

Dinamica



Old Story. New Twist.



1. 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.

2. Il primo principio

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).

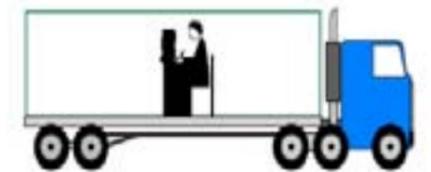
Il principio di inerzia non è di banale osservazione: consideriamo per esempio una biglia (assimilabile nella nostra trattazione ad un punto materiale) che rotola su una superficie piana orizzontale molto estesa. La nostra esperienza ci dice che con il passare del tempo la biglia rallenta fino a fermarsi; 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 ininfluyente 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".

3. Secondo principio (o principio di proporzionalità)

Se la velocità con cui si muove un corpo non è costante, allo-

ra 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

$$\Sigma F=ma$$

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 imprimitur* »

ovvero, un punto materiale (cioè un corpo di dimensioni tra-

scurabili 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.

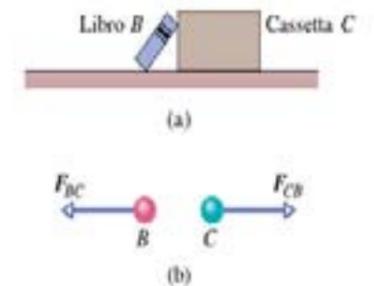
4. Terzo principio (o principio di azione e reazione)

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

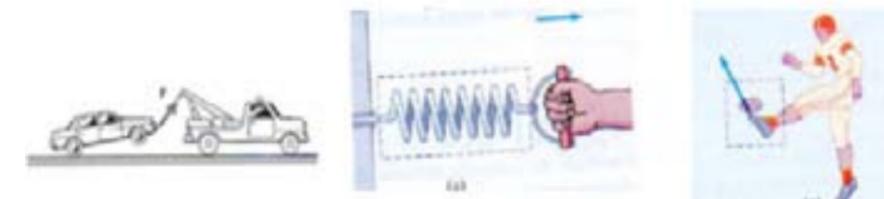
Ovvero, ad ogni azione corrisponde sempre una reazione uguale e contraria. Quindi le mutue azioni fra due corpi sono sempre uguali e dirette in senso contrario.

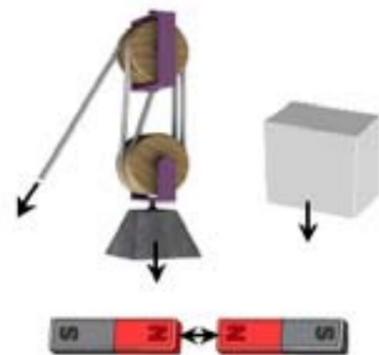
Più precisamente: quando un corpo A esercita una forza su un corpo B, anche B esercita una forza su A; le due forze hanno stesso modulo (intensità), stessa direzione, ma versi opposti.

Esempio: libro B appoggiato su cassetta C. Il libro esercita una forza F_{BC} sulla cassetta C. La cassetta C esercita una forza F_{CB} sul libro B



5. Le forze





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 misura della forza nel SI è il Newton, definito come:

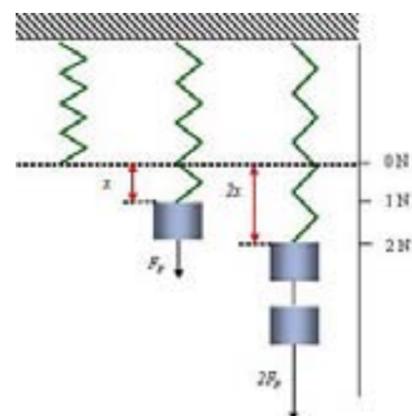
Tenendo conto del 2° principio della dinamica, possiamo quindi affermare che una forza di 1 N imprime ad un corpo con la massa di 1 kg l'accelerazione di 1 m/s².

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. 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..



Unità di misura nella seconda legge di Newton			
Sistema	Forza	Massa	Accelerazione
SI	Newton N	Kilogrammo kg	m/s ²
CGS ¹	Dyne	Grammo g	cm/s ²
Inglese ²	Libbra lb	Slug	ft/s ²
¹ 1 dyne = 1g · 111 / s ²		² 1 lb = 1slug · 111 / s ²	

Definizione operativa di forza

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).

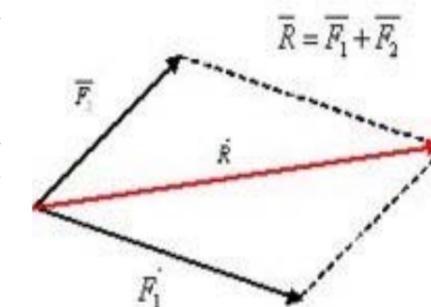
La forza è una grandezza vettoriale, ovvero è descritta da un punto di vista matematico da un vettore (vedi immagine a fianco). Ciò significa che la misura di una forza, ovvero la sua intensità misurata in newton, rappresenta solo il modulo della forza, che per essere definita necessita anche della specificazione 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).

Il carattere vettoriale della forza si manifesta anche nel modo in cui è possibile sommare le forze. Come è possibile verificare sperimentalmente, due forze F₁ e F₂ 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 F₁ e F₂, 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.

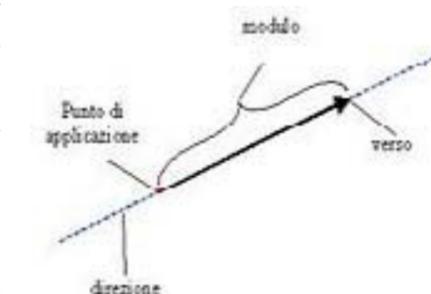
Analizziamo attraverso degli esempi il carattere vettoriale della forza

Esempio

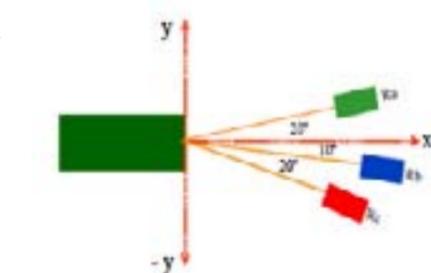
Una barca viene trascinata da tre rimorchiatori come schematizzato in figura e ognuno di essi esercita una forza di 3000N.



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



Elementi di un vettore generico.



- a) Qual è la forza risultante?
- b) Qual è l'accelerazione della barca?

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

$$R_a = R_a \cos 20\hat{i} + R_a \sin 20\hat{j}$$

$$R_b = R_b \cos(-10)\hat{i} + R_b \sin(-10)\hat{j}$$

$$R_c = R_c \cos(-30)\hat{i} + R_b \sin(-30)\hat{j}$$

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

$$\Sigma F = R_a + R_b + R_c = 8371,58\text{Ni} - 994,88\text{Nj}$$

b) dalla seconda legge si ottiene:

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

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

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

6. Alcune forze particolari

La forza peso

Colloquialmente è frequente usare indistintamente le parole "peso" e "massa", ma questi termini non sono equivalenti dal punto di vista fisico. In fisica si distinguono forza peso e massa in quanto grandezze sostanzialmente diverse: mentre la massa di un corpo è una sua proprietà intrinseca, indipendente dalla sua posizione nello spazio e da ogni altra grandezza fisica, il peso è l'effetto prodotto su tale massa dalla presenza di un campo gravitazionale. Ne risulta che la massa di un corpo è costante, mentre il suo peso varia a seconda del luogo in cui viene misurato. Sulla Luna, un uomo pesa meno che sulla Terra: sui due corpi celesti, una bilancia a torsione o a molla restituirà quindi valori diversi, in quanto si basa sulla misurazione della forza peso; una bilancia a contrappeso, invece, restituirà lo stesso valore, in quanto si basa sul confronto di masse.

La forza peso

Il peso P di un corpo è la forza che lo attrae direttamente verso un corpo astronomico vicino, nel nostro caso la Terra. La forza è dovuta all'attrazione gravitazionale tra le masse dei due corpi. La forza peso è stata definita da Isaac Newton nel libro "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" del 1687, definendo la legge di gravitazione universale. Come ogni altra forza, nel Sistema Internazionale la forza peso si misura in Newton (N). Se un oggetto ha massa m ed è situato in un punto in cui il modulo dell'accelerazione di gravità è $g = 9,8\text{m/s}^2$, l'intensità del vettore forza peso è:

$$P = mg$$

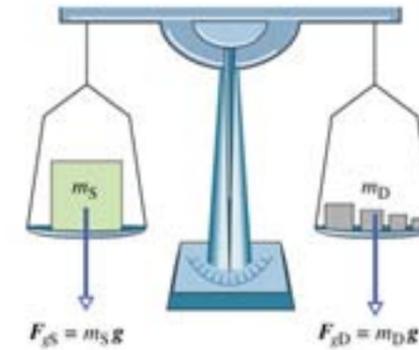
Lo stesso vettore si può scrivere:

$$P = -mg\hat{j}$$

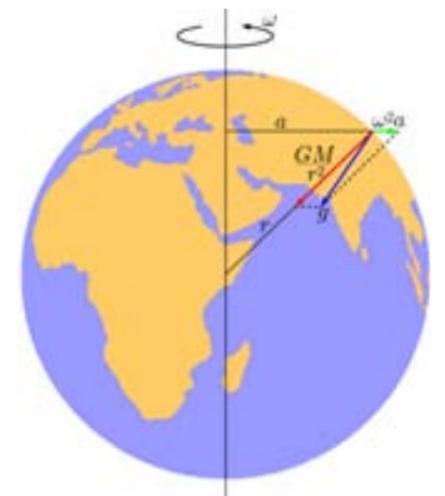
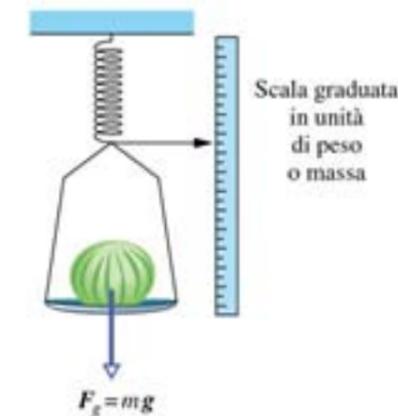
o anche:

$$P = mg$$

dove g rappresenta il vettore accelerazione di gravità. Possiamo pesare un oggetto collocandolo su uno dei piatti di una bilancia a confronto, munita di bracci uguali, per poi aggiungere sull'altro piatto oggetti di confronto, di cui sono noti le masse finché troviamo il punto di equilibrio. Le masse sui due piatti quindi si equivalgono e anche i pesi sui due piatti saranno uguali. Conoscendo la massa m dell'oggetto, essendo noto il valore di g , possiamo ricavare il peso del corpo.



Un'altra bilancia è detta a molla. In questo caso, il peso allunga la molla, spostando un indice lungo una scala graduata in unità di massa o in unità di peso. Questo tipo di bilancia andrebbe più propriamente chiamata dinamometro (dal greco dynamis "forza" e metron "misura"); il suo nome deriva ad esempio dal dyne (o dina), unità di misura della forza nel sistema CGS.



Approssimazione della forza

Il modulo di g è ricavabile in prima approssimazione dalla formula seguente:

$$g = \frac{F}{m} = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

Per il pianeta Terra il valore dell'accelerazione di gravità è stato convenzionalmente fissato a $9,80665\text{ m/s}^2$ nell'ambito della terza Conferenza Generale dei Pesi e delle Misure del 1901. Questa considerazione si rivela tuttavia approssimativa per tre aspetti principali: La relazione è valida per corpi puntiformi o a simmetria sferica (per il teorema di Gauss); ma la Terra non è una sfera bensì un geoide, per cui la distanza tra un punto sulla super-

Applicando la legge di gravitazione universale di Newton ad un corpo di massa m pari a 1 kg situato sulla superficie della Terra, si ottiene un peso di circa $9,8\text{ N}$:

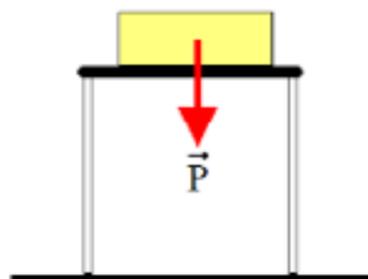
$$F = \frac{GM_T m}{R_T^2} = \frac{6,674 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2} \cdot 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg} \cdot 1 \text{ kg}}{(6,373 \cdot 10^6 \text{ m})^2} \approx 9,82 \text{ N}$$

dove R_T ed M_T indicano rispettivamente il raggio e la massa terrestri. Lo stesso corpo, sulla superficie della Luna, ha un peso di circa $1,6\text{ N}$. Ricordiamo che questa approssimazione è ottenuta considerando la Terra perfettamente sferica, trascurando gli influssi gravitazionali degli altri corpi celesti e le forze apparenti dovute, per esempio, al moto di rotazione della Terra intorno al proprio asse.

ficie terrestre e il centro della Terra è differente a seconda che ci troviamo all'equatore (dove è maggiore) o ai poli (dove è minore). (All'equatore il raggio terrestre R_T vale 6.378,137 km, mentre ai poli vale 6.356,752 km. Sperimentalmente si stima l'accelerazione misurata da un minimo di circa 9,78 m/s² all'equatore ad un massimo di circa 9,83 m/s² ai poli).

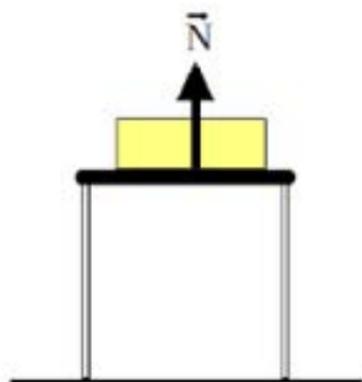
Nella stessa relazione si trascura l'effetto del moto dei pianeti nello spazio che imprime ai corpi forze apparenti (ad esempio la forza centrifuga). Il vettore g è in realtà la somma del termine GM_T/R_T^2 e di un termine dovuto alla forza centrifuga, pari a $\omega^2 a$, in cui ω è la velocità angolare della Terra e a è la distanza del punto considerato dall'asse di rotazione terrestre.

La Terra non è un corpo omogeneo, ma presenta al suo interno zone a densità differente e questo si traduce in anomalie nel campo gravitazionale terrestre



Forze secondarie

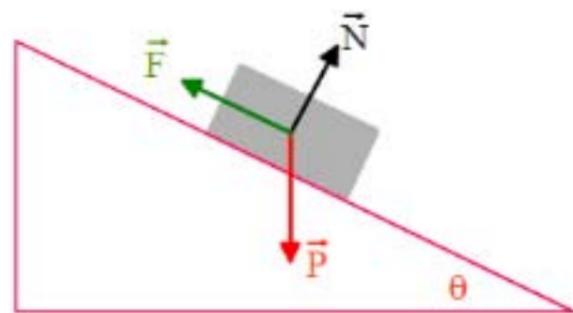
Sono quelle forze che possono essere spiegate a partire dalle forze fondamentali. Le forze di contatto, ad esempio, sono causate da forze di natura elettromagnetica tra atomi e molecole che operano a livello delle particelle costituenti: elettroni e nucleo. Dal punto di vista macroscopico, cioè nell'ambito dell'osservazione dei nostri sensi, sono forze secondarie le forze di contatto come la Normale, l'Attrito, la Tensione.



