

Introduzione

La **dinamica** è il ramo della meccanica che si occupa dello studio del moto dei corpi e delle sue cause o, in termini più concreti, delle circostanze che lo determinano e lo modificano. Lo studio completo della meccanica comprende anche la statica e la cinematica: la dinamica si differenzia dalla prima che studia le configurazioni di equilibrio meccanico, dalla seconda che studia, in astratto, tutti i moti concepibili ma non si occupa di determinare quali moti possono avvenire in un determinato contesto sperimentale.

Lo studio della dinamica si conduce innanzitutto riferendosi ad un'entità astratta, dotata di massa ma con dimensioni trascurabili: il punto materiale. Tutte le leggi riferite al punto materiale possono essere poi estese ai corpi reali (dotati di massa e di dimensioni finite) interpretati come *sistemi di punti materiali*; se ci si occupa di corpi nei quali le distanze relative tra i punti costituenti non variano nel tempo, si studia la dinamica dei *corpi rigidi*; in caso contrario si studia la dinamica dei *corpi deformabili*.

Le basi concettuali della dinamica vengono poste per la prima volta in maniera sintetica e completa da Isaac Newton nel 1687 con la pubblicazione della sua opera fondamentale, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, anche se Newton le aveva recepite da studente nel saggio "Delle riflessioni" del gennaio 1665, manoscritto sul suo Waste Book. Nella prima parte di quest'opera, dopo aver definito i concetti fondamentali di massa, quantità di moto, e forza, Newton introduce i tre assiomi o leggi del moto, che riportiamo qui di seguito.

Tali leggi trovano applicazioni vastissime in natura e permettono di descrivere adeguatamente il moto di piccoli oggetti, di grandi oggetti, il moto dei fluidi, il comportamento delle cariche elettriche, il moto dei corpi celesti.

Con la pubblicazione del libro "Principi matematici della filosofia naturale" più conosciuto col nome "Principia", Newton pone le basi fondamentali di quella branca della fisica comunemente nota come Meccanica classica

Primo principio o principio di inerzia

Questo fondamentale principio fu scoperto da Galileo Galilei e dettagliatamente descritto in due sue opere, rispettivamente, nel 1632 e nel 1638: "Il Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo" e "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica et i movimenti locali". La sua prima enunciazione formale è di Isaac Newton ("*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*"):

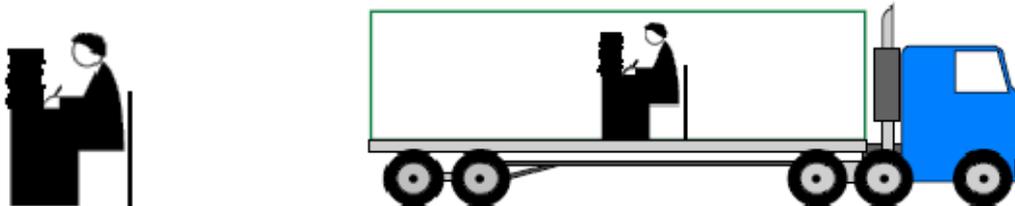
« *Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum illum mutare.* »

Ovvero: ciascun corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme, a meno che sia costretto a mutare tale stato da forze impresse (esterne).

Il principio di inerzia non è di banale osservazione: consideriamo per esempio una biglia (assimilabile nella nostra trattazione ad un punto materiale) che rotola su una superficie piana orizzontale molto estesa. La nostra esperienza ci dice che con il passare del tempo la biglia rallenta fino a fermarsi; questo è dovuto al fatto che interagisce con il piano e con l'aria. Si può osservare, comunque, che facendo diminuire progressivamente questi attriti (rarefacendo l'aria e lisciando il piano per diverse volte) la biglia percorre sempre più strada prima di fermarsi. L'idea che sta alla base del primo principio è che facendo diminuire gli attriti fino a renderli nulli (in teoria), il corpo non rallenti e quindi non si fermi mai, cioè persista nel suo stato di moto rettilineo uniforme. Riferendosi invece alla tendenza di ogni corpo a mantenere lo stato quiete o di moto si usa parlare di inerzia.

Il primo principio non è banalmente un caso particolare del secondo: il primo definisce l'ambito in cui deve considerarsi valido il secondo, ovvero nei sistemi inerziali, in cui operano esclusivamente forze reali (azione o interazione tra due corpi). I principi, in questa formulazione e senza l'ausilio di trasformazioni, non valgono nei sistemi accelerati (non inerziali) come i sistemi rotanti, perché in questi entrano in gioco forze apparenti (ad esempio la forza centrifuga).

