



Dinamica

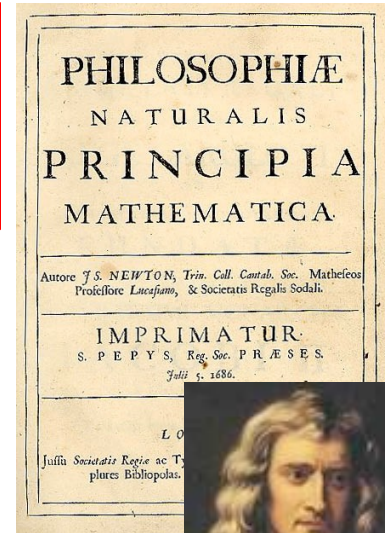
La Prima Legge della Dinamica

L'enunciato originale della prima legge di Newton (o *Principio di Inerzia*) è il seguente: *Ogni corpo persevera nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme fino a quando non agisca su di esso una forza risultante diversa da zero.*

Riferimenti inerziali



Riferimenti non inerziali

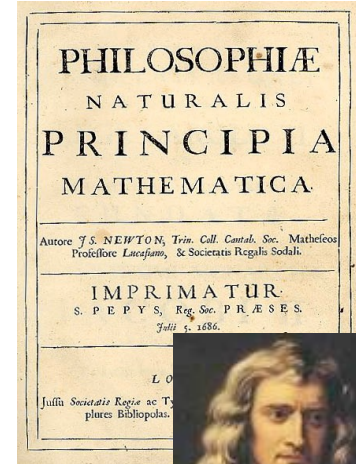


La Seconda Legge della Dinamica

La forza netta agente su un corpo è uguale al prodotto della sua massa m per l'accelerazione \vec{a} assunta dal corpo:

$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (1)$$

$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i$ è il **vettore risultante** dalla somma (sommatoria) di **tutte** le forze agenti sul corpo (forza netta)



Possiamo enunciare la seconda legge anche dicendo che:

L'accelerazione prodotta dall'azione di una forza netta diversa da zero applicata ad un dato corpo è sempre direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale alla massa del corpo.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{net}}{m}$$



La Terza Legge della Dinamica

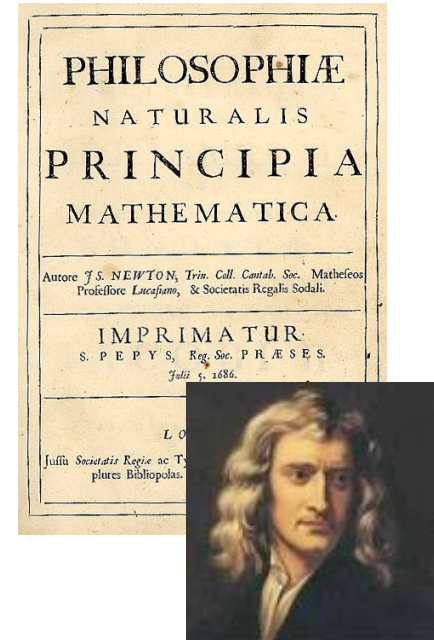
La *terza legge della dinamica* formulata da Newton, conosciuta anche come “*Principio di azione e reazione*”, afferma che: **Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria.**



Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana



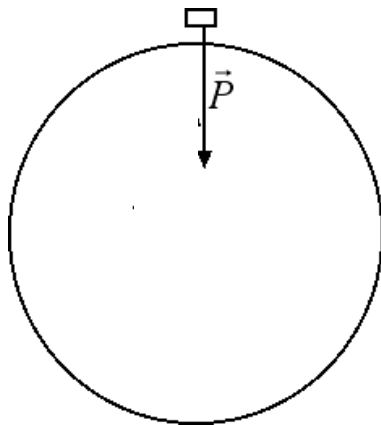
Fisica
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana



Importante: due o più forze possono essere sommate vettorialmente tra loro solo ed esclusivamente se agiscono sullo stesso corpo.

La forza di Gravità e il Peso

Abbiamo già visto, con Galileo, che tutti gli oggetti lasciati cadere vicino alla superficie della Terra cadono con la stessa **accelerazione g** , se si trascura la resistenza dell'aria. Ora possiamo definitivamente confermare che tale accelerazione deriva da una forza, la **forza di gravità** o **forza gravitazionale** che, come mostreremo meglio più avanti, è la forza che la **Terra** esercita su tutti gli oggetti che si trovano su di essa e attorno ad essa.



Applicando la **seconda legge di Newton** ad un oggetto di massa **m** che cade per effetto della **gravità** avremo infatti:

