

# Forze, leggi della dinamica, diagramma del corpo libero



# FORZE

- Grandezza fisica definibile come l' agente in grado di modificare lo stato di quiete o di moto di un corpo.
- Ci troviamo di fronte ad una forza ogni volta che spingiamo o tiriamo un oggetto. Diciamo inoltre che un oggetto cade a causa della forza di gravità.
- Ma cos' è in pratica una forza?
- Concettualmente la forza è una grandezza vettoriale, ha quindi una sua direzione, un verso e un modulo.
- Non sempre però una forza genera moto, per esempio possiamo spingere un scrivania pesante, senza che essa si muova.
- Qual è, allora, l'esatta relazione tra forza e moto?



# FORZE

La prima legge del moto di Newton stabilisce che:

**Ogni corpo rimane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme a meno che agisca su esso una forza risultante diversa da zero.**

La tendenza di un corpo a mantenere il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme è chiamata **inerzia**. Per questo la prima legge di Newton è spesso chiamata **legge di inerzia**.

Dalla seconda legge della dinamica:  $m \cdot \vec{a} = \vec{R} \equiv \sum \vec{F}_i$

Allora la forza è l'azione capace di accelerare un oggetto.



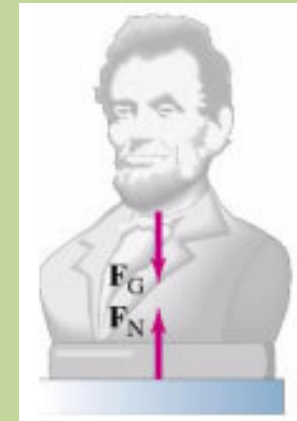
# FORZE

L' unità di misura SI della forza è chiamata **Newton** (N),  **$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m/s}^2$** .

Una particolare forza è la **forza di gravità** (dovuta alla gravitazione universale), dove l' accelerazione è quella di gravità  **$g$** .

$$\text{Forza di gravità} = \vec{F}_G = m\vec{g}$$

Si noti che per la terza legge della dinamica, se un oggetto fermo appoggia per esempio su un piano, la forza di gravità  **$F_g$**  agente sull' oggetto (rivolta verso il basso), deve essere bilanciata da una forza rivolta verso l' alto, esercitata dal piano d' appoggio.

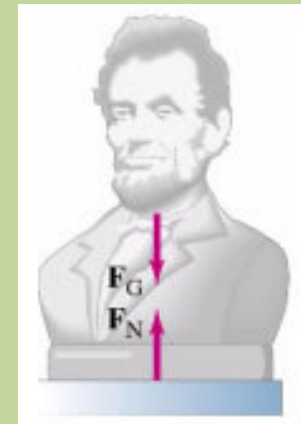




# FORZE

Questa forza è chiamata **forza normale** (*normale significa perpendicolare*), ed indicata con  **$F_n$** . Se il corpo è fermo la forza risultante agente sull' oggetto (in questo caso  **$F_n - F_g$** ) è zero.

Ricordando che la forza è una grandezza vettoriale, è facile intuire che la forza risultante è il vettore somma di tutte le forze agenti sull' oggetto. Diventa quindi molto importante quando si risolvono problemi che coinvolgono le leggi di Newton, **disegnare un diagramma** *che mostri tutte le forze che agiscono su ciascun oggetto*. Tale diagramma è chiamato **diagramma di corpo libero**.





# DINAMICA

Perché gli oggetti si muovono in un dato modo?

Cosa fa sì che un oggetto fermo inizi a muoversi?

Cosa causa l' accelerazione e la decelerazione di un corpo?

**La dinamica, ovvero quella parte della meccanica che studia la relazione tra il moto dei sistemi materiali e le cause che lo provocano, dà delle risposte a queste domande.**



# DINAMICA

Aristotele credeva che servisse una forza per mantenere in moto un oggetto lungo un piano orizzontale.