Il **principio di inerzia è il primo principio della dinamica** e stabilisce che un corpo permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme a meno che non intervenga una forza esterna a modificare tale stato. Si parla di principio e non di legge perché si tratta di un assioma, un fondamento del moto dei corpi, ricavato per induzione da moltissime esperienze e osservazioni. Ciò significa che qualunque teoria o legge riguardante il movimento dei corpi non può entrare in contrasto con questo fondamentale principio, per il semplice motivo che sarebbe erronea.



Se una persona sta lavorando al computer essa è in uno stato d'inerzia; se la stessa persona sta lavorando al computer trasportata su un camion che si muove a velocità costante, non avvertirà nessuna differenza del suo stato

Il principio di inerzia fu scoperto da Galileo Galilei dopo lunghi studi ed osservazioni sul moto dei corpi sui piani inclinati e orizzontali (vedasi cenni storici). Con questa straordinaria scoperta Galileo riuscì a svelare, venti secoli dopo, l'errore contenuto nella teoria di Aristotele, secondo il quale un corpo permaneva in movimento finché c'era una forza applicata su di esso. La teoria aristotelica, seppure apparentemente convincente, era errata perché aveva completamente ignorato le contrastanti forze di attrito (superficie terrestre e atmosfera) che rallentano il movimento dei corpi fino a fermarli.

In sostanza Galileo dedusse che per far muovere un corpo a velocità costante non c'è bisogno di forze che lo spingano costantemente. Anzi, il moto rettilineo uniforme si verifica proprio quando

non ci sono forze. In assenza di attriti un corpo in movimento mantiene la sua velocità costante (in direzione, verso e intensità). Il principio scoperto da Galileo si pone, pertanto, come l'esatto contrario della teoria aristotelica.

È opportuno sottolineare che Galileo scoprì il principio di inerzia con un *esperimento ideale*, immaginando il caso limite di un corpo che si muove su un piano orizzontale senza attriti. Un tale esperimento, come aveva ben compreso il grande scienziato pisano, non è riproducibile sulla Terra, ove è impossibile eliminare completamente tutti gli attriti. In realtà l'effetto degli attriti su un corpo in movimento è quello di trasformare l'energia cinetica in energia termica (calore); ciò avviene sempre nell'assoluto rispetto di un altro importantissimo principio: il principio di conservazione dell'energia.

Sistemi di riferimento inerziali

Il principio di inerzia vale nei **sistemi di riferimento** detti, appunto, **inerziali**. In questi sistemi l'accelerazione dei corpi è dovuta a **forze reali**, ossia a forze causate dall'azione o interazione di un corpo fisico su un altro; alcuni esempi sono la forza di gravità, il pallone calciato da un giocatore, una navicella che si muove nello spazio, lontana da stelle e pianeti (i quali applicherebbero alla navicella, in caso contrario, una forza gravitazionale), dopo aver spento i motori, ecc.). Nei sistemi inerziali, quindi, lo studio dei fenomeni fisici è particolarmente semplice.

Nei **sistemi non inerziali (o accelerati)** i corpi non vengono accelerati da forze reali ma da **forze apparenti**, come ad esempio la *forza centrifuga* che noi percepiamo a bordo di una vettura affrontando una curva a velocità sostenuta. In realtà la forza in gioco è sempre quella d'inerzia, per cui il nostro corpo tende a proseguire dritto, nella stessa direzione che aveva la vettura prima di affrontare la curva; nel mezzo della curva, però, si ha la sensazione che ci sia una forza che ci spinge all'esterno.

Non sono inerziali, in generale, i sistemi che ruotano; ad esempio un oggetto posto su una piattaforma rotante di una giostra si sposta verso l'esterno senza che ci sia una forza reale a provocarne il movimento. Tuttavia il Sole e la Terra sono, con buona approssimazione, sistemi inerziali perché la loro velocità angolare di rotazione è talmente piccola da essere, di fatto, trascurabile e ininfluenza rispetto al moto inerziale dei corpi.

