

Lezione 10: Le forze vengono a coppie

10.1. Ricordiamo la prima e la seconda legge della dinamica

Abbiamo visto come, per prevedere il moto di un corpo, sia necessario conoscere le forze che agiscono su di esso. Se nessuna forza agisce la previsione è facile: il corpo si muoverà in linea retta con una velocità costante (prima legge). Se sul corpo agisce una forza costante, essa produrrà un'accelerazione costante, inversamente proporzionale alla massa del corpo, direttamente proporzionale all'intensità della forza che agisce su di esso (seconda legge). Se la forza che agisce varia nel tempo, l'accelerazione subita seguirà, istante per istante, la direzione e il verso di azione della forza.

Abbiamo anche detto che ogni forza nasce da un'interazione. Se osserviamo un corpo allontanarsi dallo stato di moto rettilineo uniforme, possiamo essere certi che sta interagendo con un secondo corpo: dall'interazione nasce la forza che provoca l'accelerazione osservata.

10.2. Occorre una terza legge della dinamica

Due leggi non bastano per spiegare il movimento dei corpi, ne occorre una terza. Fu ancora Newton ad accorgersi di questa necessità, quindi a formulare la legge che serve a completare il quadro della meccanica. Ecco alcune delle osservazioni che potrebbero aver guidato Newton sulla giusta strada:

- quando ci appoggiamo a una parete applichiamo una forza contro di essa (se la parete fosse in cartongesso dovremmo farlo con cautela...). D'altra parte, nello stesso tempo, una forza viene applicata dalla parete su di noi: è la forza che ci impedisce di cadere sotto l'azione del nostro stesso peso;
- quando un'arma da fuoco spara, l'esplosione provoca una forza in avanti sul proiettile, ma anche una forza all'indietro sull'arma: questa forza si chiama rinculo, e i suoi effetti possono essere molto evidenti;
- quando nuotiamo, ciò che in realtà facciamo consiste nello spingere l'acqua all'indietro con quanta più forza possiamo. Il risultato di questa spinta all'indietro sull'acqua è una forza, diretta in avanti, che agisce su di noi.

In tutti e tre i casi vediamo che un oggetto A (la persona che si appoggia, l'arma, la persona che nuota) esercita una forza su un oggetto B (la parete, il proiettile, l'acqua). Ogni volta si verifica un fatto curioso: l'oggetto B reagisce applicando una forza, diretta in verso opposto, sull'oggetto A.

La terza legge non fa altro che generalizzare queste osservazioni, facendo l'ulteriore ipotesi che le due forze (azione e reazione) abbiano sempre verso opposto e uguale

intensità.

10.3. L'enunciato della terza legge della dinamica

Nelle esatte parole di Newton la terza legge della dinamica dice che:

l'azione è sempre uguale e contraria alla reazione: cioè le mutue azioni di due corpi sono sempre uguali e dirette in verso opposto.

Occorre prestare molta attenzione a ciò che la legge dice realmente. Ogni forza nasce dall'interazione tra due oggetti, e l'interazione origina una coppia di forze: ciascuna delle due agisce su un oggetto diverso.

Se non consideriamo attentamente questo fatto possiamo cadere in trappole come il paradosso dell'asino e del carretto: per quanta forza l'asino applichi sul carretto (dice il paradosso) mai e poi mai gli riuscirà di muoverlo, perchè in ogni istante il carretto applicherà una forza uguale e contraria. Chiunque abbia provato a spingere un carrello al supermercato sa che questa conclusione è falsa: ma dove sta l'errore?

In primo luogo: l'azione è diretta sul carretto, la reazione sull'asino. Come possiamo pretendere che si cancellino due forze che agiscono su oggetti diversi? Si potrebbe però obiettare che asino e carro sono legati insieme, quindi formano un unico corpo. Se due forze uguali e contrarie agiscono su questo corpo, sebbene in punti diversi, i loro effetti devono cancellarsi, e quindi nulla dovrebbe muoversi!

L'errore in questo ragionamento consiste nel dimenticare che un terzo oggetto deve essere preso in considerazione: è il terreno sul quale l'asino punta gli zoccoli, spingendolo all'indietro e ricevendo in cambio una forza in avanti, questa si responsabile del suo moto. In particolare è l'attrito tra lo zoccolo e il terreno a permettere il moto in avanti: se viene a mancare l'attrito (per esempio se il terreno diventa una lastra di ghiaccio) l'asino non può più nè tirare il carretto nè muoversi da solo.

10.4. Qualcosa in più sull'attrito

Che cosa permette ad un'automobile di accelerare? Una maggiore spinta del motore, naturalmente. Se però analizziamo questa risposta ci accorgiamo che qualcosa non va. Abbiamo detto che ogni accelerazione nasce da un'interazione con il mondo esterno, ma il motore sta *dentro* l'automobile.