La forza Normale

Si consideri un corpo di massa m , sottoposto alla forza di attrazione della Terra, posto su una superficie come in figura:

Il corpo è soggetto alla forza peso, tuttavia esso è in equilibrio. La forza che garantisce tale equilibrio prende il nome di Normale o Reazione Vincolare del piano. È una forza che ha direzione perpendicolare alla superficie di appoggio.

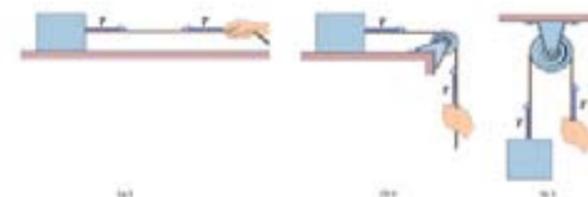


La tensione

Quando un filo o una fune, un cavo, una corda sono fissati a un corpo e tirati, il corpo si dice che è sotto tensione. In effetti, il filo esercita una trazione la quale viene trasmessa punto per punto su tutta l'estensione del filo stesso.

Spesso il filo viene considerato ideale, ovvero privo di massa ed inestensibile; esso è concepito come collegamento tra due corpi.

Vedremo molte applicazioni a casi reali di questa forza detta appunto forza di tensione o semplicemente tensione, come ad esempio le carrucole fisse e mobili.

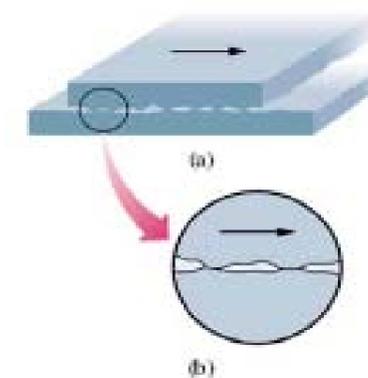


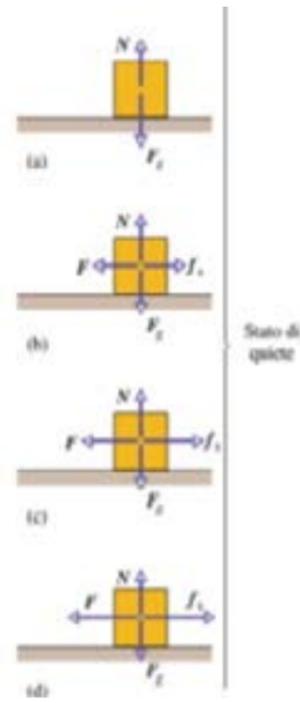
La forza di attrito

Se facciamo scivolare un corpo su una superficie, a meno che la superficie non sia liscia (caso puramente ideale), tra il corpo e la superficie si stabilisce una certa resistenza più o meno intensa. Tale resistenza prende il nome di attrito o forza di attrito. Tale forza agisce parallelamente alla superficie, in direzione opposta alla direzione del moto.

La forza di attrito (o semplicemente attrito) è una forza di contatto dovuta alle irregolarità ed asperità presenti sulle superfici degli oggetti che ne ostacolano il moto. In natura, anche i materiali apparentemente più lisci, se si osservano al microscopio, presentano creste e avvallamenti che, a contatto con quelle presenti sulle superfici di scorrimento, impediscono o rendono difficile il movimento relativo tra di loro.

L'attrito è dovuto a tre motivi fondamentali: la menzionata irregolarità delle superfici di contatto, la interazione tra i punti di contatto dovuta alla forza con cui le molecole dei due corpi si attraggono o si respingono (fenomeno particolarmente importante quando si ha a che fare con metalli); infine il cosiddetto effetto "aratro" cioè l'azione che materiali più resistenti





esercitano su materiali meno resistenti.

Nelle applicazioni numeriche questi effetti sono racchiusi nella costante di attrito che è caratteristica per ciascun materiale e il cui valore, laddove non esplicitamente indicato, lo troviamo tabellato.

Nel riquadro sotto riportato schematizziamo le varie situazioni.

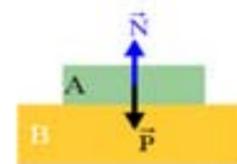
- a) corpo in quiete non applico nessuna forza.
- b) Applico una forza $F < f_s$; il corpo rimane fermo
- c) aumento F ma sempre $F < f_s$; il corpo rimane fermo
- d) $F = f_s$; il corpo rimane fermo
- e) se $F > f_k$; il corpo acquista accelerazione a
- f) per mantenere v costante riduco F : $F < F_{max}$

Dal punto di vista macroscopico chi contribuì maggiormente al riconoscimento di questa forza fu Leonardo Da Vinci, il quale osservò che l'attrito tra le superfici di contatto di corpi a riposo o in movimento relativo era indipendente dall'area di contatto tra di loro e proporzionale alla forza Normale alla superficie stessa.

Questo fatto sensazionale lo scoprì rilevando che il valore della forza di attrito tra una superficie e un oggetto pesante con facce diverse era lo stesso indipendentemente da quale faccia fosse messa a contatto con la superficie. Egli osservò inoltre che la forza necessaria per mettere in movimento un corpo inizialmente a riposo rispetto a un altro corpo (forza di attrito statico) è maggiore della forza di attrito presente tra due corpi a contatto se questi sono già in movimento l'uno rispetto all'altro (forza di attrito dinamico a cinematico)

Forza di attrito statico

Cominciamo ad analizzare da un punto di vista quantitativo la forza di attrito esistente tra due blocchi le cui superfici si trovano a riposo. Consideriamo un blocco A il cui peso è P disposto sopra un altro blocco B come indicato in figura. Le superfici sono rugose (presentano asperità), e supponiamo le forze applicate al centro di gravità di A.



Entrambi i blocchi sono soggetti all'azione della forza peso che agisce verticalmente e, non esistendo forze lungo la direzione orizzontale, non ci si aspetta che A scivoli su B.

Se i due blocchi sono in equilibrio statico, le forze applicate sul blocco A soddisfano la condizione

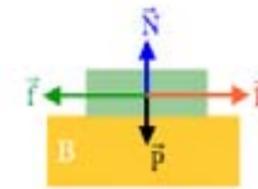
$$\sum F = 0$$

e pertanto

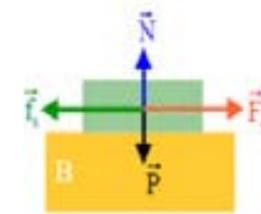
$$N = P$$

e non esiste nessuna forza di attrito.

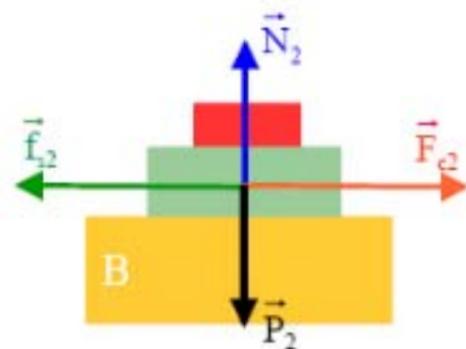
Se applichiamo al blocco A una forza F diretta verso destra senza tuttavia muoverlo, continua a sussistere una condizione di equilibrio statico e ciò significa che esiste una forza diretta verso sinistra che equilibra la forza F : si tratta della forza di attrito



Se aumentiamo l'intensità della forza F allora necessariamente deve aumentare la forza di attrito. Tuttavia tale situazione non può mantenersi indefinitamente, perché ci sarà un valore critico di F che permetterà al blocco di mettersi in movimento. Quando si esercita su A la forza F_c , allora la forza di attrito assume il massimo valore possibile per il quale il blocco si trova in equilibrio statico; tale forza prende il nome di forza di attrito statico f_s



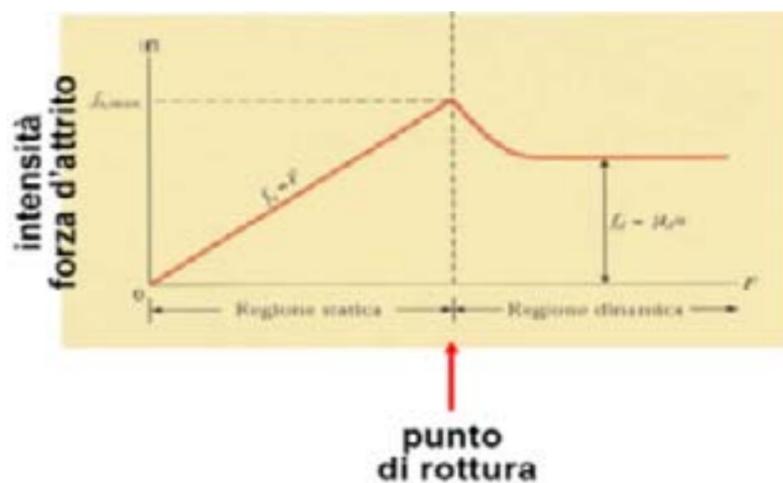
Dunque, quando un blocco è in condizioni di equilibrio su un altro blocco, la forza di attrito tra i due ha un valore che va da zero fino a f_s e assume quest'ultimo valore quando i blocchi cominciano a muoversi uno sull'altro. Come già descrisse Leonardo, se ripetiamo l'esperimento mettendo a contatto una qualunque delle facce dei due blocchi, benché di area differente, si ottiene lo stesso risultato: f_s non dipende dalla superficie di contatto. Poniamo ora un altro blocco sopra A



Il peso del nuovo blocco provoca che il peso totale sopra B aumenti fino al valore P_2 e ciò significa un aumento della forza Normale che assume il valore N_2 . Naturalmente questo comporta provoca che la forza necessaria per muovere il blocco sia F_{C2} e di conseguenza la forza di attrito statico aumenti fino al valore f_{s2} . Se si ripete l'esperimento molte volte aumentando o diminuendo il peso del blocco A ogni volta si riscontra lo stesso valore del rapporto tra f_s e cioè

$$\mu_s = f_s / N$$

Dove μ_s è il coefficiente di attrito statico. Si ripetiamo l'esperimento sostituendo al blocco A un altro blocco che abbia una superficie più rugosa, cambia il valore di μ_s . Ciò significa che il coefficiente di attrito dipende dalla rugosità di entrambe le superfici ovvero dal materiale



Forza di attrito cinetico

A differenza di quanto accade quando un corpo sta a riposo, il moto relativo tra due corpi le cui superfici stanno a contatto tra loro produce una forza che si oppone al moto denominata forza di attrito cinetico o cinematico che è costante e indipendente dalla velocità dei due corpi. Il modulo della forza

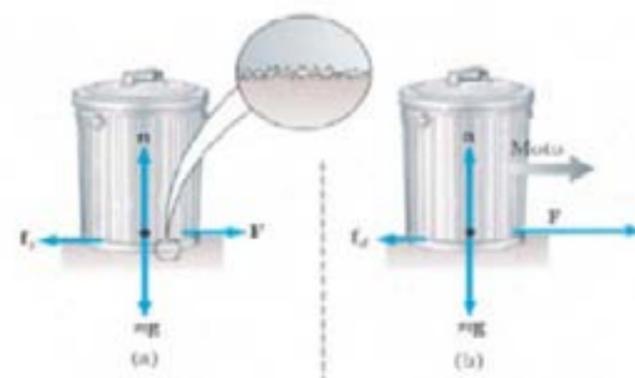
di attrito f_k è uguale al modulo della forza esterna necessaria per mantenere in moto il corpo a velocità costante. Di conseguenza, se la forza agente sul corpo è maggiore o minore di f_k il corpo subirà l'azione della forza f_k . La forza di attrito cinetico è proporzionale alla Normale alla superficie come la forza di attrito statico.

$$f_k \propto N$$

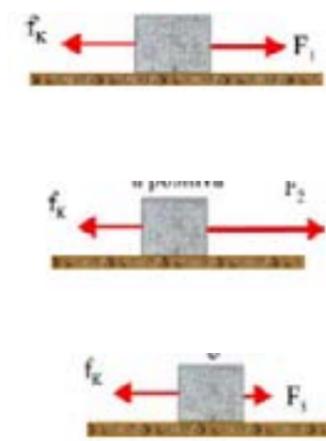
Se indichiamo la con μ_k la costante di proporzionalità, vale la relazione

$$f_k = \mu_k N$$

La costante di proporzionalità μ_k è denominata coefficiente di attrito cinetico. L'esperienza comune ci insegna che il coefficiente di attrito statico è maggiore del coefficiente di attrito dinamico, perché una volta che il corpo è già in movimento, necessitiamo di minor sforzo per continuare a mantenerlo in movimento.



μ_s, μ_d dipendono dai materiali a contatto $0,05 < \mu < 1,5$
 $\mu_d < \mu_s$
 μ_s, μ_d non dipendono dall'area di contatto
 f_s ed f_d sono forze parallele alla superficie ed opposte al moto



$$f_s \leq \mu_s N$$

$$f_d = \mu_d N$$

coefficienti di attrito

Materiale	Statico	Dinamico e Rotolo
acciaio su acciaio	0,74	0,57
acciaio su acciaio lubrificato	0,11	0,05
alluminio su acciaio	0,61	0,47
rame su acciaio	0,53	0,38
ottone su acciaio	0,51	0,44
vetro su vetro	0,94	0,40
rame su vetro	0,68	0,51
tallone su tallone	0,04	0,04
tallone su acciaio	0,04	0,04
acciaio su ale	0,001	0,001
acciaio su ghiaccio	0,027	0,014
legno su pietra	0,7	0,3
ceramica su cemento lucido	0,68	0,5
ceramica su cemento bagnato	0,4	0,35
ceramica su ghiaccio asciutto	0,2	0,15
ceramica su ghiaccio bagnato	0,1	0,08
grafite su grafite	0,1	
ceramica su arfeto		0,07

μ_s coefficiente attrito statico
 μ_d coefficiente attrito dinamico



7. Moto sul piano inclinato (senza attrito)

Per studiare il moto di un oggetto (assimilabile a punto materiale) lungo un piano inclinato bisogna innanzitutto analizzare le forze che agiscono sull'oggetto suddividendole in forze che agiscono parallelamente al piano inclinato e forze che agiscono perpendicolarmente al piano inclinato.



Per visualizzare meglio le forze agenti sull'oggetto conviene tracciare il cosiddetto diagramma di corpo libero. Si fissa un sistema di riferimento con origine nel punto materiale e i due assi orientati rispettivamente x come il piano inclinato e y perpendicolarmente al piano inclinato. Se tracciamo la forza peso e si scompone la forza peso dell'oggetto nelle due componenti $P_{//}$ e P_{\perp} si può notare che il triangolo delle forze è un triangolo rettangolo simile al piano inclinato stesso e che ha un angolo θ tra la forza peso e la sua componente verticale è uguale all'inclinazione del piano inclinato stesso.