Cenni storici

Aristotele (384-322 a.C.) nei suoi scritti di "Fisica" asseriva che lo stato naturale dei corpi è la quiete, ossia l'assenza di moto, e che qualsiasi oggetto in movimento tende a rallentare fino a fermarsi, a meno che non venga spinto a continuare il suo movimento. Dopo quasi 2000 anni Galileo Galilei (1564-1642) scoprì l'errore di Aristotele, esponendo con estrema chiarezza il principio di inerzia, in particolare in due opere, scritte, rispettivamente, nel 1632 e nel 1638: "Il Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo" e "Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica et i movimenti locali". Scrive Galileo nel Dialogo: "*il mobile durasse a muoversi tanto quanto durasse la lunghezza di quella superficie, né erta né china; se tale spazio fusse interminato, il moto in esso sarebbe parimenti senza termine, cioè perpetuo*". Ma questo, scrive ancora Galileo: "*deve intendersi in assenza di tutti gli impedimenti esterni e accidentari*" ... e che gli oggetti in movimento siano: "*immuni da ogni resistenza esterna: il che*

essendo forse impossibile trovare nella materia, non si meravigli taluno, che faccia prove del genere, se rimanga deluso dall'esperienza".

Secondo principio o principio di proporzionalità

Se la velocità con cui si muove un corpo non è costante, allora su di esso agisce una forza risultante o netta. Se vogliamo quantificare l'intensità della forza netta possiamo analizzare alcune facili situazioni con cui abbiamo familiarità



Se applichiamo una forza ad un corpo che ha una certa massa esso comincerà a muoversi e ciò significa che subirà una certa accelerazione. Se aumentiamo la forza netta applicata osserveremo un aumento proporzionale dell'accelerazione. Questo si traduce nel considerare la forza proporzionale all'accelerazione

$$a \propto F$$

Se invece applico la stessa forza ad un oggetto che ha massa diversa si nota che l'accelerazione che il corpo subisce è inferiore e ciò si traduce dicendo che l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa

$$a \propto \frac{1}{m}$$

Mettendo insieme le due relazioni potremo scrivere

$$a \propto \frac{F}{m}$$

Possiamo in definitiva dire che

$$F = ma$$

Tuttavia su un oggetto possono agire più forze che contribuiscono ad accelerare l'oggetto stesso e pertanto è più corretta la formulazione

$$\sum F = ma$$

Questa formulazione non si deve a Newton ma ad Eulero e risale a molti anni successivi alla pubblicazione dei Principia

Infatti, nei Principia si legge:

« Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimatur »

ovvero, un punto materiale (cioè un corpo di dimensioni trascurabili rispetto al sistema di riferimento in esame e contemporaneamente dotato di massa) al quale sia applicata una forza, varia la quantità di moto in misura proporzionale alla forza, e lungo la direzione della stessa. In altre parole: il cambiamento di moto è proporzionale alla forza impressa, ed avviene lungo la linea retta secondo la quale la forza è stata impressa e non si fa nessun riferimento alla accelerazione

$$F = ma$$

rappresenta l'equazione fondamentale della meccanica classica.

La forza è formalmente un concetto definito indipendentemente dal secondo principio, grazie alle formule note che quantificano le interazioni dei tipi fondamentali.

Terzo principio o principio di azione e reazione

« Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse æqualis et in partes contrarias dirigi. »

Ovvero, ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria. Quindi le mutue azioni fra due corpi sono sempre uguali e dirette in senso contrario.

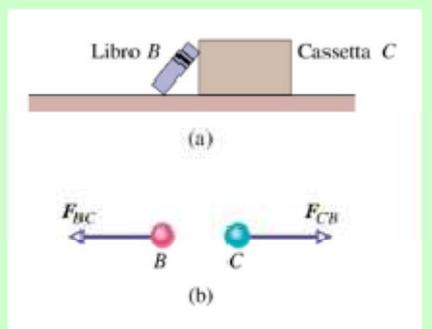
Più precisamente: quando un corpo A esercita una forza su un corpo B, anche B esercita una forza su A; le due forze hanno stesso modulo (intensità), stessa direzione, ma versi opposti.

esempio:

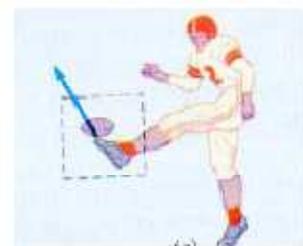
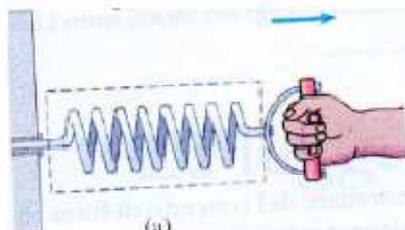
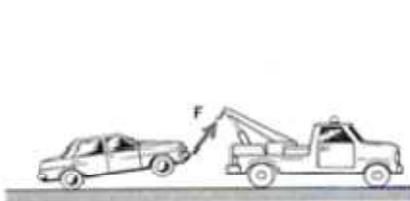
libro B appoggiato
su cassetta C