$$\vec{F}_G = m\vec{g}$$

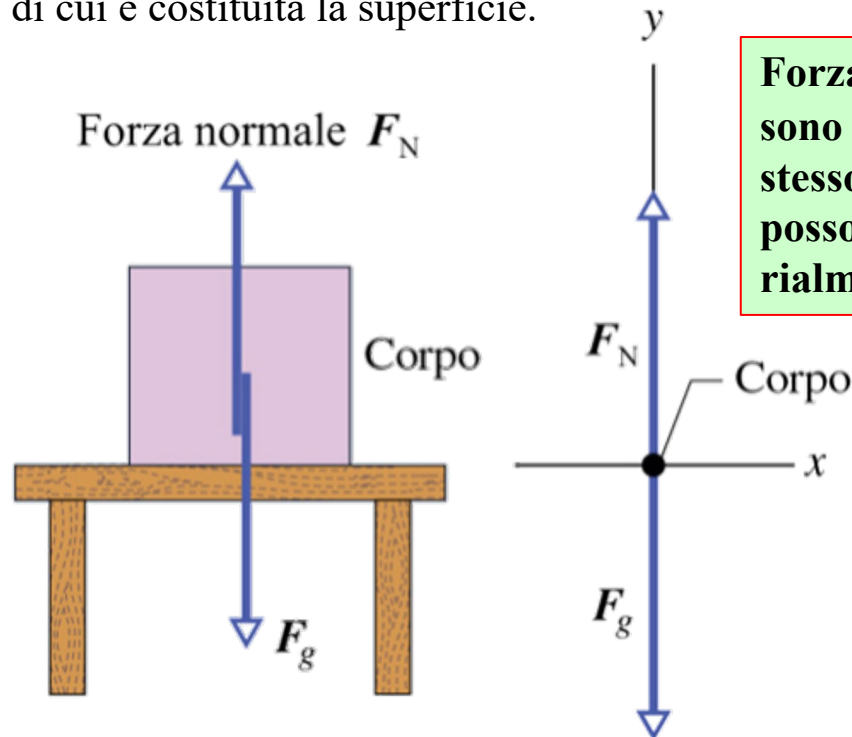
che è appunto l'espressione della forza di gravità, rappresentata da un vettore diretto dall'oggetto verso il centro della Terra. Il modulo di questa forza è quello che comunemente chiamiamo **peso** dell'oggetto, tant'è che la forza di gravità viene spesso chiamata **forza peso** e indicata con: $\vec{P} = m\vec{g}$

Nelle unità del Sistema Internazionale si ha $g = 9.80 \text{ m/s}^2$, quindi il **peso** di un oggetto di massa 1.00 kg sulla superficie della **Terra** equivale a $1.00 \text{ kg} \times 9.80 \text{ m/s}^2 = 9.80 \text{ N}$, quindi circa 10 N ; viceversa, **un oggetto che pesa 1.00 N avrà una massa di circa $0.1 \text{ kg} = 100 \text{ g}$** . Sulla **Luna**, dove l'accelerazione di gravità è un sesto di quella della Terra, la forza peso che agisce su un oggetto di massa 1.00 kg sarà invece pari a soli 1.70 N .

Forza di Gravità e Forza Normale

Ovviamente quando un oggetto è **fermo** in prossimità della superficie della Terra, come ad esempio una scatola poggiata su un tavolo, la forza di gravità non scompare: se dunque l'oggetto non si muove, per la seconda legge di Newton deve evidentemente esistere un'altra forza agente sull'oggetto, opposta alla forza peso, tale da **bilanciare** quest'ultima ed annullare così la forza risultante.

Questa forza è la cosiddetta **forza di contatto**, o **reazione vincolare**, esercitata sull'oggetto dalla superficie su cui è appoggiato e che, se l'oggetto è fermo, agisce sempre perpendicolarmente a tale superficie, per cui è anche chiamata **forza normale** \vec{F}_N . Essa è dovuta essenzialmente all'**elasticità** del materiale di cui è costituita la superficie.

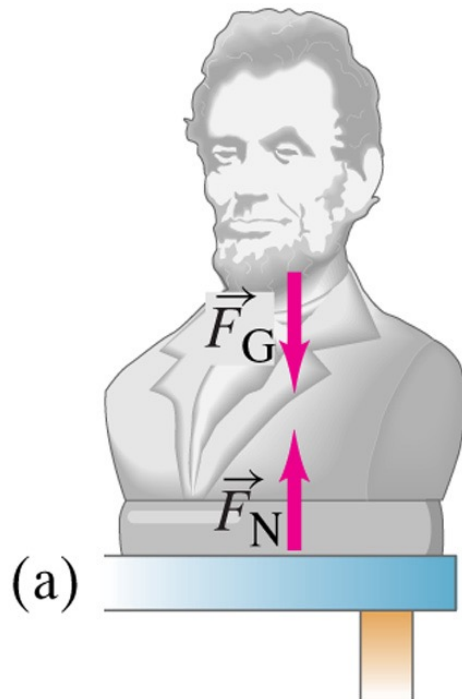


Forza peso e forza normale sono sempre applicate allo stesso oggetto, quindi si possono sommare vettorialmente e annullare.

Forza di Gravità e Forza Normale

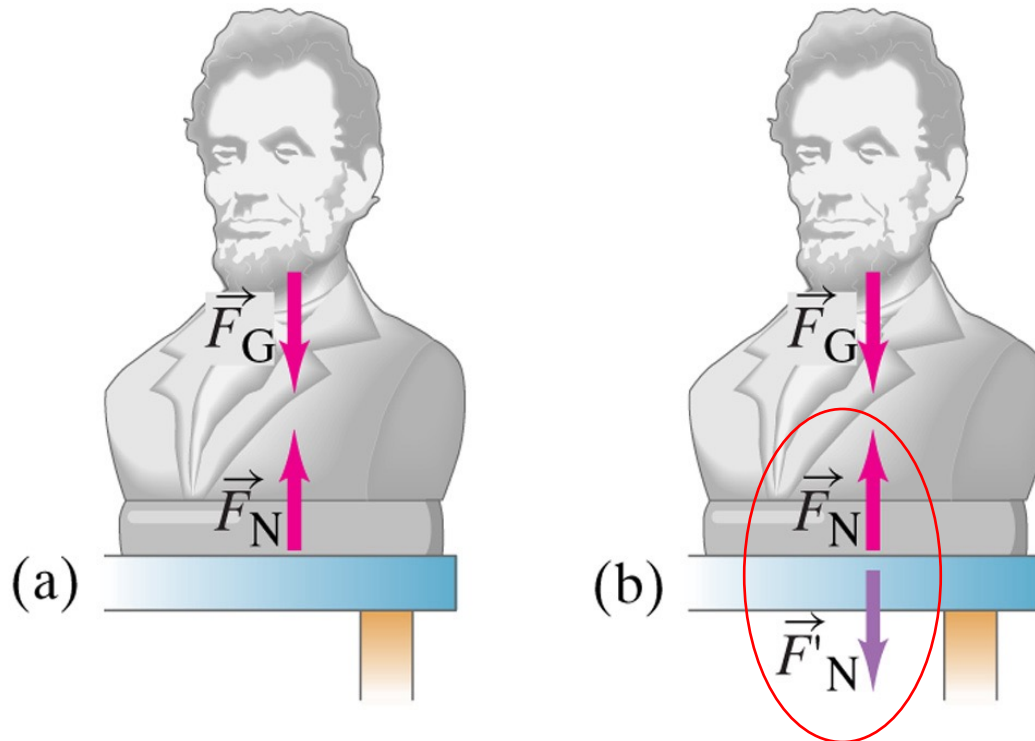
Poiché la forza di gravità e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi...