Pertanto la seconda legge della dinamica

$$\Sigma F = ma$$

diviene

$$\begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \end{cases}$$

Analizziamo ora le forze che agiscono sul punto materiale nel dettaglio. Il diagramma di corpo libero mostra che le forze agenti sono poste in un piano cartesiano che, come abbiamo detto, per convenienza viene scelto in modo tale che uno dei due assi (x) sia parallelo al piano inclinato. In questo modo, la normale N ha la direzione ortogonale al piano inclinato. Il vettore P può pertanto essere scritto

$$P = P \sin \theta \hat{i} + P \cos \theta \hat{j}$$

Se l'oggetto si trova in equilibrio sul piano inclinato, allora la risultante delle forze lungo l'asse x e la risultante delle forze lungo l'asse y devono essere uguali a zero.

$$\Sigma F = 0$$

E pertanto:

lungo x

$$P \sin \theta - F = 0$$

lungo y

$$P \cos \theta - N = 0$$

Se, invece un oggetto è in movimento sul piano inclinato dobbiamo fare riferimento alle equazioni:

$$\begin{cases} F_x = ma_x \\ F_y = ma_y \end{cases}$$

Le forze che agiscono lungo y sono uguali e contrarie; pertanto:

$$N - P \cos \theta = 0$$

e cioè

$$N = P \cos \theta$$

Lungo x invece, essendo la forza peso l'unica forza agente, si ha:

$$P \sin \theta = ma$$

e cioè

$$mg \sin \theta = ma$$

Semplificando la massa, si ottiene

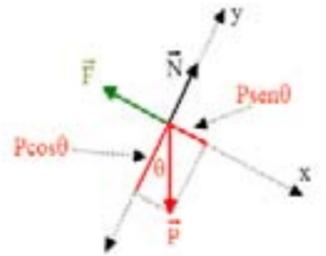
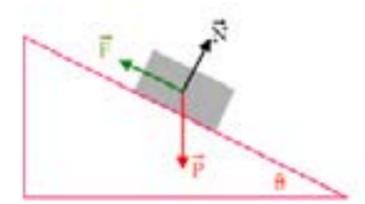
$$g \sin \theta = a$$

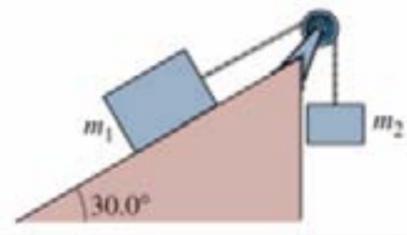
Si noti che se non conosciamo l'inclinazione del piano inclinato ma ne conosciamo l'altezza e la lunghezza, il $\sin \theta$ si può ricavare dalle ben note relazioni sui triangoli rettangoli; nel caso particolare

$$\sin \theta = h/l$$

Ciò significa che il corpo scivola lungo il piano inclinato con accelerazione costante e minore di g secondo il fattore h/l detto pendenza del piano inclinato. In breve, se il piano è più inclinato il corpo accelera di più; se è meno inclinato il corpo accelera di meno. Si può dimostrare che, senza attrito, il corpo partendo da una altezza h giunge al suolo con la stessa velocità di un corpo in caduta libera, valendo la relazione

$$v = \sqrt{2gh}$$

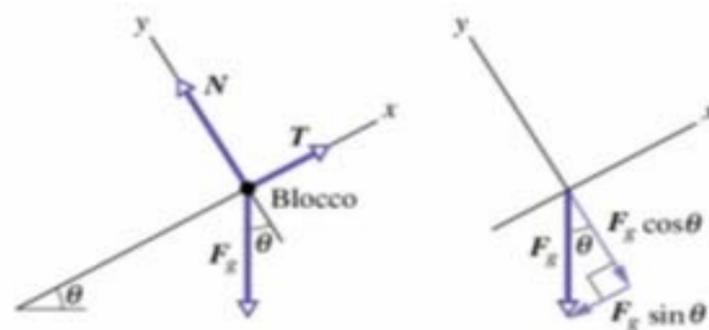




Esempio

La carrucola su un piano inclinato

Due blocchi di massa rispettivamente m_1 ed m_2 si trovano come mostrato in figura; uno di essi scivola su un piano inclinato senza attrito e l'altro è sospeso ad un filo verticalmente, entrambi sono collegati mediante una fune inestensibile attraverso una carrucola ideale (priva di massa e di attriti). Ci proponiamo di studiare la dinamica del sistema ovvero ricavare l'accelerazione con cui le due masse si muovono e la tensione T esercitata dalla fune. Ci proponiamo di analizzare le forze che agiscono sulla massa m_1 dal diagramma di corpo libero. Si noti preventivamente quanto già richiamato riguardo la dinamica di oggetti collegati mediante una fune ideale cioè che è opportuno suddividere i due blocchi analizzandone singolarmente la dinamica e successivamente risolvendo un sistema (in questo caso di due equazioni, perché due sono i blocchi e due incognite la tensione T e l'accelerazione a)



Come si nota dal diagramma di corpo libero, le forze agenti sono (scegliamo un verso di percorrenza per essere sicuri di dare alle forze i segni corretti)

Lungo x

$$P \sin \theta - T = ma$$

che nel nostro caso specifico diventa:

$$m_1 g \sin \theta - T = m_1 a$$

Lungo y

$$N - P \cos \theta = 0$$

Poiché il moto avviene solo lungo l'asse x , nei problemi in cui non compare l'attrito, le forze che agiscono lungo y non influenzano il moto dell'oggetto. Per la massa m_2 come è già noto, la seconda legge di Newton si può scrivere:

$$T - m_2 g = m_2 a$$

A questo punto risolviamo il sistema di due equazioni in due incognite

$$\begin{cases} m_1 g \sin \theta - T = m_1 a \\ T - m_2 g = m_2 a \end{cases}$$

Ricaviamo T dalla seconda equazione e lo sostituiamo nella prima

$$\begin{cases} m_1 g \sin \theta - m_2 g - m_2 a = m_1 a \\ T = m_2 g + m_2 a \end{cases}$$

Dalla prima equazione posso ricavare l'accelerazione incognita

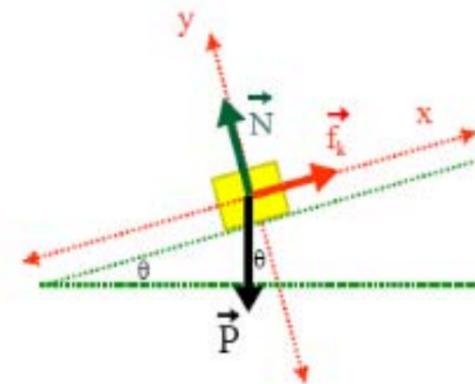
$$\begin{cases} m_1 g \sin \theta - m_2 g = (m_2 + m_1) a \\ T = m_2 g + m_2 a \end{cases}$$

da cui

$$a = \frac{m_1 g \sin \theta - m_2 g}{m_1 + m_2}$$

Sostituendo la relazione così trovata nella seconda equazione ricaviamo T .

Moto sul piano inclinato (con attrito)



Analizzeremo ora il moto di un oggetto su un piano inclinato scabro, soggetto alla forza peso P e frenato dalla forza di attrito radente f_k .

Dobbiamo applicare la seconda legge della dinamica considerando positivo il moto di discesa e pertanto f_k negativa (non dimentichiamo mai che la forza di attrito si oppone al moto). Costruiamo il diagramma di corpo libero come indicato in figura e analizziamo le forze che agiscono lungo l'asse x (parallelo al piano inclinato) e lungo l'asse y (ortogonale al piano inclinato)

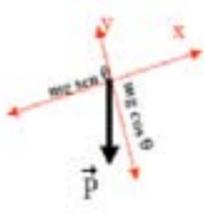
Lungo x

$$P \sin \theta - f_k = ma$$

ovvero

$$mg \sin \theta - f_k = ma$$

Lungo y



$$N - P \cos\theta = 0$$

ovvero

$$N = P \cos\theta = mg \cos\theta$$

A questo punto dobbiamo ricordare la relazione esistente tra la forza di attrito f_k e la forza Normale alla superficie

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

Pertanto

$$f_k = \mu_k \cdot mg \cos\theta$$

Sostituendo la relazione così ricavata nella prima si ottiene:

$$mg \sin\theta - \mu_k \cdot mg \cos\theta = ma$$

Semplificando la massa si ottiene l'accelerazione cercata

$$a = g \sin\theta - \mu_k \cdot g \cos\theta$$

Quando la forza di attrito è uguale ed opposta alla forza peso, la risultante è nulla e quindi il corpo scende con velocità costante (I principio della dinamica)

Angolo minimo per lo scivolamento

Quando si considera lo scivolamento di un corpo su un piano inclinato, si osserva che al variare dell'inclinazione di detto piano, l'oggetto inizia a muoversi al manifestarsi di un angolo di inclinazione critico. Ciò è dovuto al fatto che aumentando l'inclinazione si riduce un poco alla volta la componente perpendicolare della forza peso N , che è proporzionale a P e al coseno dell'angolo compreso (che coincide con l'angolo di inclinazione del piano inclinato). Il valore critico dell'angolo in corrispondenza del quale si ha lo scivolamento del corpo si può calcolare imponendo le condizioni di equilibrio

$$P \sin\theta - A = 0$$

E ricordando che

$$A = \mu N = \mu mg \cos\theta$$

Ovvero

$$mg \sin\theta - \mu mg \cos\theta = 0$$

Dividendo tutto per il coseno si ricava:

$$\mu = \frac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta$$

Questa relazione ci permette di calcolare il coefficiente di attrito relativo ad un particolare angolo di inclinazione e, usando la formula inversa

$$\theta = \arctg\mu$$

Ci permette di ricavare l'angolo minimo perchè il blocco inizi a muoversi relativamente ad un certo coefficiente di attrito

Problemi svolti

1. Un libro del peso di 20N è appoggiato su un banco. Calcolare la forza normale esercitata dalla superficie; se il libro viene sollevato con una forza di 5N, quanto vale la Normale?



Se il diagramma di corpo libero è quello indicato in figura e il sistema è in equilibrio, allora vale la condizione:

$$\sum F = 0$$

e dunque:

$$N - P = 0$$

da cui

$$N = P$$

Nel secondo caso, il diagramma di corpo libero è il seguente:



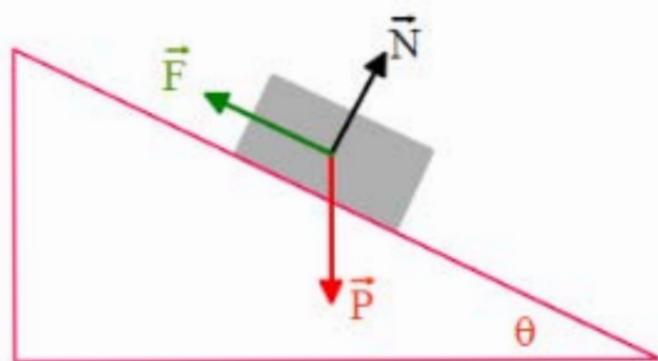
$$N - P + F = 0$$

e dunque

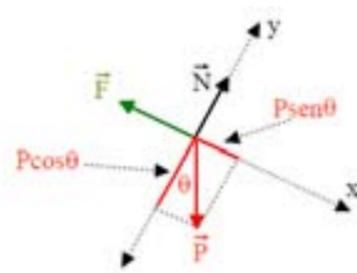
$$N = P - F = 20N - 5N$$

2. Se un oggetto è appoggiato su un piano inclinato di 37° senza attrito, calcolare la forza Normale esercitata dalla superficie.

Il problema può essere schematizzato come segue



Pertanto il diagramma di corpo libero sarà quello indicato a lato



Il diagramma di corpo libero mostra che le tre forze agenti sono coplanari e possono essere schematizzate in un piano cartesiano, avendo scelto per convenienza come asse x l'asse di scorrimento dell'oggetto e come asse y l'asse perpendicolare alla direzione di scorrimento dell'oggetto ovvero perpendicolare al piano inclinato. L'angolo θ , per questioni geometriche è uguale all'angolo di inclinazione del piano inclinato.

Il vettore P può essere scomposto lungo le direzioni x e y:

$$P = P\text{sen}\theta \hat{i} - P\text{cos}\theta \hat{j}$$

E, poiché l'oggetto è fermo ovvero sottoposto ad un equilibrio statico, vale la relazione

$$\sum F = 0$$

per cui:

$$N + P + F = 0$$

$$N \hat{j} + (P\text{sen}\theta \hat{i} - P\text{cos}\theta \hat{j}) - F \hat{i} = 0$$

Scomponendo l'equazione vettoriale lungo le due componenti, si ha:

$$P\text{sen}\theta - F = 0$$

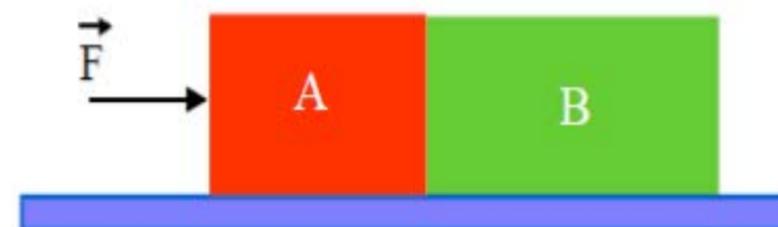
$$N - P\text{cos}\theta = 0$$

E dunque:

$$F = 12N \text{ e } N = 16N$$

3. Una forza di 50N è applicata a un oggetto A di massa 30Kg il quale si trova a contatto con un oggetto B di massa 20Kg, come indicato in figura. Entrambi si trovano su una superficie liscia

- qual è l'accelerazione del sistema?
- Qual è l'intensità della forza agente tra i due oggetti?