F_{CB} = forza esercitata
da libro su cassetta

F_{BC} = forza esercitata
da cassetta su libro

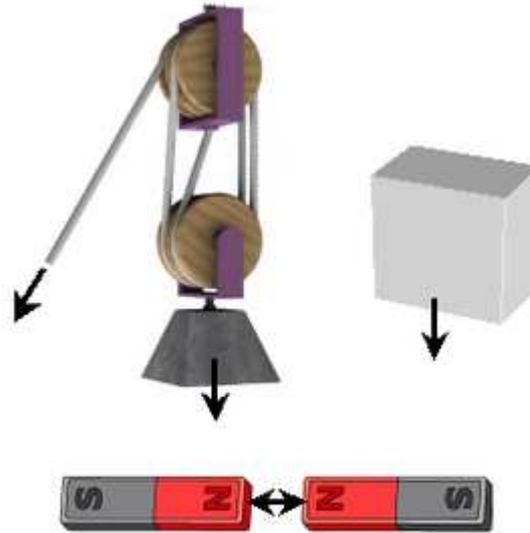


La Forza



Una **forza** è una grandezza fisica vettoriale che si manifesta nell'interazione di due o più corpi, sia a livello macroscopico, sia a livello delle particelle elementari, che cambia lo stato di quiete o di

moto dei corpi stessi. La forza è descritta classicamente dalla seconda legge di Newton come derivata temporale della quantità di moto di un corpo.



Una forza è spesso descritta come una spinta o una trazione. Le forze possono essere dovute a fenomeni quali la gravità, il magnetismo, o qualunque altro fenomeno che induca un corpo ad accelerare.

L'unità di misura¹ della forza nel SI è il Newton, definito come:

$$[N] = [kg][m][s]^{-2}$$

Tenendo conto del 2° principio della dinamica, possiamo quindi affermare che una forza di 1 N imprime ad un corpo con la massa di 1 kg l'accelerazione di 1 m/s².

Le forze sono quindi le cause del moto dei corpi, possono pertanto mettere in moto un corpo che si trovava precedentemente in stato di quiete, modificare il movimento di un corpo già precedentemente in moto, o riportare il corpo in stato di quiete.

A livello pratico le forze applicate ad un dato corpo possono avere due diversi tipi di effetti:

- effetti **statici**: il corpo, anche se sottoposto a forze, rimane in quiete: questo succede quando le forze presenti si bilanciano esattamente. Il settore della meccanica che si occupa dello studio di questi effetti è la statica: essa analizza gli effetti delle forze sui corpi in quiete e ricerca le condizioni di equilibrio di corpi sottoposti ad un insieme di forze diverse.

Unità di misura nella seconda legge di Newton

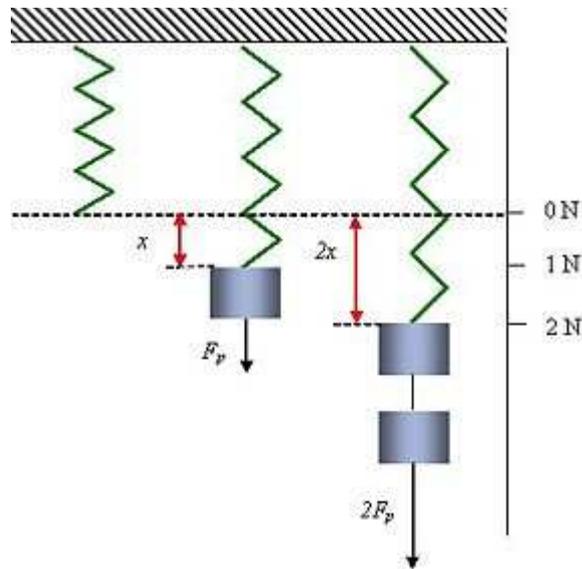
Sistema	Forza	Massa	Accelerazione
SI	newton (N)	kilogrammo (kg)	m/s ²
CGS ^a	dyne	grammo (g)	cm/s ²
Inglese ^b	libbra (lb)	slug	ft/s ²

^a 1 dyne = 1 g · cm/s².

^b 1 lb = 1 slug · ft/s².

Il più delle volte nel bilancio delle forze bisogna considerare reazioni vincolari e deformazioni dei materiali.

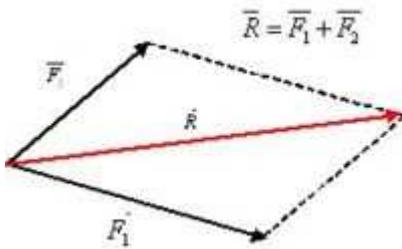
- effetti **dinamici**: esse inducono variazioni nella quantità di moto del corpo; la dinamica analizza appunto gli effetti delle forze sul movimento e cerca di prevedere il moto di un dato sistema di corpi se sono note le forze ad esso applicate, incluse le reazioni vincolari precedentemente citate..