Sapreste dire quale è e dove è, in questo esempio, la forza di reazione, per il terzo principio, della forza normale?



Forza di Gravità e Forza Normale

Poiché la forza di gravità e la forza normale **agiscono entrambe sullo stesso oggetto**, esse evidentemente **NON** costituiscono una coppia di forze uguali ed opposte derivanti dal principio di azione-reazione, che agiscono invece sempre su oggetti diversi. Se consideriamo ad esempio una statua su un tavolo, vediamo infatti che la **forza normale** \vec{F}_N esercitata dal tavolo sulla statua produce una *forza di reazione* (\vec{F}'_N) esercitata dalla statua sul tavolo, in accordo alla terza legge di Newton. E' questa seconda forza, non la forza peso, che, se troppo elevata, può rompere il tavolo! Ma allora anche la **forza di gravità** \vec{F}_G deve avere una sua *forza di reazione*. In questo caso però è più difficile da individuare... voi ci riuscite?

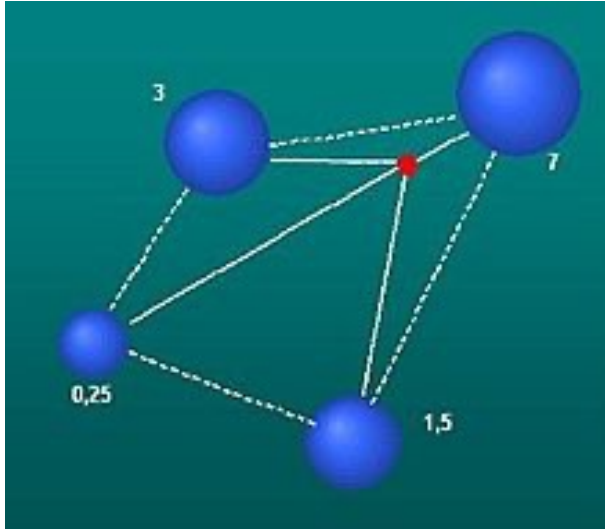


...si trova al centro della Terra!



Il Centro di Massa (Baricentro)

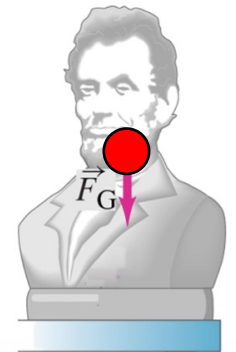
Abbiamo già detto che, di norma, se non diversamente specificato, **le forze agenti su un corpo rigido si intendono applicate nel suo centro di massa**. In fisica, il **centro di massa** o **baricentro** di un sistema è il punto geometrico corrispondente al **valor medio** della distribuzione della massa del sistema nello spazio. Il baricentro risulta quindi ben definito per un qualunque sistema di corpi massivi, indipendentemente dalle forze, interne o esterne, che agiscono sui corpi; in generale, la sua posizione **può non coincidere** con la posizione di alcuno dei punti materiali che costituiscono il sistema fisico. Nel caso particolare di un **corpo rigido**, il baricentro ha invece una posizione fissa rispetto al sistema, spesso coincidente col suo centro geometrico.



Centro di massa di un sistema di quattro sfere di massa diversa



Centro di massa della Terra



Centro di massa di un oggetto

Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

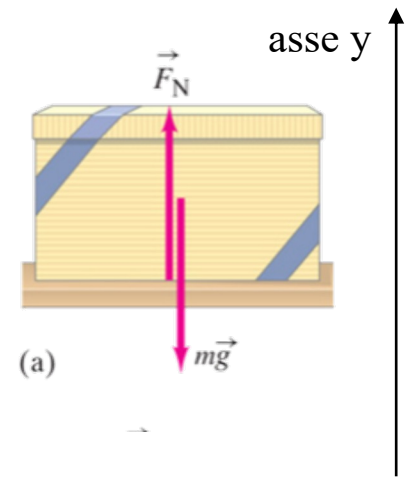
(a) **Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;**

(a) La scatola è ferma, quindi la forza risultante agente su di essa deve essere nulla per la seconda legge di Newton. Le uniche due forze agenti sulla scatola sono la **forza peso**, di intensità mg e diretta verso il basso, e la **forza normale** F_N esercitata dal tavolo e diretta verso l'alto (verso delle y positive).

Imponendo che la forza risultante debba essere nulla (problema di **statica**), possiamo quindi ricavare l'intensità della forza normale:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg = (10.0\text{kg})(9.80\text{m/s}^2) = 98.0\text{N}$$

che è appunto diretta verso l'alto e di modulo uguale al peso della scatola. Si noti che bisogna sempre ricordarsi di anteporre il segno meno alle componenti delle forze dirette nel verso opposto a quello positivo degli assi.



Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

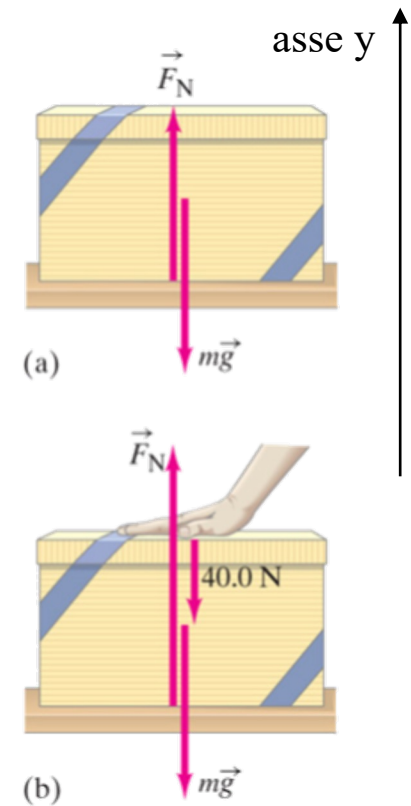
- (a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;
- (b) **Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno preme sulla scatola con una forza di 40.0N ;**

- (b) Se qualcuno preme sulla scatola, alla forza peso (sempre pari ad mg) e alla forza normale si aggiunge una **terza forza**, in questo caso di intensità 40.0N e diretta verso il basso (quindi a favore della forza peso). Poichè la scatola resta **ferma**, la forza risultante deve ancora essere nulla e dunque:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg - 40.0\text{N} = 0$$

$$\rightarrow F_N = mg + 40.0\text{N} = 98.0\text{N} + 40.0\text{N} = 138.0\text{N}$$

che è **maggiore** di quella trovata nel caso precedente. Questo significa che, evidentemente, il tavolo respinge la scatola con più forza quando una persona spinge sulla scatola verso il basso, e ci dice anche che **la forza normale non è sempre uguale al peso** (ad ulteriore prova che forza normale e forza peso non sono legate dal principio di azione-reazione)



Esercizio

E' Natale e vi hanno fatto dono di una **scatola** di massa $m=10.0\text{kg}$ contenente una misteriosa sorpresa. La scatola è ferma sulla superficie orizzontale di un tavolo.

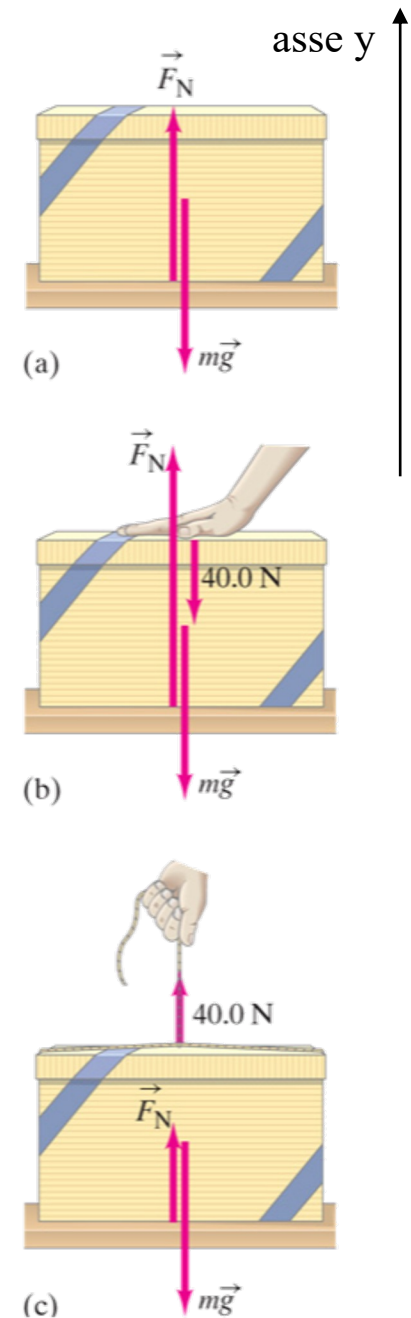
- (a) Determinare il peso della scatola e la forza normale esercitata su di essa dal tavolo;
- (b) Determinare la forza normale nel caso in cui qualcuno preme sulla scatola con una forza di 40.0N ;
- (c) **Determinare la forza normale se qualcuno tira invece verso l'alto la scatola con una forza di 40.0N .**

- (c) Se qualcuno tira invece la scatola verso l'alto con una forza di 40.0N , tale forza andrà stavolta a **contrastare** la forza peso (che è sempre pari ad mg), ma essendo ad essa inferiore in intensità la scatola resterà ancora una volta **ferma**. Per la seconda legge di Newton la forza risultante dovrà quindi ancora essere nulla e avremo:

$$\sum_i F_{yi} = F_N - mg + 40.0\text{N} = 0$$

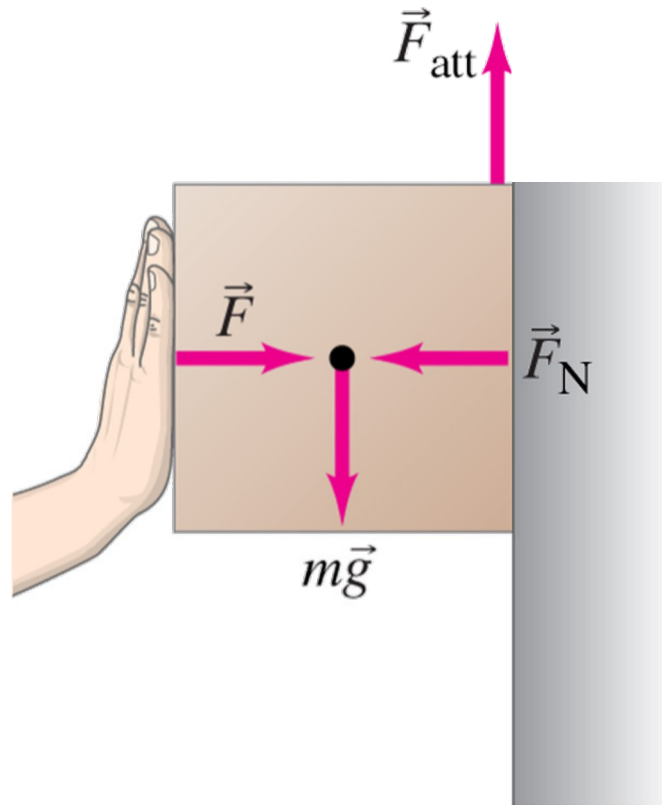
$$\rightarrow F_N = mg - 40.0\text{N} = 98.0\text{N} - 40.0\text{N} = 58.0\text{N}$$

Osserviamo dunque che il tavolo non esercita sulla scatola una forza normale pari al suo peso, e questo appunto a causa della trazione verso l'alto.



Quesito

Sappiamo che è possibile impedire ad una **scatola** di cadere verso il basso spingendola, ad esempio, contro un **muro**. Ci si potrebbe chiedere: come fa l'applicazione di una forza **orizzontale** a impedire ad un oggetto di muoversi **verticalmente**?

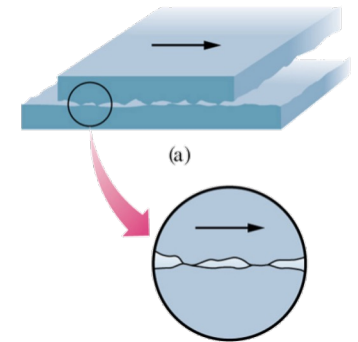


Fisica

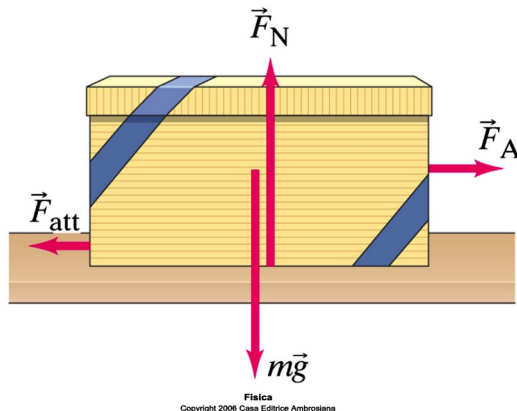
Copyright 2006 Casa Editrice Ambrosiana

L'Attrito Dinamico

Negli esempi riguardanti la forza normale abbiamo sempre supposto che le superfici di appoggio fossero «lisce». Ma nella realtà, a livello **microscopico**, su qualunque superficie sono sempre presenti delle rugosità o protuberanze che si oppongono al moto di oggetti che vengano fatti scivolare su di esse dando luogo a delle **forze di attrito**. In questo caso si parla di **attrito dinamico** o cinetico (che sarà **radente**, se il corpo scivola, **volvente** se il corpo ruota).



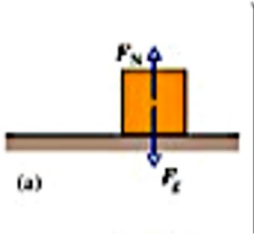
L'attrito dinamico è una forza che agisce sempre in direzione **opposta alla velocità** dell'oggetto in moto su di esso (ad esempio trascinato da una forza applicata \vec{F}_A) e la sua intensità dipende dalla natura delle superfici che scivolano le une sulle altre a causa del moto. Per molti tipi di superficie, gli esperimenti mostrano che la forza di attrito è in buona approssimazione **proporzionale alla forza normale** che la superficie esercita sull'oggetto e in certi casi (superfici dure) dipende poco dall'area della superficie totale di contatto.



Adottando queste approssimazioni, un semplice modello delle forze di attrito ci permette di scrivere la seguente **relazione sperimentale scalare** tra il modulo F_{att} della forza di attrito, che agisce parallelamente alla superficie di contatto, e il modulo F_N della forza normale, che agisce invece perpendicolarmente alla superficie di contatto: $F_{att} = \mu_k F_N$

Il termine μ_k è il cosiddetto **coefficiente di attrito dinamico** e il suo valore dipende dalla natura delle superfici in contatto.

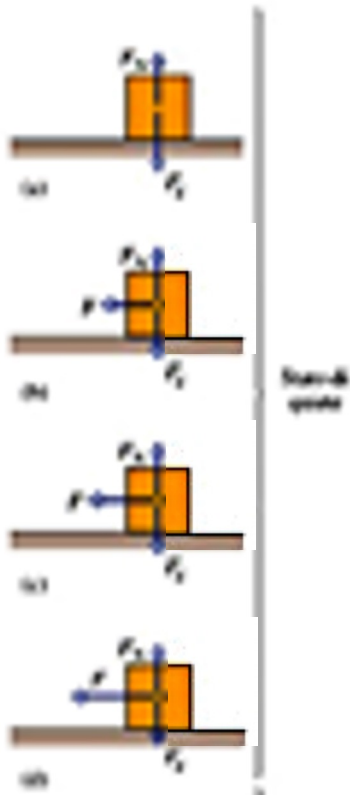
L'Attrito Statico: esperimento



Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.