In primo luogo disegniamo il diagramma di corpo libero per ciascun blocco:

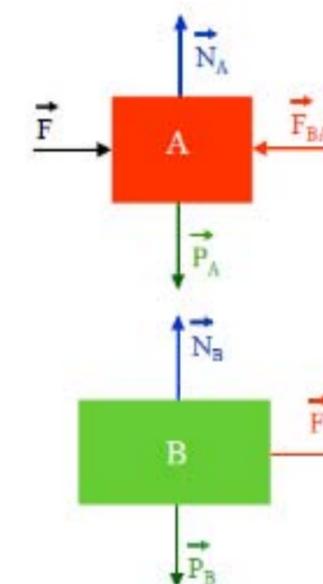
Le accelerazioni dei blocchi A e B hanno uguale intensità e pertanto possiamo scrivere:

$$(a_A) = (a_B) = (a_s) = a_s \hat{i}$$

Applicando la seconda legge della dinamica in forma vettoriale, abbiamo:

$$\sum F = ma$$

Tale equazione applicata al corpo A e scomposta lungo x e lun-



go y diventa:

$$\sum F_{Ax} = m_A a_{Ax}$$

$$\sum F_{Ay} = m_A a_{Ay}$$

Queste equazioni, riportate nel piano cartesiano xy, saranno rispettivamente per A:

$$F - F_{BA} = m_A a_s$$

$$N_A - P_A = 0$$

Per lo stesso motivo per B si ottiene:

$$F_{AB} = m_B a_s$$

$$N_B - P_B = 0$$

Sommando queste quattro equazioni si ha:

$$F - F_{BA} + F_{AB} = m_A a_s + m_B a_s$$

Ma per il principio di azione e reazione F_{BA} e F_{AB} sono uguali ed opposte, pertanto si ottiene

$$F = a_s (m_A + m_B)$$

Da cui

$$a_s = \frac{F}{m_A + m_B} = 1 \text{ m/s}^2$$

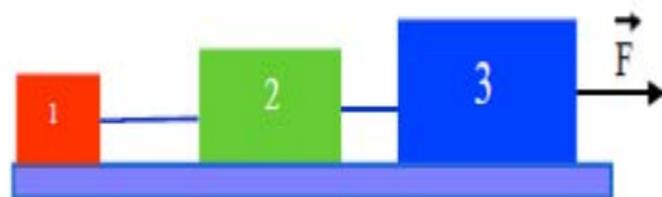
Nota l'accelerazione, è possibile ricavare la forza

$$F_{AB} = m_B a_s = 20 \text{ Kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2 = 20 \text{ N}$$

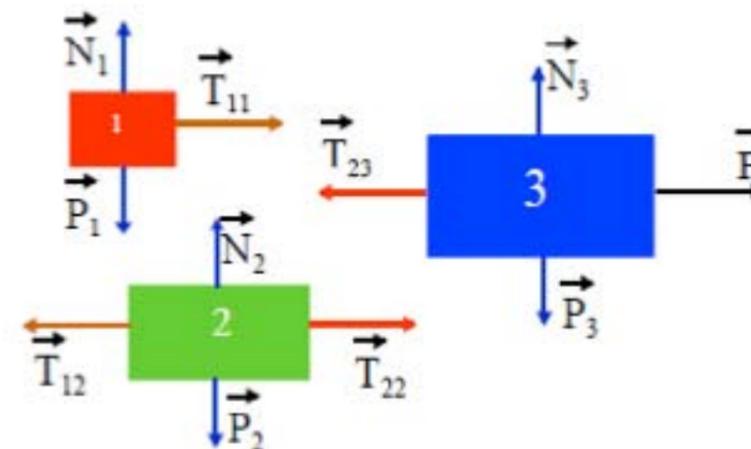
Mentre F_{BA} essendo uguale e contraria vale:

$$F_{BA} = -20 \text{ N}$$

4. Calcolare le tensioni e l'accelerazione del sistema mostrato in figura, sapendo che $m_1 = 10 \text{ Kg}$, $m_2 = 20 \text{ Kg}$, $m_3 = 30 \text{ Kg}$ e $F = 6 \text{ N}$



La risoluzione del problema è facilitata se si considerano i diagrammi di corpo libero delle tre masse:



Su ciascuna massa verticalmente agiscono 2 forze: la forza peso e la forza Normale esercitata dalla superficie; si tratta di due forze uguali ed opposte. Orizzontalmente, ovvero lungo la direzione del moto dobbiamo applicare l'equazione della dinamica alle tre masse separatamente:

per la massa m_1 :

$$T_{11} = m_1 a$$

Per la massa m_2 :

$$T_{22} - T_{12} = m_2 a$$

Per la massa m_3 :

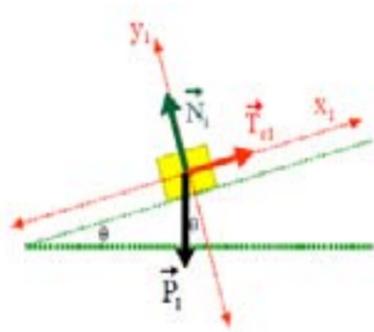
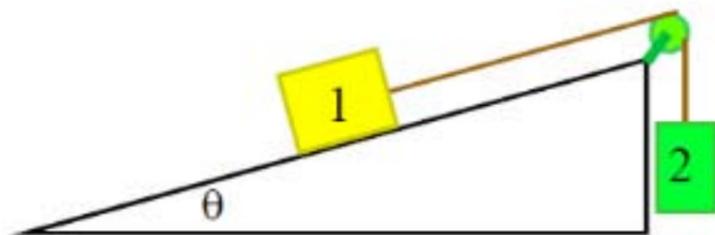
$$F - T_{23} = m_3 a$$

Tenendo conto che per il principio di azione e reazione

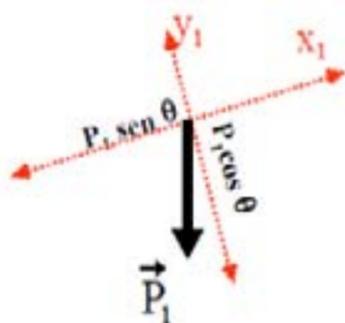
$$T_{12} = T_{21} = T_1 \text{ e } T_{22} = T_{23} = T_2$$

Per trovare le tensioni e l'accelerazione del sistema basta risolvere il sistema di tre equazioni in tre incognite:

5. Determinare l'accelerazione e la tensione della fune del sistema mostrato in figura, sapendo che l'angolo di inclinazione è $\theta = 30^\circ$, la massa $m_1 = 30\text{Kg}$ e la massa $m_2 = 20\text{Kg}$ (si supponga che il piano inclinato sia senza attrito)



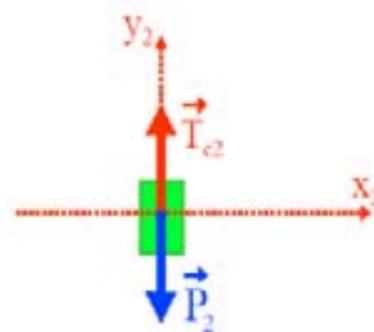
Ancora una volta per semplificare la risoluzione del problema, ci si riferisce al diagramma di corpo libero per ciascuna delle due masse:



Per la massa posta sul piano inclinato si abbia cura di scegliere un sistema di riferimento in cui l'asse x coincide con la direzione di scorrimento del blocco e l'asse y sia perpendicolare a tale direzione. Le forze agenti sulla massa m_1 vanno scomposte lungo la direzione parallela al piano e lungo la direzione perpendicolare al piano; pertanto:

$$\begin{aligned} T_{c1} - P_1 \sin \theta &= m_1 a_{x1} & T_{c1} - m_1 g \sin \theta &= m_1 a_{x1} \\ N - P_1 \cos \theta &= 0 & N - m_1 g \cos \theta &= 0 \end{aligned}$$

Per la massa m_2 il diagramma di corpo libero è il seguente:



Applicando la seconda legge della dinamica

$$\begin{aligned} T_{c2} - P_2 &= m_2 (-a_{y2}) & T_{c2} - m_2 g &= m_2 (-a_{y2}) \end{aligned}$$

Tenuto conto che la tensione su entrambi i blocchi è la stessa, perché i blocchi sono collegati dalla stessa fune, si può scrivere:

$$T_{c1} = T_{c2} = T$$

e

$$a_{x1} = a_{x2} = a$$

Pertanto, per trovare l'accelerazione incognita e la tensione, basta risolvere il sistema:

$$\begin{cases} T - m_1 g \sin \theta = m_1 a \\ m_2 g - T = m_2 a \end{cases}$$

Ricavo la tensione dalla seconda equazione e la sostituisco nella prima:

$$\begin{cases} m_2 g - m_2 a - m_1 g \sin \theta = m_1 a \\ T = m_2 g - m_2 a \end{cases}$$

da cui:

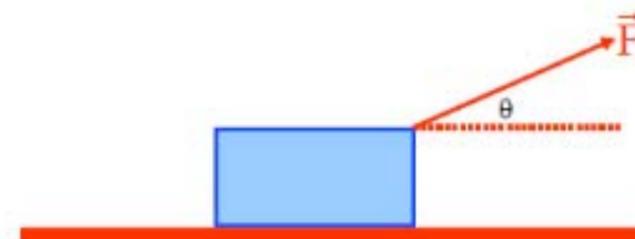
$$m_2 g - m_1 g \sin \theta = m_1 a + m_2 a$$

e infine

$$a = \frac{(m_2 - m_1 \sin \theta) g}{m_A + m_B} = 1 \text{ m/s}^2$$

Mentre la tensione $T = 180\text{N}$

6. Si determini la forza necessaria per arrestare un oggetto che si muove verso destra con velocità costante, sapendo che ha massa $m = 20\text{Kg}$, che la forza è diretta formando un angolo di 37° rispetto all'orizzontale e che il coefficiente di attrito tra l'oggetto e la superficie su cui scorre è $\mu_k = 0,2$



Il diagramma di corpo libero è indicato a lato. Se l'oggetto è in movimento, per la seconda legge della dinamica si ha:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m a_x \\ \sum F_y &= m a_y \end{aligned}$$

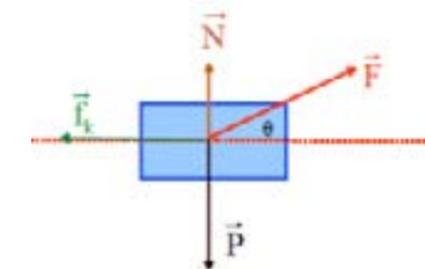
Da cui:

$F \cos \theta - f_k = 0$ perché la velocità è costante
 $F \sin \theta + N - P = 0$ perché lungo y non c'è movimento
 La forza di attrito cinetico si può calcolare come:

$$f_k = \mu_k N$$

e poiché

$$P = mg$$



si ha:

$$F \cos 37^\circ - \mu_k N = 0$$

$$F \sin 37^\circ + N - mg = 0$$

Da cui:

$$N = mg - F \sin 37^\circ$$

In definitiva si ha

$$F \cos 37^\circ - \mu_k (mg - F \sin 37^\circ) = 0$$

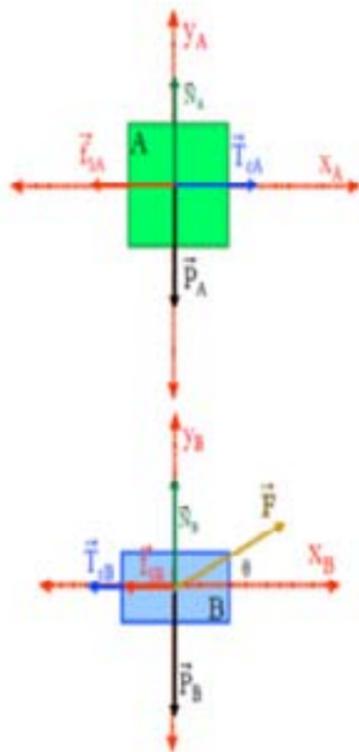
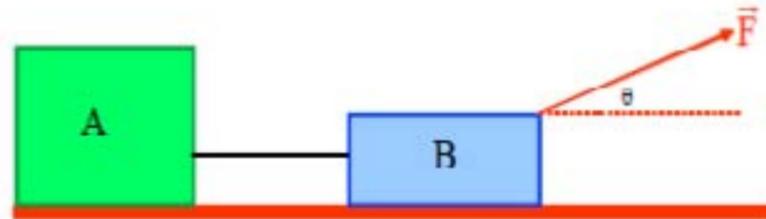
Da cui:

$$F = \frac{\mu_k mg}{\cos 37^\circ + \mu_k \sin 37^\circ} = 44,4 N$$

7. Sul blocco B in figura agisce una forza F inclinata di 37° rispetto all'orizzontale. Se la fune è inestensibile e di massa trascurabile, noto che m_A=6Kg; m_B= 8Kg; μ_s=0,1 e μ_k=0,05, si calcoli:

Qual è la forza massima che può assumere F affinché il sistema inizi a muoversi?

Si determini l'accelerazione del sistema nell'ipotesi che la forza agente sia F = 100N e la tensione della fune



Il diagramma di corpo libero per le due masse è indicato a lato. Applicando la seconda legge di Newton al blocco A si ottiene:

$$\sum F_{Ax} = m_A a_{Ax}$$

$$\sum F_{Ay} = m_A a_{Ay}$$

Poiché le forze agenti sono la forza di attrito e la tensione della fune, si ha

$$T - f_{sA} = 0$$

Mentre per il blocco B si ha:

$$F \cos \theta - T - f_{sB} = 0$$

Ora mettiti alla prova e continua

8. Il doppio piano inclinato

Due blocchi di massa m₁=3Kg e m₂=5Kg sono uniti da una fune inestensibile e di massa trascurabile che passa attraverso una carrucola anch'essa di massa trascurabile. Ciascuno dei due blocchi poggia su un piano inclinato come rappresentato in figura. Si trascuri l'attrito tra blocchi e piani inclinati e si calcoli

A1 - l'accelerazione del sistema

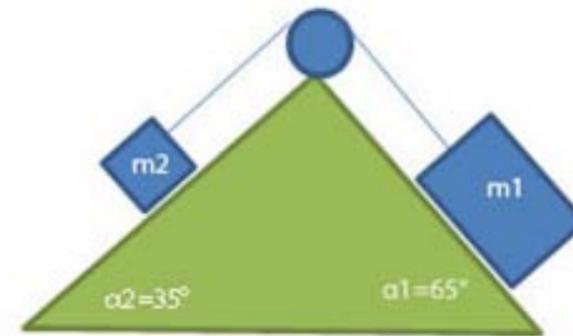
A2 - la tensione della fune

Si suppongano i due blocchi inizialmente in quiete a una quota comune h=1,5m rispetto al piano orizzontale.

A3 - Dopo quanto tempo uno dei due blocchi raggiunge il piano orizzontale? che quota ha raggiunto in questo istante l'altro blocco?

B - Si ripetano i calcoli di cui al punto A1), A2), A3) assumendo un coefficiente di attrito tra blocchi e piani inclinati pari a μ=0,01

C - Qual è il valore massimo di μ che consente al sistema dei due blocchi di mettersi in moto?