Secondo la [legge di Hooke](#) in una [molla](#) lo spostamento dalla posizione di riposo è proporzionale alla forza applicata

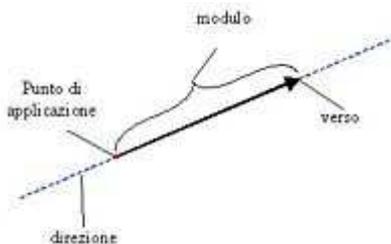
Definizione operativa di forza (punto di vista statico)

Da un punto di vista operativo, è possibile affermare che se un corpo è deformato rispetto al suo stato di riposo, allora è sottoposto all'azione di una forza. Una definizione statica di forza è possibile misurando la deformazione di un corpo che segua la legge di Hooke, cioè tali che la deformazione sia direttamente proporzionale alla forza applicata. Ciò vuol dire che se si sospende ad una molla ideale un peso campione si ottiene un certo allungamento x , mentre se alla stessa molla si sospendono due pesi campione, uguali al precedente, l'allungamento risulta uguale a $2x$. Utilizzando questa proprietà lineare delle molle è possibile costruire degli strumenti di misura delle forze, detti dinamometri. Ogni volta che un dinamometro si allunga, significa che ad esso è applicata una forza. Utilizzando un dinamometro si ottiene una misura indiretta della forza, in quanto la grandezza che viene misurata non è direttamente la forza, ma la deformazione della molla contenuta nel dinamometro; osserviamo tuttavia che la stessa situazione sperimentale ricorre nella misura della temperatura (ciò che si misura in realtà è la dilatazione del mercurio) o della pressione (viene misurata l'altezza di una colonna di liquido).

Carattere vettoriale della forza

La forza risultante è pari alla somma vettoriale delle altre due forze.

La forza è una grandezza vettoriale, ovvero è descritta da un punto di vista matematico da un vettore (vedi immagine a fianco). Ciò significa che la misura di una forza, ovvero la sua intensità misurata in newton, rappresenta solo il **modulo** della forza, che per essere definita necessita anche della specificazione di un **punto di applicazione** (il punto del corpo dove la forza agisce), di una **direzione** (la retta su cui giace il vettore) e di un **verso** (indicato dall'orientamento della freccia).



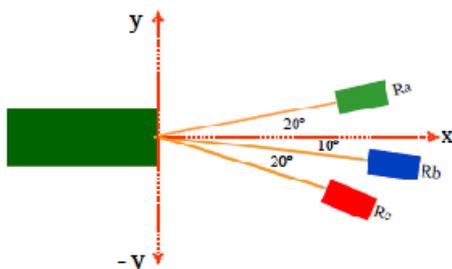
Elementi di un vettore generico.

Il carattere vettoriale della forza si manifesta anche nel modo in cui è possibile sommare le forze. Come è possibile verificare sperimentalmente, due forze F_1 e F_2 con lo stesso punto di applicazione, ma direzioni diverse si sommano con la regola del parallelogramma (vedi figura a fianco). Ciò significa che se ad un corpo vengono contemporaneamente applicate le forze F_1 e F_2 , esso si muoverà lungo la direzione della diagonale del parallelogramma, come se ad esso fosse applicata solo la forza R , detta, appunto somma o **risultante**.

Analizziamo attraverso degli esempi il carattere vettoriale della forza

Esempio n°1

Una barca viene trascinata da tre rimorchiatori come schematizzato in figura e ognuno di essi esercita una forza di 3000N.



a) Qual è la forza risultante?

b) Qual è l'accelerazione della barca?

a) Le forze dei tre rimorchiatori si possono scrivere come:

$$\begin{aligned} R_a &= R_a \cos 20 \hat{i} + R_a \sin 20 \hat{j} \\ R_b &= R_b \cos(-10) \hat{i} + R_b \sin(-10) \hat{j} \\ R_c &= R_c \cos(-30) \hat{i} + R_c \sin(-30) \hat{j} \end{aligned}$$