Anche in questo caso è facile convincersi che è essenziale il ruolo dell'attrito con l'asfalto. Il motore esercita una forza sull'asse, che a sua volta la trasmette alle ruote motrici. L'attrito tra la gomma e l'asfalto fa sì che la ruota possa esercitare sul terreno una forza diretta *all'indietro*. La conseguenza, per il terzo principio, è che il terreno esercita sulla ruota una forza diretta *in avanti*: è proprio questa, in definitiva,

la forza responsabile dell'accelerazione che l'auto subisce. L'effetto di uno strato di ghiaccio (oppure d'olio) sull'asfalto è quello di annullare l'attrito tra ruota e terreno: il motore funziona correttamente, ma l'auto non si muove, perché la gomma slitta.

La forza d'attrito è sempre diretta in modo tale da contrastare il moto di un oggetto (► fig.10.1).

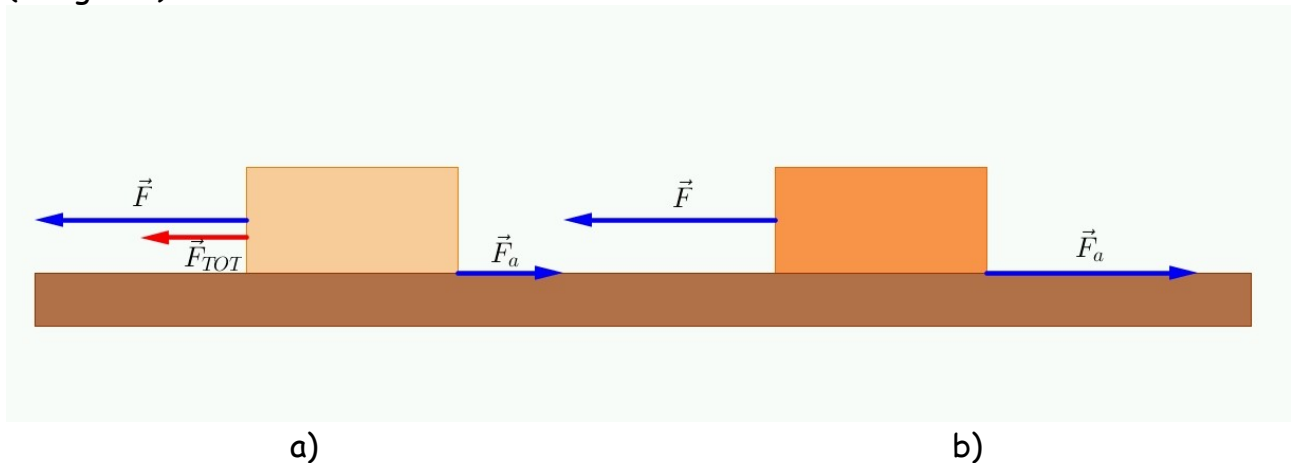


Fig.10.1 Come agisce la forza d'attrito - L'attrito \vec{F}_a contrasta la forza \vec{F} applicata sul corpo

- a) la forza risultante \vec{F}_{TOT} ha intensità pari alla differenza tra le due intensità
- b) la forza risultante è nulla, perché l'attrito è pari alla forza applicata

10.5. Perché gli oggetti non cadono?

Abbiamo visto che gli oggetti cadono: ciò accade quando sono lasciati liberi a sé stessi sotto l'azione della forza di attrazione della Terra, forza che abbiamo chiamato peso. Non accade se invece gli oggetti sono poggiati sopra una superficie rigida, come un tavolo o un pavimento. Ma che cosa, in questi casi, impedisce la caduta? La seconda legge ci assicura che deve esistere almeno una seconda forza che agisce sull'oggetto, di intensità, direzione e verso tali da cancellare esattamente gli effetti del peso.

Consideriamo la figura (► fig.10.2): l'oggetto posato sulla superficie rigida del tavolo non cade perché è sottoposto all'azione di due forze, che hanno uguale direzione e intensità, ma verso opposto. La prima è la forza peso (\vec{F}_p), dovuta come sappiamo all'interazione con la Terra; la seconda è la forza di reazione vincolare (\vec{F}_R), dovuta all'interazione con la superficie rigida del tavolo. La forza di reazione vincolare è una forza di origine elettrica: il meccanismo che la provoca sarà descritto più avanti.

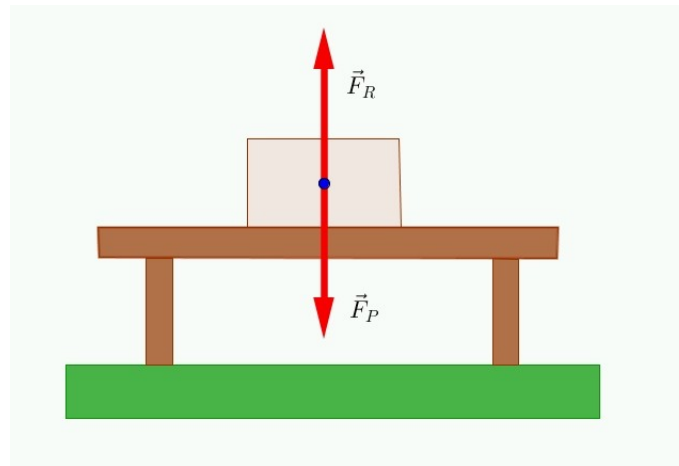


Fig.10.2 Un oggetto poggiato sulla superficie rigida di un tavolo rimane in equilibrio sotto l'azione di due forze uguali e contrarie

Per adesso ci accontentiamo di una semplice osservazione: la forza di reazione vincolare è diretta perpendicolarmente alla superficie sulla quale si esercita l'azione, ed ha l'intensità giusta per compensarla esattamente.