Ognuna delle due masse, al netto delle reazioni vincolari, è spinta a scendere lungo il piano inclinato da una frazione della forza peso mg sin α, ed è trattenuta dalla altra massa attraverso la tensione comune T trasmessa dalla corda. Siccome:

$$m_1 g \sin \alpha_1 \approx 26,67 N < m_2 g \sin \alpha_2 \approx 28,13 N$$

sarà la massa m₂ a scendere. L'accelerazione totale del sistema è determinata dalla somma delle forze e dalla somma delle masse (siccome la direzione della forza è manipolata dalla carrucola possiamo considerare il moto unidimensionale; inoltre, nella somma delle forze la tensione della corda si elimina esattamente):

$$a = \frac{f_2 + f_1}{m_2 + m_1} = \frac{(m_2 g \sin \alpha_2 - T) + (T - m_1 g \sin \alpha_1)}{m_2 + m_1} = g \frac{m_2 \sin \alpha_2 - m_1 \sin \alpha_1}{m_2 + m_1} \approx 0,183 m / s^2$$

La tensione della fune si può ora ricavare per differenza, notando che per ogni blocco la forza totale agente su di esso si scrive ma

dove a è l'accelerazione comune precedentemente calcolata :

$$T = m_2 g \sin \alpha_2 - f_2 = m_2 (g \sin \alpha_2 - a) \approx 27,22 N$$

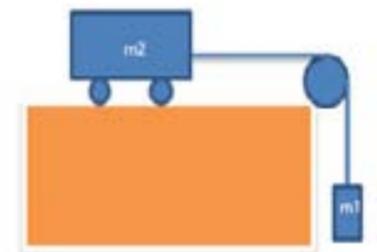
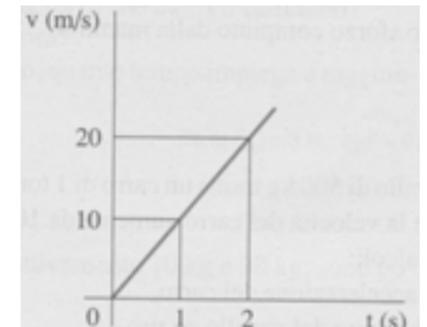
Per giungere a terra la massa m_2 deve percorrere lungo il suo piano inclinato la distanza

$$d = h / \sin \alpha_2$$

Stante l'accelerazione costante a ed il fatto che il blocco partiva da fermo, il tempo necessario è:

Esercizi proposti

1. Spingendo orizzontalmente sulla neve una slitta, di massa 4Kg, con una forza orizzontale di 2N, quale accelerazione si ottiene?
2. Per spostare una valigia con rotelle sul pavimento della stazione, si applica a essa una forza orizzontale di 12N e si ottiene un'accelerazione di $0,4 \text{ m/s}^2$. Qual è la massa della valigia?
3. Al Supermarket, spingendo un carrello pieno di acquisti con una forza orizzontale di 21N si ottiene un aumento della sua velocità di 2 m/s in 4 secondi. Qual è la massa del carrello?
4. Una scatola di 10 kg è ferma su un pavimento orizzontale. Trascinandola, si ottiene uno spostamento di 4 m in 4 secondi. Qual è la forza orizzontale che trascina la scatola?
5. Se una sedia pesa 5 kg peso, con quale forza orizzontale è necessario spingerla sul pavimento per imprimerle un'accelerazione di $1,2 \text{ m/s}^2$?
6. Un'automobile di massa 950 kg, ferma a un semaforo, impiega 5,1s per raggiungere la velocità di 60 km/h.
 - a. Qual è la sua accelerazione media?
 - b. Qual è l'intensità media della forza applicata dal motore?
7. Una motocicletta di 100 kg accelera secondo il grafico $v = f(t)$ in figura. Quale accelerazione costante ha la motocicletta? Quale forza è la causa di tale accelerazione?
8. In un'esperienza di laboratorio, sulla rotaia a tracce di zolfo scivola un carrello di massa 300 g (vedi figura), trainato da una massa di 30 g appesa a un filo di nylon che passa nella gola di una carrucola. Qual è l'intensità della forza che accelera il carrello? Qual è l'accelerazione del carrello?
9. Con lo stesso dispositivo del problema precedente si esegue la seguente esperienza: si caricano sul carrello due masse da 20 g ciascuna e si ripete la misura dell'accelerazione del carrello trainato dalla massa di 30 g.
 - a. Quale accelerazione si ottiene?
 Poi si ripete la misura dell'accelerazione togliendo una massa da 20 g dal carrello e aggiungendole alla massa di 30 g appesa al filo di nylon.
 - b. Quale accelerazione si ottiene ora?
10. Un pacco viene trascinato su di un piano orizzontale da due forze uguali, perpendicolari fra loro, come in figura. Se il pacco ha la massa di 15 kg e ha un'accelerazione di 2 m/s^2 , qual è l'intensità di ciascuna forza? Se l'intensità di ciascuna forza fosse la metà del valore precedente, quale accelerazione avrebbe il pacco?
11. Un ragazzo trascina un carico di 30 kg su di un pavimento orizzontale, mediante una corda che passa sopra la sua spalla destra ed è trattenuta dalle sue mani, la corda è inclinata di 45° rispetto all'orizzontale. Se lo sforzo che effettua il ragazzo è di 138,7N, si calcoli:



- a. qual è la forza orizzontale che sposta il carico (si disegnino i vettori),
b. qual è l'accelerazione con cui si muove il carico.

12. Con una forza di 6 N, inclinata di 30° rispetto all'orizzontale, si spinge sul pavimento un tavolo di 20 kg inizialmente fermo.

- a. Qual è la componente della forza che provoca lo spostamento del tavolo?
b. Quale spostamento si otterrà in 5 secondi?

13. Una signora è andata a fare la spesa al mercato e ha messo la frutta e la verdura acquistate in un carrellino con ruote che lei sostiene con una mano e trascina con una forza inclinata di 60° rispetto all'orizzontale. La massa del carrellino carico di merce è di 12 kg e la signora ha fretta di rientrare in casa perciò accelera a $0,25 \text{ m/s}^2$.

- a. Qual è la componente orizzontale della forza che traina il carrellino?
b. Qual è lo sforzo compiuto dalla signora?
c. Se il carrellino era inizialmente fermo, quanto tempo impiega a raggiungere la velocità di 4,5 km/h?

Dinamica del punto materiale in presenza di attrito

14. Un mobile di 50 kg è spinto sul pavimento in linea retta con velocità costante. Se il coefficiente di attrito è 0,4, qual è la forza che spinge il mobile? Mettendo uno straccio fra il mobile e il pavimento la forza diminuisce. Perché?

15. Una forza orizzontale di 130 N trascina un pacco di 20 kg, inizialmente fermo, in linea retta su di un pavimento orizzontale.

Il coefficiente di attrito fra pacco e pavimento è 0,6.

- a. Qual è l'accelerazione del pacco?
b. Quale forza dovrebbe trascinare il pacco per spostarlo con velocità costante?

16. Una cassa di massa 25 kg, inizialmente ferma, viene trascinata su di un piano orizzontale scabro con una forza orizzontale di 110 N. Il coefficiente di attrito fra la cassa e il piano è 0,3.

- a. Qual è la forza risultante che agisce sulla cassa?
b. Quanto tempo è necessario per spostarla di 5 metri?

17. Una cassa pesante 500 N è appoggiata su un pavimento orizzontale e il coefficiente di attrito fra pavimento e cassa è 0,3.

- a. Quale forza orizzontale deve spingere la cassa per accelerarla di $1,2 \text{ m/s}^2$?
b. Se si pone un panno sotto la cassa, riducendo il coefficiente di attrito a 0,1, quale forza orizzontale è necessaria per ottenere la stessa accelerazione?

18. Due ragazze vogliono appendere un quadro, una lo tiene fermo spingendolo con la mano contro il muro e l'altra segna con una matita il punto in cui fissare il gancetto. Il quadro ha la massa di 1,8 kg e il coefficiente di attrito fra quadro e muro è 0,5.

- a. Con quale forza orizzontale deve spingere la ragazza perché il quadro non cada?
b. Se la ragazza spinge con la stessa forza un altro quadro di massa doppia, il quadro cade o resta fermo?

19. Con una forza di 134,35 N, inclinata di 45° sull'orizzontale, si spinge in linea retta sul pavimento un pacco di libri di massa 15 kg, a velocità costante. Qual è il coefficiente di attrito fra il pacco e il pavimento?

20. Sul piano di un tavolo è appoggiato un libro che pesa 2,5 kg, per farlo muovere in linea retta a velocità costante bisogna spingerlo con una forza di 4,905 N.

- a. Qual è il coefficiente medio di attrito fra libro e tavolo?
b. Se sul libro se ne appoggia un altro pesante la metà del primo, con quale forza bisogna spingere per ottenere una velocità costante?

21. Bisogna spostare su di un pavimento un tavolo pesante 500 N. Il coefficiente di attrito fra pavimento e zampe del tavolo è 0,5. Spingendo orizzontalmente per 1 secondo il tavolo accelera e si sposta di 1,5 m.

- a. Qual è l'intensità della spinta esercitata sul tavolo?
b. Ponendo degli stracci fra le zampe del tavolo e il pavimento è sufficiente spingerlo con una forza che ha un'intensità la metà della precedente per ottenere lo stesso moto. Qual è ora il coefficiente di attrito?

22. Un'automobile di massa 1,2 tonnellate sta percorrendo un rettilineo alla velocità di 90 km/h. Vedendo un ostacolo il guidatore frena e si ferma. Il coefficiente medio di attrito durante la frenata è 0,8.

- a. Qual è l'intensità media della forza frenante?
b. Qual è la misura dello spazio di frenata?

23. Con una forza frenante di 5 000 N si ferma un'automobile di 800 kg in moto a 108 km/h.

- a. Quanto vale la decelerazione?
b. Quanto dura la frenata?
c. Qual è il coefficiente di attrito durante la frenata?

24. Da un elicottero viene lasciato cadere un pacco di 50 kg. Se il pacco cade verticalmente con un'accelerazione di 4 m/s^2 , qual è la resistenza dell'aria durante la caduta? Con quale accelerazione cadrebbe un pacco di 100 kg?

25. Una palla di 0,75 kg viene lanciata verticalmente verso l'alto con una velocità iniziale di 15 m/s.

- a. Se la resistenza media dell'aria è 3 N con quale decelerazione sale la palla?
b. A quale altezza massima arriva?

26. Un blocco di massa 6 kg, inizialmente fermo, scivola lungo un piano inclinato di 45° , senza attrito, partendo da 3 m di altezza. Si ricavi:

- a. la forza che provoca il moto del blocco,
b. la velocità al termine della discesa.

27. Si ripeta il problema precedente per un piano inclinato di 30° e per un piano inclinato di W . È necessario ripetere il calcolo della velocità?

28. Si deve spingere un carico di 75 kg lungo una salita con pendenza del 20% (pendenza h/l).

- a. Trascurando l'attrito, con quale forza occorre spingere per farlo salire con velocità costante?
b. Con quale forza occorre spingere per farlo salire con un'accelerazione di $0,3 \text{ m/s}^2$?

29. Un blocchetto d'acciaio, di massa 0,2 kg, lanciato verso l'alto lungo un piano inclinato di 60° , sale per 2 m poi si ferma e torna indietro. Trascurando l'attrito si ricavi:

- quale forza frena il moto in salita del blocchetto;
- con quale velocità parte il blocchetto e con quale velocità torna al punto di partenza.

30. Una cassa di 20 kg scivola lungo un piano inclinato di 45° . Il coefficiente di attrito fra cassa e piano è 0,35.

- Qual è l'accelerazione della cassa?
- Quale forza bisognerebbe applicare alla cassa per farla scivolare con velocità costante?

31. Un'automobile di 900 kg sale lungo una strada inclinata di 30° con un'accelerazione di $0,25 \text{ m/s}^2$.

- Se il coefficiente di attrito è 0,5, qual è l'intensità della forza d'attrito?
- Qual è l'intensità della forza motrice?

32. Un pacco di massa 5 kg scivola con velocità costante per 2,5 m lungo un piano inclinato partendo da un'altezza di 1,5 m.

- Qual è il coefficiente di attrito fra pacco e piano?
- Con quale forza bisognerebbe spingere verso l'alto il pacco per farlo salire a velocità costante?

33. Su un piano orizzontale senza attrito (figura 14) scivola un blocco di 7 kg trascinato da un altro blocco di 3 kg unito a esso per mezzo di una fune (di massa trascurabile) che passa nella gola di una carrucola fissa (senza massa e senza attrito).

- Qual è l'accelerazione del sistema formato dai due blocchi?
- Qual è la tensione nella fune?

34. Una fune senza massa passa nella gola di una carrucola fissa (di massa trascurabile e senza attrito) (figura 15). A un'estremità della fune è appesa una massa di 10 kg, all'altra estremità è appesa una massa di 8 kg.

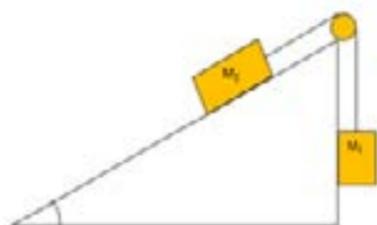
- Qual è l'accelerazione delle masse?
- Qual è la tensione nella fune?

35. Un uomo di 60 kg scivola verso il basso lungo una fune.

- Se la fune può sopportare al massimo una tensione di 420 N, qual è la massima accelerazione con cui può scivolare giù l'uomo?
- Se si arrampica con la stessa accelerazione a quale tensione sottopone la fune? Corre il rischio di spezzarla?

36. Un ascensore con massa 5 tonnellate scende verso terra con un'accelerazione di 1 m/s^2

- Qual è la tensione nel cavo che lo sostiene?
- Se l'ascensore sale verso l'alto con la stessa accelerazione, qual è la tensione nel cavo?
- Quando l'ascensore è fermo qual è la tensione nel cavo?



37. Due blocchi di 1 kg e 3 kg sono uniti da una fune senza massa e si spostano su un piano inclinato di 30° come in figura. Trascurando l'attrito, qual

è l'accelerazione del sistema formato dai due blocchi? Qual è la tensione della fune?

38. Stai pattinando sul ghiaccio, quando vedi un tuo amico che, appena entrato in pista, esercita una spinta contro la barriera perimetrale come mostrato in figura. Secondo te, così facendo il tuo amico finirà contro la barriera oppure inizierà a spostarsi all'indietro? A farlo muovere sarà la forza che esercita sulla barriera o interverrà un'altra forza? Descrivi la situazione, facendo riferimento al terzo principio della dinamica.

39. Un uomo di 90 kg e suo figlio di 20 kg pattinano sulla superficie di un lago ghiacciato. Padre e figlio stanno in piedi uno di fronte all'altro con le mani accostate. Poi l'uomo comincia a spingere il bambino. Trascurando l'attrito, calcola modulo direzione e verso dell'accelerazione del bambino sapendo che l'accelerazione dell'uomo è uguale, in modulo, a $0,10 \text{ m/s}^2$.

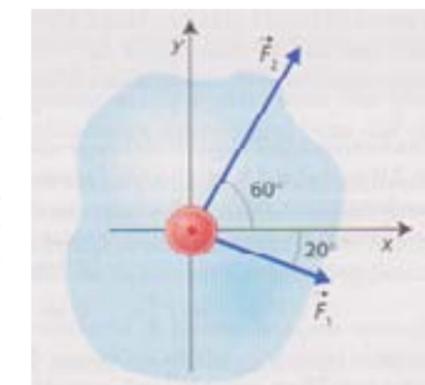
40. Se, a parità di accelerazione dell'uomo, costui pesasse 20 kg di meno e suo figlio 20 kg di più, come varierebbe il modulo dell'accelerazione del bambino? Giustifica la tua risposta.

41. In un cantiere edile un muratore sposta un blocco di cemento applicandogli una forza costante di 12,0 N per 4,00 s, fino a farlo muovere alla velocità di 3,00 m/s. Supponendo che il blocco parta da fermo e acceleri in modo uniforme, qual è la sua massa? E il suo peso?

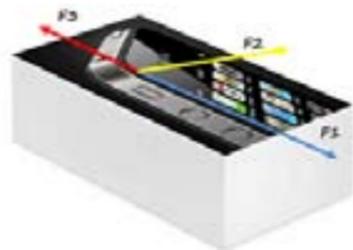
42. Al supermercato un signore spinge il carrello della spesa di 40,0 kg sopra il pavimento orizzontale. Calcola, trascurando gli attriti, l'intensità della forza orizzontale necessaria per accelerare il carrello in modo che in 8,00 s possa raggiungere la velocità di 2,00 m/s. Determina inoltre quanto vale la reazione del suolo sul carrello.

43. Un carrello del peso di 14,7 N viene tirato, sopra un piano orizzontale senza attrito, da una forza costante di 6,00 N parallela al piano. Quanto vale l'accelerazione del carrello se l'esperimento viene effettuato in un luogo in cui l'accelerazione di gravità vale $9,81 \text{ m/s}^2$. E se l'accelerazione di gravità valesse $3,63 \text{ m/s}^2$?