Da cui essendo $R_a=R_b=R_c=3000\text{N}$, posso scrivere:

$$\Sigma F = R_a + R_b + R_c = 8371,58\hat{i} - 994,88\hat{j}$$

b) dalla seconda legge si ottiene:

$$a_x = \frac{8371,58}{10000} = 0,84 \frac{m}{s^2}$$

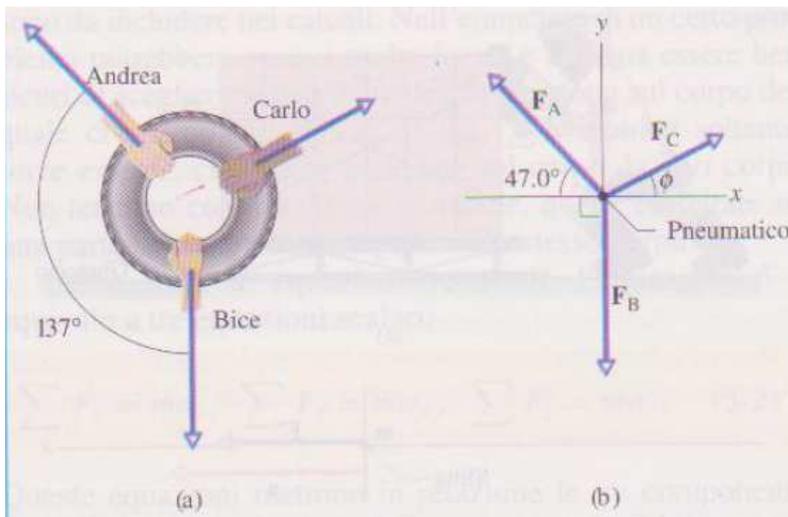
$$a_y = \frac{994,88}{10000} = 0,10 \frac{m}{s^2}$$

Da cui

$$a = \sqrt{(0,84)^2 + (0,10)^2} = 0,85 \frac{m}{s^2}$$

Esempio n°2

In un tiro alla fune, Andrea, Bice e Carlo tirano un pneumatico di automobile in direzioni diverse, che formano tra loro gli angoli indicati in vista dall'alto. Andrea tira con una forza $F_A = 220\text{N}$ e Carlo con una forza $F_C = 170\text{N}$. Con quale forza F_B deve tirare Bice affinché il pneumatico resti fermo?



ACCORGIMENTI PER RISOLVERE I PROBLEMI**A5-1. Leggere attentamente l'enunciato del problema**

Leggete il testo del problema varie volte, finché non avrete ottenuto una buona rappresentazione mentale della situazione, di quali siano i dati forniti, di che cosa venga richiesto. Nel problema svolto 5-1, per esempio, dovrete dirvi: "Qualcuno sta spingendo una slitta. La velocità della slitta varia, quindi deve essere presente un'accelerazione. Il moto è rettilineo. Una forza è data in un certo problema, ed è richiesta come incognita nell'altro, per cui il problema si presta all'applicazione della seconda legge di Newton per un moto unidimensionale."

Se vi siete fatti un'idea dell'argomento di cui tratta un problema, ma non vi viene in mente la mossa da fare, mettete da parte il problema e rileggete il testo. Se vi è poco chiara la seconda legge di Newton, rileggete il paragrafo che ne tratta. Studiatevi i problemi svolti. La parte sul moto unidimensionale del problema svolto 5-1 dovrebbe indurvi a riguardare il capitolo 2, specialmente la tabella 2-1, che elenca tutte le equazioni di cui potreste aver bisogno.

A5-2. Disegnate uno schema della situazione

Può risultare conveniente fare due figure. Una è uno schizzo appena tratteggiato della situazione reale nel mondo reale. Quando tracerete le frecce che rappresentano le forze, collocate la coda di ogni vettore forza o sul bordo o all'interno del corpo a cui quella forza è applicata. L'altra figura è un diagramma delle forze nel quale sono tracciate le forze che agiscono su un singolo corpo, rappresentato da un punto sul quale farete convergere le code di tutti i vettori forza.

A5-3. Qual è il vostro oggetto?

Se state applicando la seconda legge di Newton dovete accertare quale sia l'oggetto (corpo o sistema) al quale state applicandola. Nel problema svolto 5-1 è la slitta (e non lo studente o il ghiaccio). Nel problema svolto 5-2 è il pneumatico (non le funi o le persone).

A5-4. Scegliete oculatamente i vostri assi

Nel problema svolto 5-2 abbiamo risparmiato parecchio lavoro decidendo che uno degli assi coordinati (l'asse y) coincidesse con una delle forze (\mathbf{F}_B). Provate a rielaborare questo problema con un sistema di coordinate in cui nessun asse coincida con alcuna forza.