10.6. Un oggetto sopra ad un piano inclinato

Consideriamo ora il caso in cui l'oggetto pesante è poggiato sopra una superficie inclinata, che forma un angolo α rispetto all'orizzontale (► fig.10.3). L'azione dovuta alla forza peso (F_P), quindi, non si esercita perpendicolarmente alla superficie, invece la reazione vincolare (F_R) è diretta perpendicolarmente alla superficie: queste sono le sole due forze a cui è sottoposto l'oggetto, perché esso interagisce soltanto con la Terra e con la superficie su cui poggia.

La somma di forza peso e reazione vincolare produce una forza \vec{F}_{TOT} parallela alla superficie inclinata e diretta verso il basso, la cui intensità è minore della forza peso F_P del corpo.

Si può dimostrare che \vec{F}_{TOT} è tanto più piccola quanto più piccolo è l'angolo che il piano forma con la direzione orizzontale. Se il piano è così poco inclinato da essere orizzontale, allora \vec{F}_{TOT} è zero. Se viceversa il piano è così tanto inclinato da essere verticale, allora \vec{F}_{TOT} coincide con il peso \vec{F}_P .

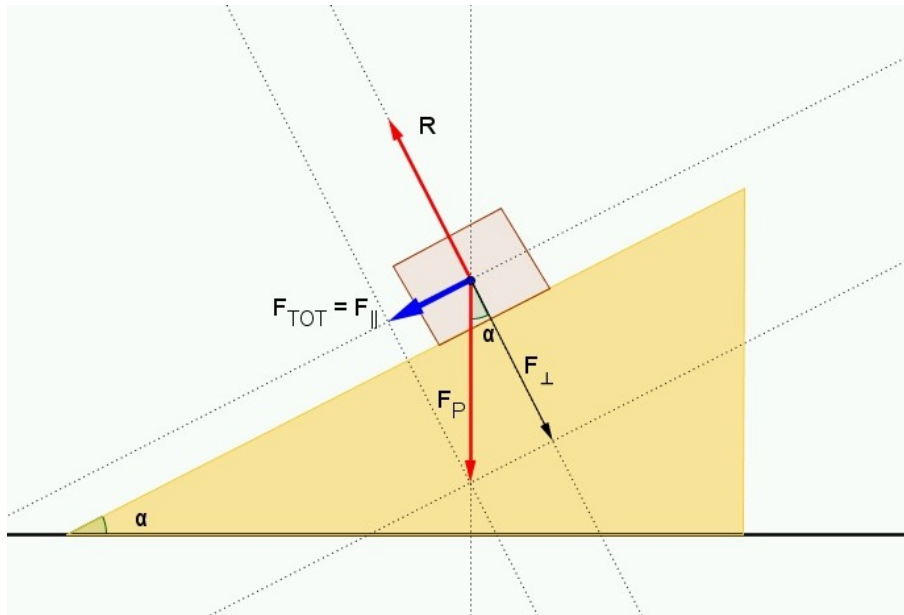


Fig. 10.3 diagramma delle forze che agiscono su un corpo poggiato sopra un piano inclinato e rigido

Il vettore \vec{F}_P non è perpendicolare al piano. Per la precisione, forma con la perpendicolare al piano un angolo α uguale a quello che il piano forma con l'orizzontale. Possiamo scomporre il vettore \vec{F}_P in due componenti: $\vec{F}_{//}$ parallela al piano, \vec{F}_\perp perpendicolare al piano. Si ha quindi:

$$\vec{F}_P = \vec{F}_{//} + \vec{F}_\perp$$

La reazione vincolare del piano è uguale e opposta alla componente \vec{F}_\perp . Possiamo perciò scrivere:

$$\vec{F}_{TOT} = \vec{F}_P + \vec{F}_R = \vec{F}_{//} + \vec{F}_\perp + \vec{F}_R = \vec{F}_{//}$$

Insomma: la forza risultante che agisce sul corpo, cioè la somma tra peso e reazione vincolare, non è altro che la componente del peso nella direzione parallela al piano. Minore è l'inclinazione del piano, minore è l'intensità della forza $\vec{F}_{//}$. Se il piano è addirittura orizzontale, allora si ha $\vec{F}_{//} = 0$.

Per quanto riguarda il modulo delle due componenti della forza peso, è facile calcolarlo conoscendo l'inclinazione α del piano d'appoggio:

$$|\vec{F}_{//}| = F \cdot \sin(\alpha)$$

$$|\vec{F}_\perp| = F \cdot \cos(\alpha)$$