L'Attrito Statico: esperimento

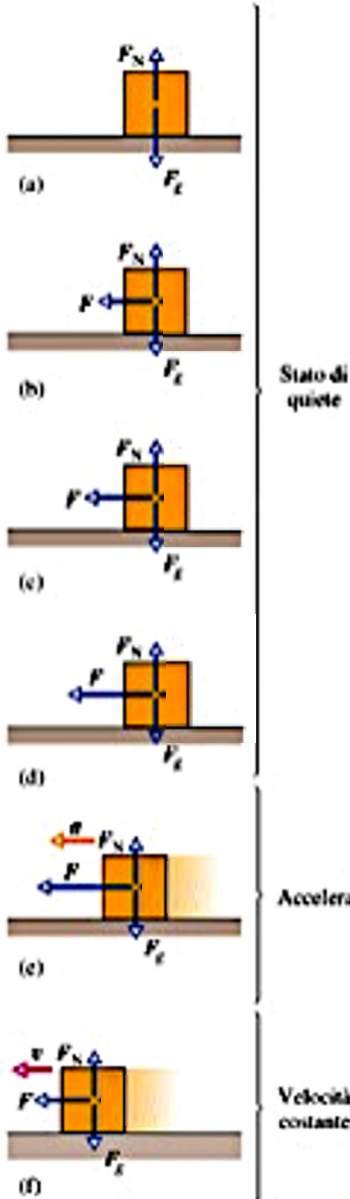
Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.



Se a questo punto cominciamo ad applicarle una **forza di intensità F** diretta verso **sinistra** (b), inizialmente piccola ma crescente, notiamo che la cassa non si muoverà (c,d) finché la forza applicata non supererà una certa **soglia critica**.

L'Attrito Statico: esperimento

Immaginiamo di avere una **cassa** appoggiata sul pavimento e in stato di **quiete** (a), soggetta dunque solo alla forza di gravità e a quella normale.

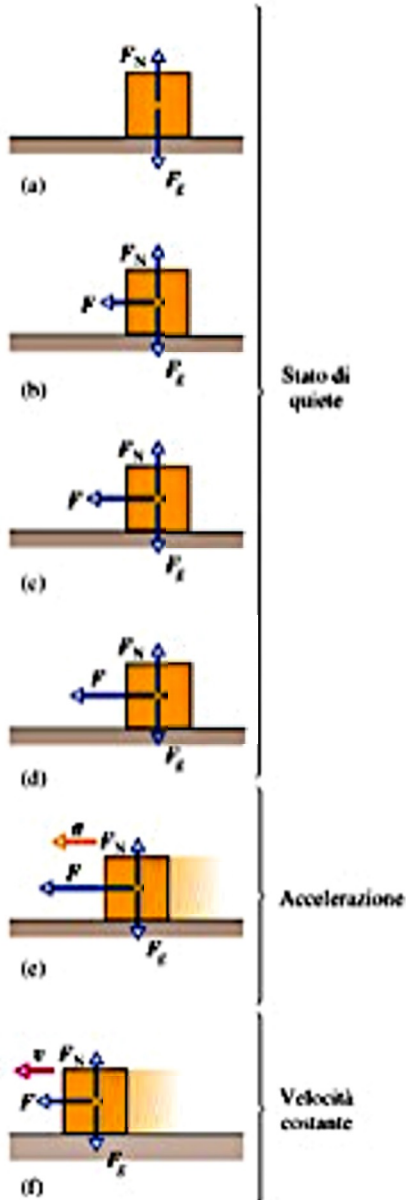


Se a questo punto cominciamo ad applicarle una **forza di intensità F** diretta verso **sinistra** (b), inizialmente piccola ma crescente, notiamo che la cassa non si muoverà (c,d) finché la forza applicata non supererà una certa **soglia critica**.

Superata questa soglia (e) la cassa comincerà a muoversi **accelerando** e se vogliamo che essa proceda a **velocità costante** occorrerà diminuire l'intensità della forza applicata, assestandola su un valore finale minore di quello di soglia.

L'Attrito Statico: spiegazione

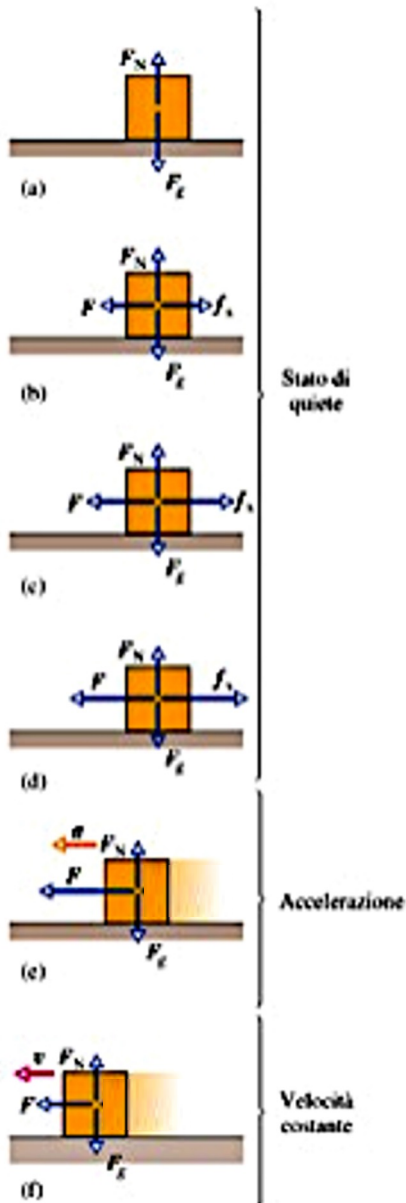
Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?



L'Attrito Statico: spiegazione

Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza F , bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa.