5-6 ALCUNE FORZE PARTICOLARI**Peso**

Il **peso** \mathbf{P} di un corpo è la forza che lo attrae direttamente verso un corpo astronomico vicino; nelle circostanze di tutti i giorni quel corpo astronomico è la Terra. La forza è dovuta in primo luogo a un'attrazione – un'attrazione gravitazionale – tra le masse dei due corpi. Una descrizione più specifica di questa forza è rimandata al capitolo 14. Per ora consideriamo solo situazioni in cui un corpo con massa m è situato in un punto in cui il modulo dell'accelerazione di gravità è g . In questa situazione l'intensità del vettore (forza) peso è

$$P = mg. \quad (5-8)$$

Lo stesso vettore si può anche scrivere

$$\mathbf{P} = -mg\mathbf{j} = -P\mathbf{j}, \quad (5-9)$$

(dove il versore $+\mathbf{j}$ è diretto verso l'alto, in direzione opposta alla Terra), o anche

$$\mathbf{P} = m\mathbf{g}, \quad (5-10)$$

dove \mathbf{g} rappresenta il vettore accelerazione di gravità. In molti casi dipende da noi la scelta della notazione più opportuna, ma è necessario avere ben chiaro che cosa si intende rappresentare e non lasciarsi confondere a utilizzare, diciamo, l'equazione 5-8 quando in realtà intendevamo la 5-10.

Poiché il peso è una forza, la sua unità SI è il newton. Non è una massa, e il suo modulo in qualunque luogo dato dipende dal valore di g in quel luogo. Una palla da bowling potrebbe pesare 71 N sulla Terra, ma solo 12 N sulla Luna, a causa della differente accelerazione di gravità. La massa della palla, 7.2 kg, è la stessa in entrambi i luoghi, perché è una proprietà intrinseca della palla. (Se volete perdere peso arrampicatevi in cima a una montagna. Non solo perché l'esercizio ridurrà la vostra massa corporea, ma perché l'aumento di quota aumenta la distanza dal centro della Terra, e quindi g ha un valore più basso; ecco che il vostro peso diminuisce.)

Di solito è sottinteso che il peso si misura in un sistema di riferimento inerziale. Se è invece misurato in un sistema non inerziale (come nel problema svolto 5-11b) la misurazione ci fornisce un **peso apparente**, invece del peso reale.

Possiamo pesare un corpo collocandolo su uno dei piatti di una bilancia a confronto munita di bracci uguali (fig. 5-6), per poi aggiungere sull'altro piatto corpi di confronto (di cui si conoscano le masse) finché troviamo il punto di equilibrio. Le masse sui due piatti, quindi, si equivalgono, e (ammettendo implicitamente che g abbia lo stesso valore su entrambi i piatti) anche i pesi sui due piatti saranno uguali. A questo punto conosciamo la massa m del corpo. Se ci è noto il valore di g nel luogo in cui si trova la bilancia, possiamo calcolare il peso del corpo con l'equazione 5-8.

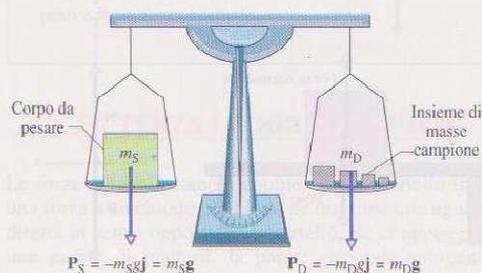
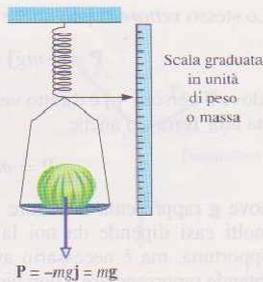


FIGURA 5-6 Bilancia a bracci uguali. Quando l'apparecchio è in equilibrio, la massa m_S del corpo posto sul piatto del braccio sinistro è uguale alla somma delle masse m_D dei corpi di confronto collocati sul piatto del braccio destro.

FIGURA 5-7 Bilancia a molla. La lettura è proporzionale al peso dell'oggetto collocato sul piatto, e può indicare direttamente il peso se la scala è graduata in unità di peso. Se invece indica unità di massa, i valori misurati possono essere sufficientemente precisi solo se l'accelerazione di gravità g è la stessa del luogo in cui la scala è stata tarata.



Possiamo anche pesare un corpo con una bilancia a molla, schematicamente rappresentata nella figura 5-7. Il peso del corpo allunga una molla, spostando un indice lungo una scala, opportunamente tarata, graduata in unità di massa oppure in unità di peso. (La maggior parte delle bilance domestiche pesapersona funzionano in questo modo, dando una lettura in kilogrammi). Questo tipo di bilancia, che in realtà non misura la massa, ma la forza-peso, andrebbe chiamata più propriamente *dinamometro*. Normalmente è graduata in unità di massa ed è precisa solo se il valore di g è uguale a quello del luogo e del momento in cui la bilancia fu tarata.

