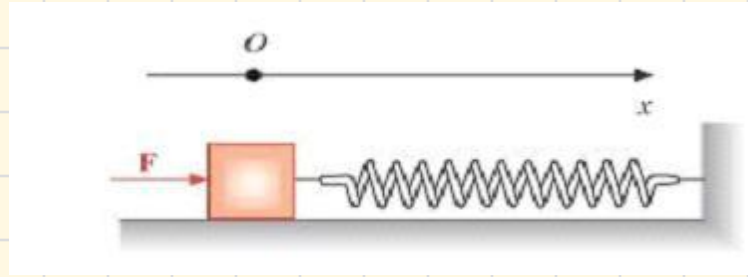
- La formulazione della legge sulle forze elastiche prende il nome di *legge di Hooke* in base alla quale la forza elastica è direttamente proporzionale all'intensità della deformazione (sempre per valori inferiori al limite di elasticità) ed è sempre opposta al verso della la deformazione stessa.
- Nel caso di una molla, per esempio, la sua deformazione, cioè il suo allungamento, è maggiore quanto più grande è la forza con cui essa viene tirata e la forza elastica da essa prodotta è proporzionale all deformazione stessa.
- Secondo la legge di Hooke, la forza elastica è data dall'espressione

$$\vec{F}_{el} = -kx\vec{i}$$

$$F_{elx} = -kx$$

dove  $k$  è una costante positiva (*costante elastica*) caratteristica del materiale e della geometria del corpo considerato ed il segno meno indica che la forza ha verso opposto allo spostamento

# Moto armonico



- Determiniamo la legge oraria di una massa attaccata a una molla vincolata in un estremo.
- Appliciamo contemporaneamente la seconda legge di Newton e la legge di Hooke:

$$\vec{F} = m\vec{a} = -k\vec{x} \Rightarrow ma = -kx \Rightarrow -kx = m \frac{d^2x}{dt^2} \Rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x$$

- Se poniamo  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , si ottiene  $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2x$

# Moto armonico

- L'equazione  $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x$  prende il nome di *equazione dell'oscillatore armonico*

- È un'equazione differenziale: l'incognita è una funzione  $x$  del tempo ovvero una  $x(t)$
- Dobbiamo determinare una particolare funzione che ha la caratteristica (a meno della costante  $\omega^2$ ) di essere uguale alla sua derivata seconda
- La derivata prima della funzione seno è coseno
- La derivata prima della funzione coseno è  $-\text{seno}$
- La derivata seconda della funzione seno è  $-\text{seno}$
- La funzione che stiamo cercando è, quindi:

$$x(t) = \text{sen}(\omega t) \quad \text{con} \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \begin{aligned} x(t) &= \text{sen}(\omega t) \\ x'(t) &= \omega \cos(\omega t) \\ x''(t) &= -\omega^2 \text{sen}(\omega t) \end{aligned}$$