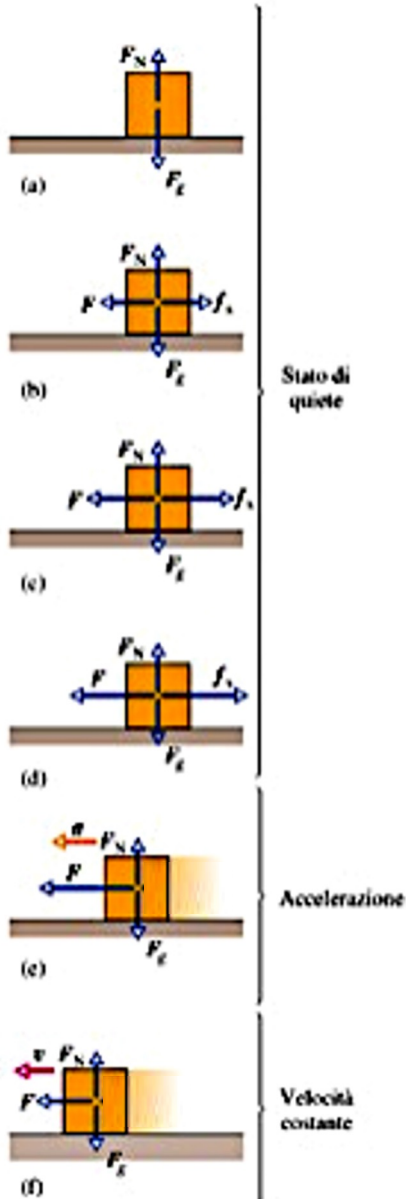
L'Attrito Statico: spiegazione

Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

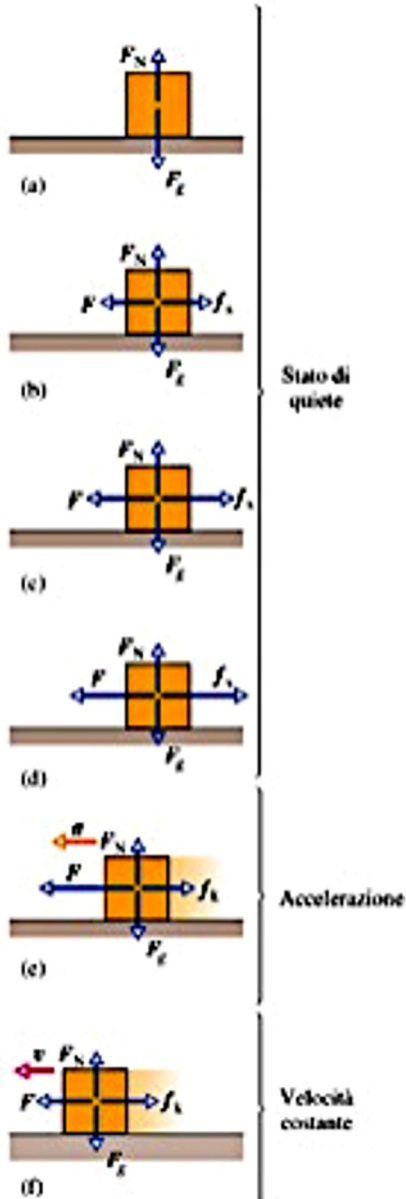
Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza F , bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa.

In effetti questo tipo di attrito esiste eccome e viene chiamato **attrito statico**: tale attrito cresce assieme alla forza applicata da (a) a (d) e il modulo del suo valore massimo, un istante prima che la cassa inizi ad accelerare (e), risulta ancora una volta essere proporzionale alla forza normale: $F_{att}(\max) = \mu_s F_N$

Il termine μ_s è il **coefficiente di attrito statico**, il cui valore dipende, come accadeva anche per l'attrito dinamico, dalla natura delle superfici in contatto.



L'Attrito Statico: spiegazione



Come spiegare questo comportamento in termini di forze d'attrito?

Per spiegare il comportamento della cassa dalla figura (a) alla (d), cioè mentre essa resta in quiete pur essendo sottoposta alla forza F , bisogna evidentemente supporre che esista **una forza di attrito distinta da quella di attrito dinamico** (legato esclusivamente al movimento) che si oppone al tentativo di spostare la cassa.

In effetti questo tipo di attrito esiste eccome e viene chiamato **attrito statico**: tale attrito cresce assieme alla forza applicata da (a) a (d) e il modulo del suo valore massimo, un istante prima che la cassa inizi ad accelerare (e), risulta ancora una volta essere proporzionale alla forza normale: $F_{att}(\max) = \mu_s F_N$

Il termine μ_s è il **coefficiente di attrito statico**, il cui valore dipende, come accadeva anche per l'attrito dinamico, dalla natura delle superfici in contatto.

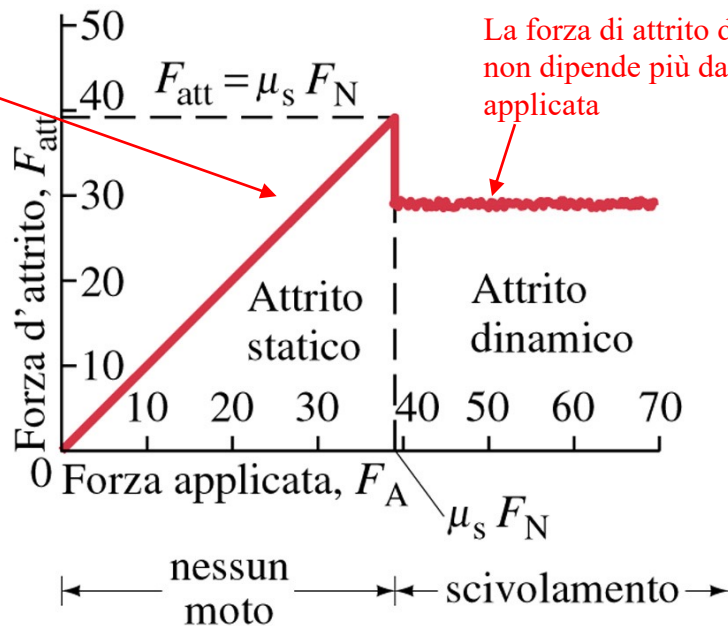
Una volta che la cassa è in movimento (e), l'attrito statico lascia il posto **all'attrito dinamico**, che abbiamo già descritto in precedenza, e quando la forza applicata verso sinistra uguaglia in modulo la forza di attrito dinamico (f), la cassa procederà a velocità costante (se il moto è anche rettilineo, si muoverà dunque per **inerzia**).