44. Sulla superficie ghiacciata di un lago, due ragazzini si passano un coperchio circolare di plastica, facendolo scivolare. A un certo istante i ragazzini arrivano entrambi sul coperchio, che è così sottoposto contemporaneamente alle due forze rappresentate in figura. Sapendo che il coperchio pesa 300 g e che le forze, entrambe parallele alla superficie orizzontale ghiacciata, hanno intensità pari rispettivamente a 5,0 N e 8,0 N, determina direzione e modulo dell'accelerazione del coperchio, assumendo che scivoli sul ghiaccio senza attrito

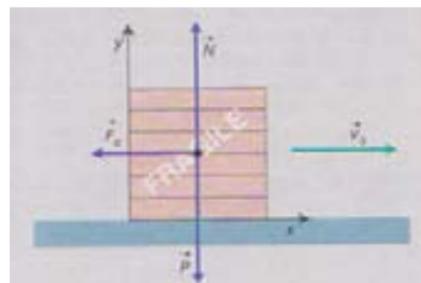


45. La scatola di un iphone pesa 2 kg ed è poggiato su un piano di vetro orizzontale e su di esso agiscono le tre forze rappresentate in figura.



Le intensità delle tre forze sono $F_1 = 10 \text{ N}$, $F_2 = 4 \text{ N}$, $F_3 = 2 \text{ N}$ e la forza F_2 forma un angolo di 60° con l'orizzontale, inoltre l'attrito fra ghiaccio e vetro è trascurabile.

Stabilisci in quale direzione si muove il blocco.
Determina la velocità raggiunta dal blocco dopo 2 s.
Calcola lo spazio percorso in questi 2 s.



46. Un paracadutista si lancia da 2890 m di altezza. Sapendo che con l'apertura del paracadute, avvenuta dopo 490 m, il moto diventa uniformemente decelerato e che l'uomo tocca terra alla velocità di 2,00 m/s, calcola la sua decelerazione.

47. Una cassa, alla quale è stata impressa una velocità iniziale di 2,8 m/s, scivola su un pavimento orizzontale finché non si arresta dopo aver percorso 1,0 m di distanza. Calcola il coefficiente di attrito dinamico k_d tra pavimento e cassa

48. Lorenzo deve spostare un comodino di 40,0 kg dalla camera al corridoio. Il coefficiente di attrito statico fra comodino e pavimento vale 0,400 e quello di attrito dinamico vale 0,350. Qual è l'intensità della forza orizzontale minima che Lorenzo deve applicare al comodino per riuscire a spostarlo? Se riesce a esercitare una forza orizzontale costante di 200 N, quale velocità sarà in grado di imprimere al comodino dopo 2,00 s?

49. Una pattuglia della polizia vuole fermare il conducente di un SUV che sta viaggiando lungo un rettilineo a 100 km/h. L'auto della polizia, che parte all'inseguimento nell'istante in cui il SUV passa davanti alla sua postazione, ha una massa di 1600 kg e la risultante della forza del motore e di quella di attrito sull'asfalto ha intensità pari a 2000 N. Dopo quanti secondi dalla partenza la polizia riesce a raggiungere il SUV, supponendo che questo mantenga inalterata la sua velocità?

50. Durante una vacanza in montagna Angela e Clara scendono con due slittini lungo due diverse piste innevate. Angela sceglie la pista più breve, lunga 800 m ma un po' più ripida. Clara, invece, affronta una pista con minore pendenza, lunga 1,5 km. Le ragazze imboccano i rispettivi percorsi a una quota di 40 m rispetto al punto in cui le due piste si ricongiungono a valle. Chi delle due arriverà per prima a valle e per quanto tempo dovrà attendere l'altra?

51. Giorgia sta scendendo lungo un pendio inclinato di 30° ; il suo peso, compresi gli sci, è 70,0 kg e il coefficiente di attrito fra sci e neve è 0,100.

- Calcola l'intensità della forza di attrito che agisce su Giorgia e la sua accelerazione.
- Se parte da ferma, qual è la sua velocità dopo 5,00 s?
- Calcola la distanza che Giorgia percorrerebbe su un tratto pianeggiante prima di fermarsi, se vi giungesse con la velocità che hai appena trovato e se il coefficiente di attrito fosse lo stesso del pendio.

52. Un ascensore di 4000 kg sale con accelerazione uguale a 100 cm/s^2 . Determina la tensione del cavo che regge l'ascensore

53. Un ascensore sale verso l'alto con accelerazione pari a $1,00 \text{ m/s}^2$.



Se un uomo di 80,0 kg si trova all'interno dell'ascensore, quanto è intensa la reazione vincolare che il pavimento dell'ascensore esercita su di lui? E se invece l'ascensore scendesse verso il basso con accelerazione pari a $2,00 \text{ m/s}^2$

54. Un pescatore estrae un pesce dall'acqua con un'accelerazione di $4,5 \text{ m/s}^2$, usando un filo da pesca molto sottile che può resistere solo fino a una forza di 22 N. Il pescatore perde il pesce perché il filo si spezza. Che cosa puoi dire della massa del pesce?

55. Mattia lancia un pallone verso l'alto, lungo una rampa inclinata di 30° , con una velocità F di modulo pari a 10 m/s, come illustrato in figura. Se il pallone striscia sulla rampa con coefficiente di attrito uguale a 0,20, a quale altezza h , rispetto al piano orizzontale, si ferma?

56. Una coppia di pattinatori si sta esibendo in pista. La donna è ferma, mentre l'uomo ha cominciato a pattinare. A un certo istante l'uomo spinge la donna, imprimendole un'accelerazione costante che la fa spostare di 9,0 m in 3,0 s. Supponendo che la donna pesi 540 N e che l'attrito fra i suoi pattini e la pista sia trascurabile, quanto è intensa la forza che l'uomo applica su di lei? È vero o falso che la donna, mentre viene spinta, esercita a sua volta una forza sull'uomo? Se è vero, sapresti determinare l'intensità di tale forza?

57. I carrelli A, B, C rappresentati in figura hanno masse $m_A = 5,0 \text{ kg}$, $m_B = 10 \text{ kg}$ ed $m_C = 15 \text{ kg}$. Se al carrello C viene applicata una forza di 45 N, calcola, trascurando l'attrito, l'accelerazione del sistema e le tensioni delle funi fra A e B e fra B e C.

58. Due carrelli, di massa $m_1 = 5,0 \text{ kg}$ ed $m_2 = 10 \text{ kg}$ sono legati con una fune inestensibile di massa trascurabile e tirati da una forza, come mostrato in figura.

Il sistema si muove con accelerazione pari a $1,0 \text{ m/s}^2$ senza incontrare attrito. Calcola l'intensità di g .

- Determina la tensione della fune con la quale sono legati i due carrelli.
- Se la fune si rompe, quale sarà la nuova accelerazione del carrello di massa m_2 ?

59. Due blocchi di massa m_1 ed m_2 , collegati con una fune inestensibile, sono sospesi a una carrucola priva di attrito, come in figura. Questo sistema prende il nome di macchina di Atwood. Ricava la tensione della fune e l'accelerazione dei due blocchi, nell'ipotesi che sia $m_2 > m_1$ e che le masse della fune e della carrucola siano entrambe trascurabili.

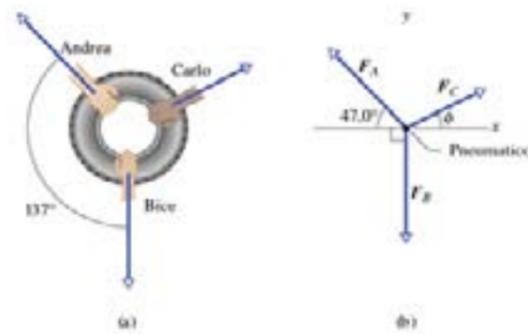
60. Due blocchi di massa $m_1 = 2,0 \text{ kg}$ ed $m_2 = 4,0 \text{ kg}$ sono collegati con una fune inestensibile passante sopra una carrucola priva di attrito, come in figura. Trascurando le masse della fune e della carrucola, calcola l'accelerazione del sistema e lo spazio percorso da ciascun blocco, partendo dalla quiete, nei primi 2,0 s. I risultati vengono alterati se entrambe le masse vengono moltiplicate per un fattore k di proporzionalità?

61. Due blocchi, di massa m , ed m , sono collegati con un filo inestensibile



sibile di massa trascurabile. Uno di essi poggia sopra un tavolo orizzontale e l'altro pende dal tavolo, come in figura. In assenza di attrito, se l'accelerazione del sistema è pari a $g/3$, quanto vale il rapporto M_2/M_1 ?

62. 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?

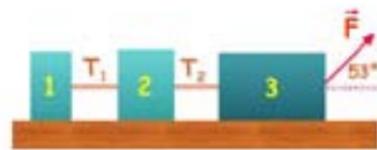


63. Due blocchi di massa rispettivamente $m_1=3\text{Kg}$ ed $m_2=1\text{Kg}$ si trovano a contatto sopra una superficie priva di attrito. Se si applica una forza orizzontale di modulo $F=2\text{N}$ al blocco di massa m_1 , come mostrato in figura, si calcoli:

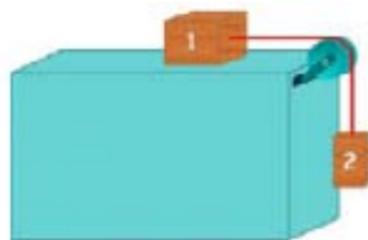
- A - L'accelerazione a cui è sottoposto il sistema;
- B - La forza di contatto tra i due corpi
- C - la forza totale agente sul sistema.



64. Si considerino tre masse $m_1=10\text{Kg}$, $m_2=20\text{Kg}$, $m_3=30\text{Kg}$ collegate tra di loro attraverso due funi che esercitano le tensioni T_A e T_B rispettivamente. Se si applica una forza $F=60\text{N}$ al sistema come mostrato in figura, si calcolino le tensioni delle funi e l'accelerazione del sistema.



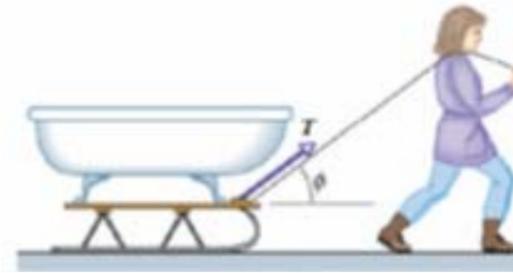
65. La figura mostra tre blocchi collegati da due corde (di massa trascurabile ed inestensibili) che si muovono su una superficie orizzontale priva di attrito sottoposte ad una forza di modulo $F=20\text{N}$. Se $m_1=1\text{Kg}$, $m_2=2\text{Kg}$, $m_3=3\text{Kg}$, si calcoli:
 A - l'accelerazione del sistema;
 B - il valore della Normale su ciascuno dei corpi
 C - il valore della tensione di ciascuna corda.



66. Due corpi di massa m_1 ed m_2 sono collegati tramite una fune che passa attraverso una carrucola senza attrito, come mostrato in figura. Se il coefficiente di attrito cinetico tra il corpo di massa m_1 e la superficie è non trascurabile si determini l'accelerazione del sistema e la tensione della fune.

67. Una donna tira a velocità costante una slitta carica, di massa

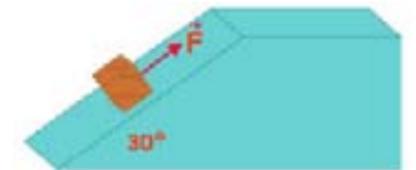
$m=75\text{Kg}$ su una superficie orizzontale. L'attrito fra i pattini e la neve è trascurabile e l'angolo rispetto all'orizzontale è di 42°



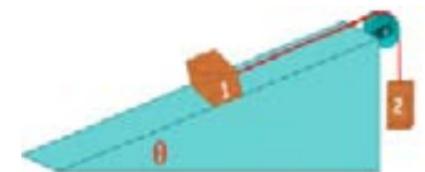
- A- Qual è la tensione T nella fune da traino?
- B- Qual è la forza normale con la quale la neve spinge la slitta verso l'alto?

68. Un blocco di massa $m = 60\text{Kg}$ scivola su un piano inclinato di un angolo di 37° sottoposto all'azione di una forza $F=500\text{N}$. Considerando trascurabile l'attrito, calcolare il modulo dell'accelerazione del blocco

- 69. La figura mostra un blocco di massa $M=10\text{Kg}$ su un piano inclinato senza attrito. Determinare l'intensità della forza necessaria affinché:
 A - si muova verso l'alto con velocità costante;
 B - si muova verso il basso con velocità costante;
 C - si muova verso l'alto con accelerazione pari a $a = 2\text{m/s}^2$
 D - si muova verso il basso con accelerazione pari a $a = 2\text{m/s}^2$

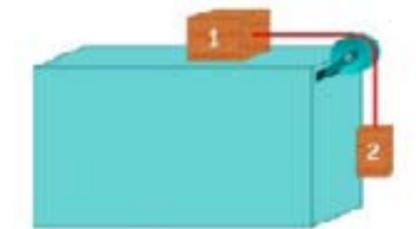


70. Si calcoli l'intensità dell'accelerazione del sistema in figura e la tensione della fune sapendo che non c'è attrito e che le masse valgono rispettivamente $m_1=30\text{Kg}$, $m_2=20\text{Kg}$ e l'angolo di inclinazione vale 30°



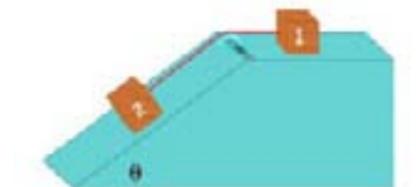
71. Un corpo di massa 16Kg si muove su una superficie orizzontale. Il coefficiente di attrito cinematico tra il blocco e la superficie è $0,25$ mentre il coefficiente di attrito statico è $0,30$.

- A- calcolare il modulo della forza orizzontale minima necessaria per porre in moto il blocco;
- B- qual è l'intensità della forza esercitata sul blocco quando si applica una forza orizzontale di 45N ?
- C- se una forza di intensità 80N agisce sul corpo nei primi 4 secondi e poi cessa la sua azione, qual è la lunghezza del tratto percorso dal corpo prima di fermarsi?



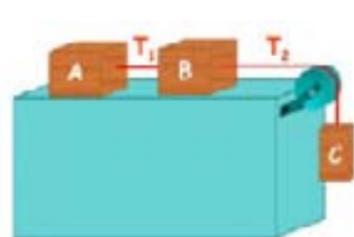
72. Due corpi di massa $m_1=10\text{Kg}$ ed $m_2=20\text{Kg}$ sono collegati tramite una fune che passa attraverso una carrucola senza attrito, come mostrato in figura. Se il coefficiente di attrito cinetico tra il corpo di massa e la superficie è $0,2$ si determini l'accelerazione del sistema e la tensione della fune.

73. Due blocchi sono disposti come in figura, uno su una superficie orizzontale e un altro su una superficie inclinata di un angolo di 30° e sono legati da una fune inestensibile. I coefficienti di attrito cinematico e dinamico tra le superfici e i blocchi sono $0,2$ e $0,3$ rispettivamente. Calcolare l'intensità della forza minima necessaria a muovere il blocco verso destra.