Forza normale

Quando un corpo è compresso contro una superficie subisce una forza perpendicolare alla superficie. Questa forza è detta **forza normale** N , e questo nome si riferisce all'accezione matematica della parola *normale* che significa «perpendicolare».

Se un corpo è in stato di riposo su una superficie orizzontale come nella figura 5-8a, N è diretta verso l'alto e il peso del corpo $P = mg$ è diretto verso il basso. Per questa particolare disposizione possiamo calcolare l'intensità di N dall'equazione 5-2:

$$\sum F_y = N - mg = ma_y, \quad (5-11)$$

e quindi, ponendo $a_y = 0$,

$$N = mg. \quad (5-12)$$

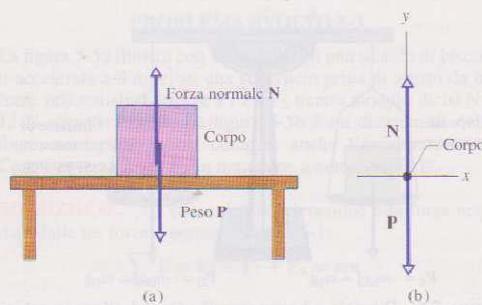


FIGURA 5-8 (a) Il corpo appoggiato, in stato di quiete, su un tavolo, è soggetto a una forza normale N perpendicolare al piano del tavolo. (b) Il corrispondente diagramma delle forze.

ACCORGIMENTI PER RISOLVERE I PROBLEMI

A5-5. Forza normale

L'equazione 5-12 per la forza normale vale solo nei casi in cui N sia diretta verso l'alto e l'accelerazione verticale sia nulla. Quindi *non* dovreste mai utilizzare questa equazione per vettori che hanno un orientamento diverso da N , o nei casi in cui l'accelerazione verticale sia diversa da zero. Piuttosto è bene imparare la procedura per calcolare N : useremo la seconda legge di Newton nella notazione che fa uso delle componenti.

Sul piano del disegno siamo liberi di spostare N da qualsiasi parte, purché manteniamo il suo orientamento. Per esempio nella figura 5-8a possiamo far scivolare il vettore più in basso, di modo che la sua punta sia nella zona di contatto fra il corpo e il tavolo. Tuttavia è più difficile sbagliarsi a interpretare la freccia del vettore N se la sua coda è sul contorno o all'interno del corpo, come si vede nella figura. Un accorgimento ancora migliore è quello di tracciare un diagramma delle forze come nella figura 5-8b, con la coda di N direttamente sul punto che rappresenta il corpo.

VERIFICA 4: Con riferimento alla figura 5-8, se il tavolo e il corpo si trovano su un ascensore che si muove verso l'alto (a) a velocità costante e (b) a velocità crescente, l'intensità della forza normale N sarà maggiore, minore o uguale al valore assoluto del peso mg ?

Attrito

Se facciamo scivolare, o tentiamo di far scivolare, un corpo su una superficie, contro il moto fa resistenza un vincolo che si stabilisce fra il corpo e la superficie. (Esamineremo meglio questo fenomeno nel prossimo capitolo.) La resistenza è considerata come una singola forza f , detta **forza di attrito**, o più semplicemente **attrito**. La forza agisce parallelamente alla superficie, in direzione opposta alla direzione del moto desiderato (fig. 5-9). A volte, per semplificare una certa situazione ideale, si ammette che l'attrito sia trascurabile, e quindi si dice che la superficie è *priva di attrito*.

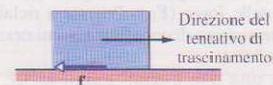


FIGURA 5-9 Una forza di attrito F si oppone al tentativo di far scivolare un corpo su una superficie.

Tensione

Quando un filo (o una fune, un cavo, una corda o qualsiasi altro oggetto di questo tipo) è fissato a un corpo e tirato, si dice che è sotto **tensione**. Esso esercita sul corpo una forza di trazione T , applicata al punto di fissaggio del filo e orientata lungo il filo nel verso di allontanamento dal corpo, come indicato nella figura 5-10a.

Spesso si considera il filo come un oggetto *senza massa* (si considera trascurabile la sua massa in confronto alla massa del corpo) e non soggetto ad allungamento. Esso è concepito solo come un collegamento fra due corpi. Eser-