Attrito Statico e Dinamico

Poichè la forza di **attrito statico** può variare da zero al suo valore massimo, possiamo quindi scrivere:

$$F_{att} \leq \mu_s F_N$$

La forza di attrito statico cresce con la forza applicata



La forza di attrito dinamico non dipende più dalla forza applicata

Alcuni valori del coefficiente di attrito radente.^[1]

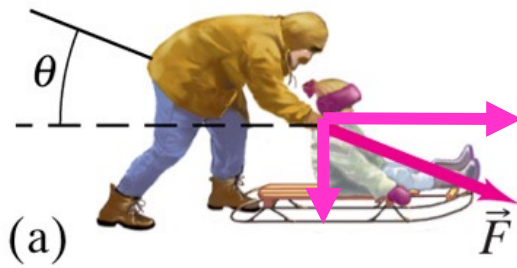
| Superfici | μ_{rs} (statico) | μ_{rd} (dinamico) |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Legno - legno | 0,50 | 0,30 |
| Acciaio - acciaio | 0,78 | 0,42 |
| Acciaio - acciaio lubrificato | 0,11 | 0,05 |
| Acciaio - alluminio | 0,61 | 0,47 |
| Acciaio - ottone | 0,51 | 0,44 |
| Acciaio - teflon | 0,04 | 0,04 |
| Acciaio - ghiaccio | 0,027 | 0,014 |
| Acciaio - aria | 0,001 | 0,001 |
| Acciaio - piombo | 0,90 | n.d. |
| Acciaio - ghisa | 0,40 | n.d. |
| Acciaio - grafite | 0,10 | n.d. |
| Acciaio - plexiglas | 0,80 | n.d. |
| Acciaio - polistirene | 0,50 | n.d. |
| Rame - acciaio | 1,05 | 0,29 |
| Rame - vetro | 0,68 | 0,53 |
| Gomma - asfalto (asciutto) | 1,0 | 0,8 |
| Gomma - asfalto (bagnato) | 0,7 | 0,6 |
| Vetro - vetro | 0,9 - 1,0 | 0,4 |
| Legno sciolinato - neve | 0,10 | 0,05 |

L'esperienza e il grafico qui sopra mostrano che il coefficiente di attrito statico μ_s è generalmente **maggiore** di quello di attrito dinamico μ_k , come si vede anche dalla **tabella** qui a fianco.

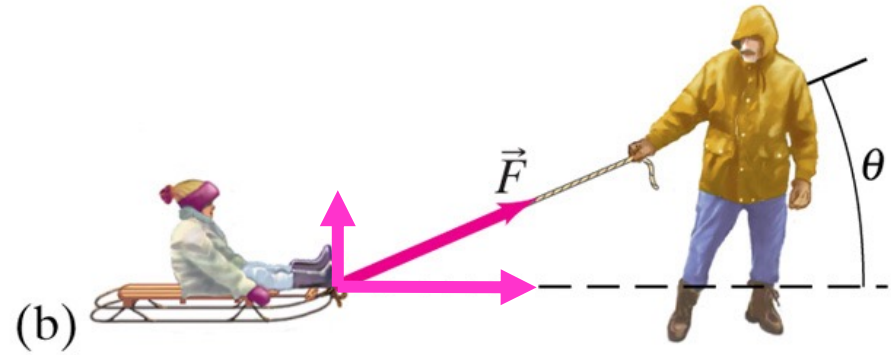
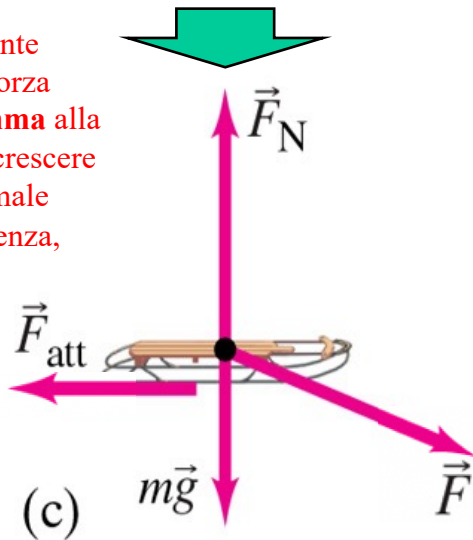
Le forze di attrito

Quesito

La vostra sorellina vuole andare sulla **slitta**. Supponendo di essere su un terreno piatto, vi servirà una forza minore per **spingere (a)** o per **tirare (b)** la slitta (assumendo in entrambi i casi lo stesso angolo di traino)?



Qui la componente verticale della forza applicata si **somma** alla forza peso e fa crescere sia la forza normale che, di conseguenza, quella di attrito



Qui la componente verticale della forza applicata si **sottrae** alla forza peso e fa diminuire sia la forza normale che, di conseguenza, quella di attrito