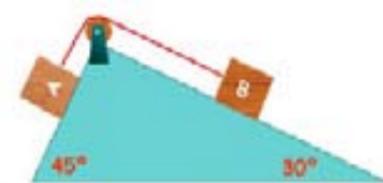


74. Un corpo scivola su un piano inclinato di un angolo di 4° rispetto all'orizzontale. Si determini:
 A – il valore del coefficiente di attrito necessario affinché il corpo cominci a scendere lungo il piano
 B – con quale accelerazione si muoverà il corpo lungo il piano se il coefficiente di attrito è pari a 0,03?
 C – che velocità acquisterà il corpo dopo aver percorso 100m?

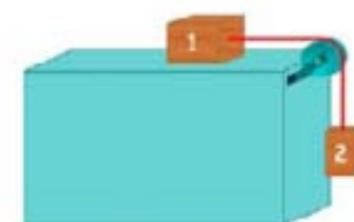
75. Si determini l'accelerazione a cui è sottoposto un corpo di massa $m=3\text{Kg}$ se su di essa si esercita una forza di intensità 12N e che forma un angolo di 37° rispetto alla direzione orizzontale, essendo il coefficiente di attrito cinematico tra il corpo e il piano pari a 0,3.



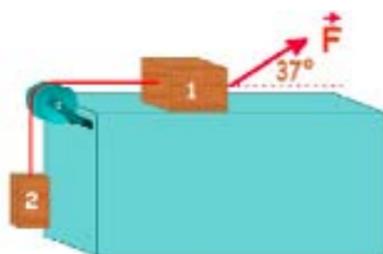
76. I blocchi A, B e C disposti in figura sono collegati mediante due funi in estensibili e prive di massa. Sia $\mu_s=0,2$ il coefficiente di attrito statico per entrambe le superfici. Siano $m_B=5\text{Kg}$ e $m_C=10\text{Kg}$. Si calcoli:
 A – il minimo valore di m_A affinché il sistema sia in equilibrio;
 B – le tensioni delle funi nel caso descritto nella lettera A;
 C – se si taglia la corda 1, il sistema acquista una accelerazione pari a $6,02\text{m/s}^2$. In questo caso si determini il valore del coefficiente attrito dinamico.



77. Al vertice di due piani inclinati si trova una puleggia di massa trascurabile; i due piani inclinati formano due angoli con l'orizzontale rispettivamente $\alpha=30^\circ$ e $\beta=45^\circ$. I corpi A e B, come mostrato in figura, sono uniti da un filo che passa per la puleggia ed hanno la stessa massa di 1Kg. Si calcoli l'intensità dell'accelerazione dei corpi e la tensione della fune
 A – se non c'è attrito
 B – se il coefficiente di attrito cinematico tra i corpi e il piano vale 0,1



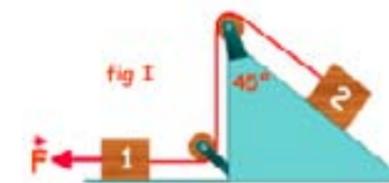
78. La figura mostra due blocchi di massa rispettivamente $m_1=2\text{Kg}$ e $m_2=3\text{Kg}$ collegati tra di loro mediante una fune che passa attraverso una puleggia priva di massa e attrito. Se scivola senza attrito si determini:
 A – l'intensità dell'accelerazione del sistema
 B – l'intensità della tensione della fune
 C – la massa del corpo 2 affinché il sistema si muova con accelerazione uguale alla metà di quella precedente.



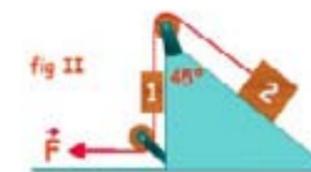
79. La figura mostra due blocchi di massa $m_1=3\text{Kg}$ e $m_2=2\text{Kg}$ collegati tramite una corda di massa trascurabile e in estensibile che passa per una puleggia anch'essa di massa trascurabile. Sul blocco 1 si applica una forza che forma un angolo di 37° rispetto all'orizzontale. Tra il piano e il blocco c'è un attrito tale che il coefficiente di attrito cinematico è 0,1. Si determini l'intensità della forza necessaria affinché il sistema si muova con velocità costante

80. Un passeggero all'aeroporto trasporta la sua valigia del peso di 20Kg a velocità costante agendo su una cinghia che forma un certo angolo rispetto alla direzione dello spostamento. Se il passeggero esercita una forza di 35N mentre la forza di attrito tra valigia e pavimento è di 20N, che angolo forma la cinghia con l'orizzontale? che tipo di forza perpendicolare al suolo esercita la valigia?

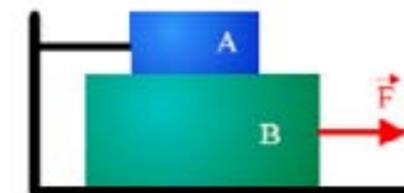
81. Nelle figure I e II i blocchi scivolano senza attrito, essendo $m_1=6\text{Kg}$, $m_2=8\text{Kg}$, $F=14\text{N}$. Le due pulegge e le corde hanno massa trascurabile. Si determini su ciascun blocco di entrambi i casi riportati in figura:
 A – il modulo e la direzione dell'accelerazione.
 B – il modulo della tensione della corda.



82. Quanto deve valere il coefficiente di attrito statico affinché un corpo di massa $m=10\text{Kg}$ stia in equilibrio su un piano inclinato alto 1m e lungo 4m?

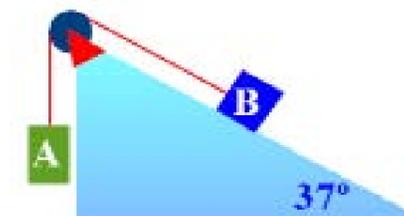


83. Una cassa di massa $m=100\text{Kg}$ è trascinata lungo un piano che ha inclinazione di 30° rispetto al piano orizzontale alla velocità costante di 0,5m/s da una forza di 800N. Calcola il coefficiente di attrito dinamico tra la cassa e il piano inclinato



84. Due blocchi A e B si trovano disposti come indicato in figura. Su B agisce una forza di 45N verso destra. Se le masse dei due blocchi valgono rispettivamente ed , il coefficiente di attrito cinetico tra i due blocchi è 0,2 mentre tra B e il piano di scorrimento non c'è attrito, si disegni il diagramma delle forze e si determini il valore della tensione della corda e dell'accelerazione di ciascun blocco.

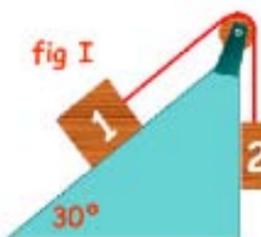
85. Si calcoli il modulo dell'accelerazione del sistema indicato in figura e la tensione della corda sapendo che , e il coefficiente di attrito cinetico tra il piano inclinato e il blocco è . Si disegni il diagramma di corpo libero delle forze agenti relative ai due blocchi



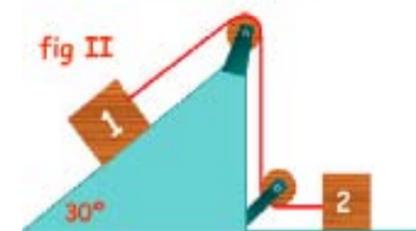
86. Una macchina di Atwood ha due masse rispettivamente di 2Kg e 7Kg. L'oggetto di massa 2Kg viene rilasciato con una rapida spinta che lo mette in moto con una velocità di 2,4 m/s verso il basso. Di quanto scenderà la massa di 2Kg rispetto al suo livello iniziale? Si calcoli, inoltre, la velocità di tale massa dopo 1,8 secondi.

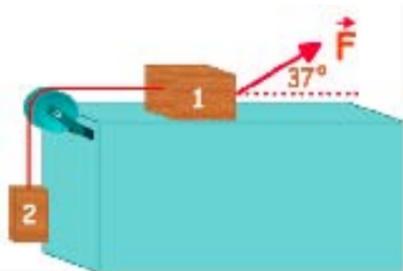
87. Se un blocco è posto su una superficie scabra inclinata di un certo angolo, qual è il valore minimo che deve avere tale angolo affinché il blocco inizi a muoversi posto che il coefficiente di attrito tra il blocco e la superficie sia di 0,1?

88. Nei sistemi indicati nelle figure sotto riportate l'accelerazione è $a=4\text{m/s}^2$ e la sua direzione è verso il basso del piano inclinato. Le pulegge e le corde hanno massa trascurabile e non c'è attrito. Se $m_2=2\text{Kg}$ si determini in ciascun caso:



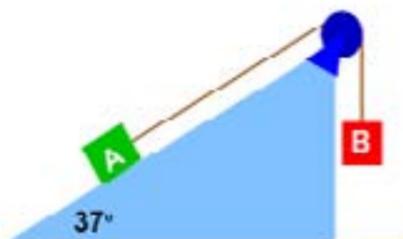
A – il valore della massa del blocco 1
 B – l'intensità della tensione della corda
 C – il valore della massa del blocco 1 se il sistema si muove nel verso opposto a quello considerato in precedenza con la stessa accelerazione in modulo.





89. La figura mostra due blocchi di massa $m_1=3\text{Kg}$ ed $m_2=2\text{Kg}$ rispettivamente ed legati tramite una corda in estensibile e di massa trascurabile. Sul blocco 1 agisce una forza F la cui direzione forma un angolo di 37° rispetto all'orizzontale e il coefficiente di attrito cinetico tra blocco e piano è $0,1$

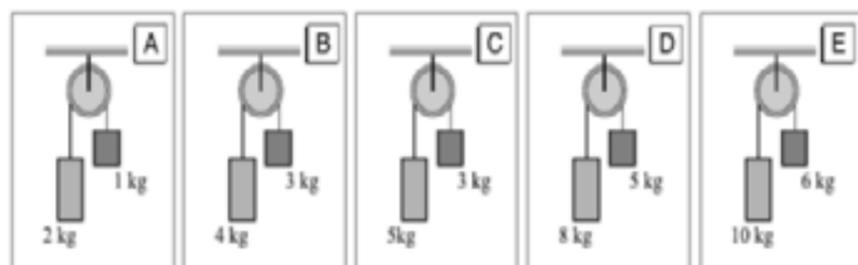
- si disegni il diagramma di corpo libero per ciascun blocco
- si determini il modulo della forza necessaria affinché il blocco 1 si muova verso destra con accelerazione di 2m/s^2



90. Due blocchi A e B sono collegati mediante una corda in estensibile e di massa trascurabile e posti come indicato in figura. Il blocco A si trova su un piano inclinato di un angolo di 37° e che presenta un coefficiente di attrito cinetico pari a $0,1$ e un coefficiente di attrito statico pari a $0,2$. Il blocco B ha una massa di 6Kg . Si calcoli:

- la massa del blocco A
- il modulo dell'accelerazione dei blocchi A e B se la massa di A fosse 15Kg

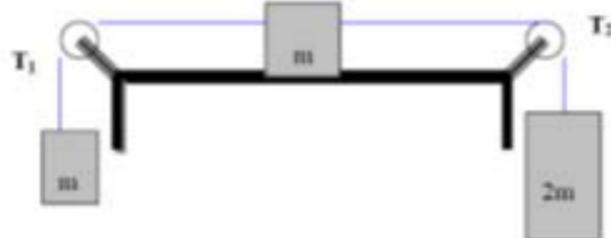
91. (dalle Olimpiadi della Fisica 2005)
Ciascuna delle figure qui sotto rappresenta due blocchi connessi da un filo inestensibile e di massa trascurabile che passa in una carrucola, anch'essa di massa trascurabile, che può ruotare senza attrito. In quale caso il modulo dell'accelerazione dei due blocchi sarà maggiore?



92. (dalle Olimpiadi della Fisica 2005)

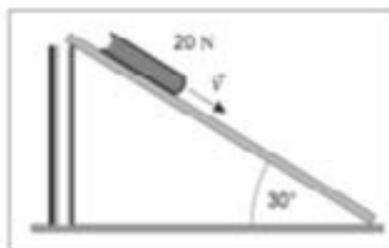
Le funi e le pulegge della figura sono prive di massa e non c'è attrito. Si trovi la tensione delle funi e l'accelerazione del sistema. Si ripeta poi l'esercizio nel caso in cui il coefficiente di attrito cinetico tra il blocco e la superficie valga $0,1$.

(caso a) $T_1 = 5/4 mg$, $T_2 = 3/2 mg$



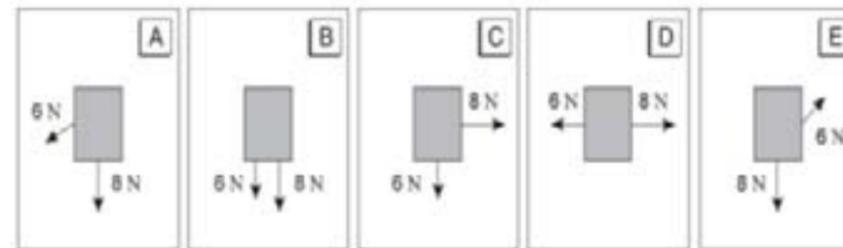
93. (dalle Olimpiadi della Fisica 2006)

Un libro che pesa 20N scivola a velocità costante lungo una rampa inclinata di un angolo di 30° con il piano orizzontale, come mostrato in figura. Quanto vale la forza di attrito tra il libro e il piano della rampa?



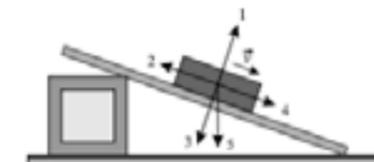
94. (dalle Olimpiadi della Fisica 2006)

Due forze, la prima di 6N e la seconda di 8N , sono esercitate contemporaneamente su una scatola posta sopra un piano orizzontale senza attrito. Quale delle seguenti immagini - viste dall'alto - mostra la situazione nella quale le forze producono la più piccola accelerazione della scatola?



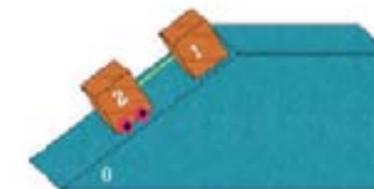
95. (dalle Olimpiadi della Fisica 2005)

La figura seguente mostra una scatola che sta scendendo lungo un piano inclinato a velocità v . Tra quelle indicate in figura, quale sarà la direzione della forza di attrito che agisce sulla scatola?



96. Una cassa ha massa $m_1=2\text{Kg}$ e peso P si trova in condizioni di equilibrio su un piano inclinato scabro che forma un certo angolo rispetto all'orizzontale. Ad essa è collegata mediante una corda priva di massa si trova un blocco dotato di ruote di massa $m_2=4\text{Kg}$ e peso $2P$, così come illustrato in figura. Sapendo che il coefficiente di attrito statico tra la cassa e il piano è $0,1$, si determini:

- la tensione della corda
- la forza di attrito tra la cassa e il piano
- il valore minimo di P affinché il sistema sia in equilibrio



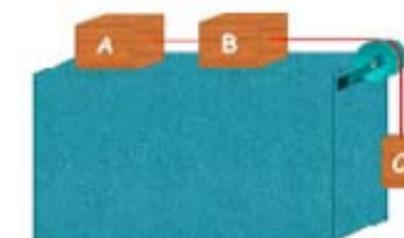
97. Due blocchi sono collegati mediante una corda di massa trascurabile così come indicato in figura. Se la puleggia è priva di attrito e di massa trascurabile e tra le superfici e i blocchi i coefficienti di attrito valgono rispettivamente $0,2$ e $0,3$. Determinare:

- qual è la minima forza da applicare al blocco 2 affinché si muova verso sinistra
- la tensione della corda in questo caso



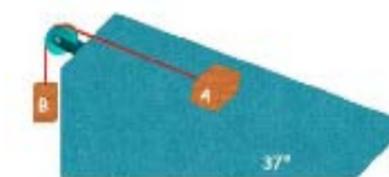
98. I blocchi A, B e C, come mostrato in figura sono collegati tramite corde inestensibili e prive di massa. Sapendo che il coefficiente di attrito statico è $0,2$ se $P_B=30\text{N}$ e $P_C=100\text{N}$, si determini:

- il valore minimo del peso di A affinché il sistema sia in equilibrio
- le tensioni delle corde



99. Un blocco di massa $m=25\text{Kg}$ è appoggiato su un piano inclinato di lunghezza 5m e altezza 3m . qual è la forza parallela al piano inclinato necessaria per tenere in equilibrio il blocco?

100. Nel sistema indicato in figura, il blocco A pesa 15N . Il coefficiente di attrito statico tra il blocco e il piano è $0,3$. Calcolare il peso massimo e il peso minimo che deve avere il blocco B affinché il sistema sia in equilibrio.



Test di autovalutazione

- Un certo oggetto si sta muovendo a velocità costante. Delle seguenti affermazioni tutte tranne una potrebbero risultare vere. Quale è sicuramente falsa?
 - Tre forze agiscono sull'oggetto simultaneamente.
 - Una sola forza agisce sull'oggetto.
 - Non ci sono forze che agiscono sull'oggetto.
 - Due forze agiscono sull'oggetto simultaneamente.
- Un certo oggetto si sta muovendo con accelerazione costante. Delle seguenti affermazioni tutte tranne una potrebbero risultare vere. Quale è sicuramente falsa?
 - Non ci sono forze che agiscono sull'oggetto.
 - Due forze agiscono sull'oggetto simultaneamente.
 - Tre forze agiscono sull'oggetto simultaneamente.
 - Una sola forza agisce sull'oggetto.
- Quale delle seguenti descrizioni rappresenta una violazione della prima legge del moto di Newton?
 - Un bicchiere di vetro è appoggiato su un tavolo della carrozza ristorante di un treno. Avvicinandosi a una stazione, il treno frena e il bicchiere scivola in avanti.
 - All'interno di un aeroplano, una piccola borsa è depositata nella parte anteriore di un vano per bagagli. Quando l'aereo inizia la corsa per il decollo la borsa scivola all'indietro, verso la parte posteriore del vano.
 - Un cuore di plastica pende da un filo agganciato allo specchio retrovisore di un'automobile. Alla partenza dell'auto (in avanti), il ciondolo si sposta verso il parabrezza anteriore.
 - Un bambino è seduto sul sedile posteriore di un'automobile senza indossare la cintura di sicurezza. Durante la marcia (in avanti), il conducente è costretto a eseguire una brusca frenata. Il bimbo vola in avanti e urta il lato posteriore del sedile davanti.
- Una tazza piena di caffè è appoggiata su un tavolo all'interno di un camper. La tazza scivola verso il retro del camper. Secondo la prima legge di Newton, quale o quali delle seguenti affermazioni descrivono adeguatamente il moto del camper?

Situazione A: il camper è fermo e il conducente improvvisamente accelera.
 Situazione B: il camper sta procedendo in avanti e il conducente improvvisamente accelera.
 Situazione C: il camper si sta muovendo all'indietro e il conducente improvvisamente spinge il freno.

 - Situazioni A e B.
 - Situazione B.
 - Situazione A.
 - Situazione C.
 - Situazioni A, B, e C.
- La massa e il peso di un oggetto sono:
 - grandezze direttamente proporzionali.
 - la stessa grandezza, espressa nella stessa unità di misura.
 - grandezze inversamente proporzionali.
 - la stessa grandezza, espressa in unità di misura diverse.
- Quale delle seguenti affermazioni è vera, secondo le leggi del moto di Newton? Trascura l'attrito.
 - Un camion si scontra con una parete in mattoni, la sfonda e l'attraversa. Il muro, che è crollato nell'ur-

to, è stato sottoposto a una forza più grande di quella sostenuta dal camion.

- Giulio (18 anni) e sua sorella Susanna (9 anni) stanno pattinando. I due si spingono reciprocamente e si allontanano in direzioni diverse. Giulio è quello che si allontana con l'accelerazione più grande.
 - Un veicolo SUV (sports utility vehicle) urta una motocicletta ferma a uno stop. Essendo ferma, la moto è sottoposta a una forza maggiore del SUV.
 - Secondo la terza legge, nessuna delle altre affermazioni è vera.
 - Durante una "passeggiata spaziale", due astronauti si lanciano reciprocamente e ripetutamente una palla. Durante i passaggi, la distanza tra gli astronauti rimane costante.
- Due pattinatori sul ghiaccio, Alessio e Mattia, impugnano i capi opposti di una corda. Ognuno tira il compagno verso di sé. Il modulo dell'accelerazione di Alessio è 1,25 volte il modulo dell'accelerazione di Mattia. Quanto vale il rapporto tra la massa di Alessio e quella di Mattia?
 - 0,80
 - 0,67
 - 0,50
 - 0,25
 - 1,25
 - Due blocchi identici di massa m scivolano senza attrito su un tavolo ad aria per esperimenti. I due blocchi sono accostati uno all'altro, con un lato a contatto. Sul primo blocco è applicata una forza esterna di 2,4 N. Quanto vale la forza F_{AB} che il blocco A esercita sul blocco B? E la forza F_{BA} che il blocco B esercita sul blocco A?
 - $F_{AB} = 2,4 \text{ N}$ e $F_{BA} = -2,4 \text{ N}$
 - $F_{AB} = 1,2 \text{ N}$ e $F_{BA} = -1,2 \text{ N}$
 - $F_{AB} = 2,4 \text{ N}$ e $F_{BA} = 0 \text{ N}$
 - $F_{AB} = -2,4 \text{ N}$ e $F_{BA} = 2,4 \text{ N}$
 - $F_{AB} = -1,2 \text{ N}$ e $F_{BA} = 1,2 \text{ N}$
 - Un ragazzo di massa 35 kg è fermo su una bilancia al livello del mare. Qual è l'intensità della sua forza peso?
 - 35 N
 - 343 N
 - 343 kg
 - 135 N
 - Un'automobile della massa di 1600 kg è stata bloccata da una nevicata improvvisa. Per estrarla dalla neve, viene trainata con un cavo che esercita una forza di 7560 N diretta verso nord. A loro volta, neve e fango applicano sulla vettura una forza di modulo 7340 N diretta a sud. Quanto vale l'accelerazione dell'auto?
 - 9,3 m/s², direzione sud.
 - 4,6 m/s², direzione sud.
 - 0,14 m/s², direzione nord.
 - I dati forniti non sono sufficienti per calcolare l'accelerazione dell'automobile.
 - 4,7 m/s², direzione nord.
 - Un mattone scivola su una superficie orizzontale. Quale dei seguenti fattori fa aumentare l'entità della forza di attrito su di esso?
 - Mettere un secondo mattone in cima
 - La riduzione della superficie di contatto
 - L'aumento della superficie di contatto

Dinamica

- D. Diminuendo la massa del mattone
E. Nessuna delle precedenti

12. Il coefficiente di attrito dinamico:

- A. è nella direzione della forza di attrito
B. è nella direzione della forza normale
C. corrisponde al rapporto tra la forza di attrito tra due corpi e la forza che li tiene in contatto
D. può essere espresso in newton
E. è nessuno dei precedenti

13. Una forza orizzontale di 12 N è usata per tirare una cassa di 240N a velocità costante su un piano orizzontale. Il coefficiente di attrito è:

- A. 0,5
B. 0,05
C. 2
D. 0,2
E. 2

14. Una cassa poggia su una superficie orizzontale e una donna esercita su di essa una forza di 10N. Indipendentemente dall'orientamento della forza, la cassa non si muove. Classificare le situazioni mostrate di seguito secondo la grandezza della forza di attrito dalla più piccola alla più grande

- A. 1, 2, 3
B. 2, 1, 3
C. 2, 3, 1
D. 1, 3, 2
E. 3, 2, 1

15. Una cassa del peso di 50 N poggia su una superficie orizzontale. Una persona esercita orizzontalmente su di essa una forza di 10 N e la cassa rimane ferma. Per metterlo in movimento, una seconda persona esercita verso l'alto una forza sulla cassa. Se il coefficiente di attrito statico è 0,4, qual è la più piccola forza verticale per i quali la cassa si muove?

- A. 4N
B. 10N
C. 14N
D. 25N
E. 35N

16. Per mettere in movimento una cassa di 800N inizialmente a riposo su un piano orizzontale è necessaria una forza di 200N. Il coefficiente di attrito statico è:

- A. 0,25
B. 0,125
C. 0,50
D. 4,00
E. nessuno di questi

17. Un'auto viaggia a 15m /s su una strada orizzontale. Esercitando una frenata, l'auto si ferma in 4,0s. Il coefficiente di attrito dinamico tra gli pneumatici e strada è:

- A. 0,38
B. 0,69
C. 0,76
D. 0,92

E. 1,11

18. Un ragazzo tira una scatola di legno lungo un piano orizzontale scabro a velocità costante, per mezzo di una forza P come mostrato. Nel diagramma di f è la grandezza della forza di attrito, N è la grandezza della forza normale e F_g è la grandezza della forza di gravità. Quale delle seguenti affermazioni è vera?

- A. $P = f$ and $N = F_g$
B. $P = f$ and $N > F_g$
C. $P > f$ and $N < F_g$
D. $P > f$ and $N = F_g$
E. nessuna delle precedenti

19. Un ragazzo tira una scatola di legno lungo un piano orizzontale scabro a velocità costante, per mezzo di una forza P come mostrato. Nel diagramma di f è la grandezza della forza di attrito, N è la grandezza della forza normale e F_g è la grandezza della forza di gravità. Quale delle seguenti affermazioni è vera?

- A. $P = f$ and $N = F_g$
B. $P = f$ and $N > F_g$
C. $P > f$ and $N < F_g$
D. $P > f$ and $N = F_g$
E. nessuna di queste

20. Un blocco di 400N è trascinato lungo un piano orizzontale da una forza applicata F come mostrato. Il coefficiente di attrito cinetico è $\mu_k = 0,4$ e il blocco si muove a velocità costante. Il modulo della forza è:

- A. 100N
B. 150N
C. 200N
D. 290N
E. 400 N

21. Un blocco di massa m è tirato a velocità costante lungo un piano orizzontale scabro da una forza T come mostrato. L'entità della forza di attrito è:

- A. $T \cos \theta$
B. $T \sin \theta$
C. zero
D. mg
E. $mg \cos \theta$

22. Un blocco di massa m viene tirato lungo un piano orizzontale scabro da una forza applicata T come mostrato. La componente verticale della forza esercitata sul blocco del piano è la seguente:

- A. mg
B. $mg - T \cos \theta$
C. $mg + T \cos \theta$
D. $mg - T \sin \theta$
E. $mg + T \sin \theta$

23. Una cassa di 12 kg poggia su una superficie orizzontale e un ragazzo esercita su di essa con una forza diretta di 30° al di sotto dell'orizzontale. Se il coefficiente di attrito statico è 0,40, minima forza necessaria per mettere in moto la cassa è

- A. 44N
- B. 47N
- C. 54N
- D. 56N
- E. 71N

24. Una cassa che poggia su un pavimento scabro orizzontale deve essere spostata in senso orizzontale. Il coefficiente di attrito statico è 0,40. In che direzione dovrebbe essere inclinata una forza (la minima possibile per mettere in moto l'oggetto)?

- A. orizzontale
- B. 24° di sotto dell'orizzontale
- C. 22° di sopra dell'orizzontale
- D. 24° di sopra dell'orizzontale
- E. 66° di sotto dell'orizzontale

25. Un forza di 50N viene applicata ad una cassa su un piano orizzontale scabro, facendola spostare orizzontalmente. Se il coefficiente di attrito dinamico è di 0,50, in quale direzione dovrebbe essere applicata la forza per ottenere la massima accelerazione?

- A. Orizzontale
- B. 60° di sopra dell'orizzontale
- C. 30° di sopra dell'orizzontale
- D. 27° di sopra dell'orizzontale
- E. 30° di sotto dell'orizzontale

26. Un blocco di legno pesante viene trascinato da una forza F lungo una piastra di acciaio grezzo, come illustrato di seguito per due situazioni possibili. La grandezza di F è la stessa per le due situazioni. La magnitudine della forza di attrito (ii), rispetto a quella in (i) è la seguente:

- A. lo stesso
- B. maggiore
- C. Meno
- D. meno per alcuni angoli e maggiore per gli altri
- E. può essere inferiore o superiore, a seconda della grandezza della forza applicata.

27. Un blocco viene messo su piano inclinato prima sul lato lungo e poi sul suo lato corto, come mostrato. Il blocco scivola giù sul suo lato corto, ma rimane a riposo sul lato lungo.

Una possibile spiegazione è la seguente:

- A. il lato corto è più liscio
- B. la forza di attrito è minore in quanto l'area di contatto è inferiore
- C. il centro di gravità è più alto nel secondo caso
- D. la forza normale è inferiore nel secondo caso
- E. la forza di gravità è più in basso del piano nel secondo caso

28. Un blocco è collocato su un piano di legno grezzo. Si è constatato che quando il piano è inclinato di 30° rispetto all'orizzontale, il blocco scivolerà giù a velocità costante. Il coefficiente di attrito cinetico del blocco con il piano è:

- A. 0.500
- B. 0.577
- C. 1.73
- D. 0.866
- E. 4.90

29. Una cassa scivola verso il basso su un piano inclinato di 35°. Se il coefficiente di attrito cinetico è 0,40, l'accelerazione della cassa è:

- A. 0
- B. 2.4m/s^2
- C. 5.8m/s^2
- D. 8.8m/s^2
- E. 10.3m/s^2

30. Il sistema illustrato rimane a riposo. Ogni blocco pesa 20 N. La forza di attrito sulla parte superiore blocco è:

- A. 4N
- B. 8N
- C. 12N
- D. 16N
- E. 20N

31. Il blocco A, con una massa di 50 kg, poggia su un tavolo orizzontale. Il coefficiente di attrito statico è 0,40. Una stringa orizzontale è collegata ad A e passa sopra una puleggia di massa nulla, senza attrito come mostrato. Un blocco B, più piccolo, è collegato all'altra estremità della corda e il sistema inizia a muoversi; la massa del blocco B è:

- A. 20 kg
- B. 30 kg
- C. 40 kg
- D. 50 kg
- E. 70 kg

32. Un Blocco A, con una massa di 10 kg, poggia su un piano inclinato di 35°. Il coefficiente di attrito statico è 0,40. Una stringa è collegato in parallelo alla pendenza e passa sopra una puleggia di massa nulla senza attrito. Quale massa bisogna mettere in B affinché il sistema inizi a muoversi?

- A. 2.5kg
- B. 3.5kg
- C. 5.9kg
- D. 9.0kg
- E. 10.5kg