2000 anni dopo **Galileo** mise in discussione il punto di vista aristotelico affermando che ***per un oggetto era altrettanto naturale essere in moto orizzontale con velocità costante quanto essere fermo.***

Su queste fondamenta **Newton** edificò la sua grande teoria della dinamica, riassunta nelle sue "**tre leggi del moto**".



# DINAMICA

## **1° LEGGE**

**Ogni corpo rimane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme a meno che agisca su esso una forza risultante diversa da zero.**

Una forza su un oggetto può far aumentare la sua velocità, oppure se la forza risultante è in direzione opposta al moto, ne ridurrà la velocità. Poiché un cambiamento della velocità è un'accelerazione possiamo dire che una forza genera una accelerazione.

Qual è precisamente la relazione tra forza e accelerazione?





# DINAMICA

## 2° LEGGE

**L' accelerazione di un oggetto è direttamente proporzionale alla forza risultante che agisce su di esso ed è inversamente proporzionale alla sua massa.**

**La direzione e il verso dell' accelerazione sono le stesse della forza risultante che agisce sull' oggetto.**

$$m \cdot \vec{a} = \vec{R} \equiv \sum \vec{F}_i$$



# DINAMICA

## 3° LEGGE

**Ogni qual volta un oggetto esercita una forza su un secondo oggetto, il secondo esercita una forza uguale e opposta sul primo.**



$$\vec{F}_{GP} = -\vec{F}_{PG}$$



# Diagramma del Corpo Libero

Diventa molto importante quando si risolvono problemi di dinamica, che coinvolgono quindi le leggi di Newton, disegnare **un diagramma che mostri tutte le forze che agiscono su ciascun oggetto.**

Tale diagramma è chiamato **diagramma di corpo libero.**



# Diagramma del Corpo Libero

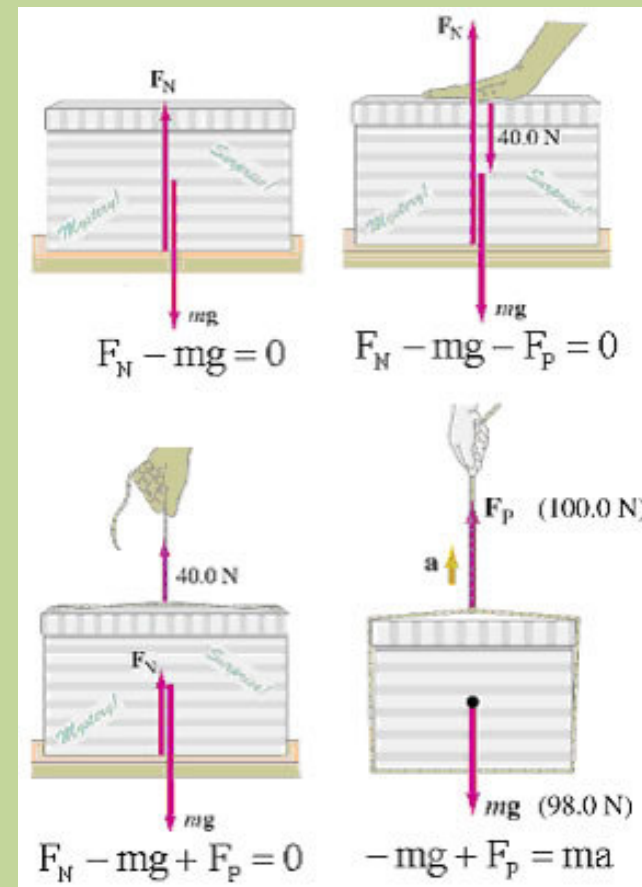
Per la seconda legge della dinamica si ha

$$\vec{F}_N + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{esterne}} = m\vec{a} = \vec{F}_{\text{risultante}}$$

Quindi analizziamo i diagrammi di corpo libero a lato ...

**È evidente che nei primi tre casi la risultante delle forze è nulla, in quanto il corpo è fermo, e quindi con accelerazione uguale a zero.**

**Diversa situazione si ha nel quarto caso dove si ha una accelerazione.**

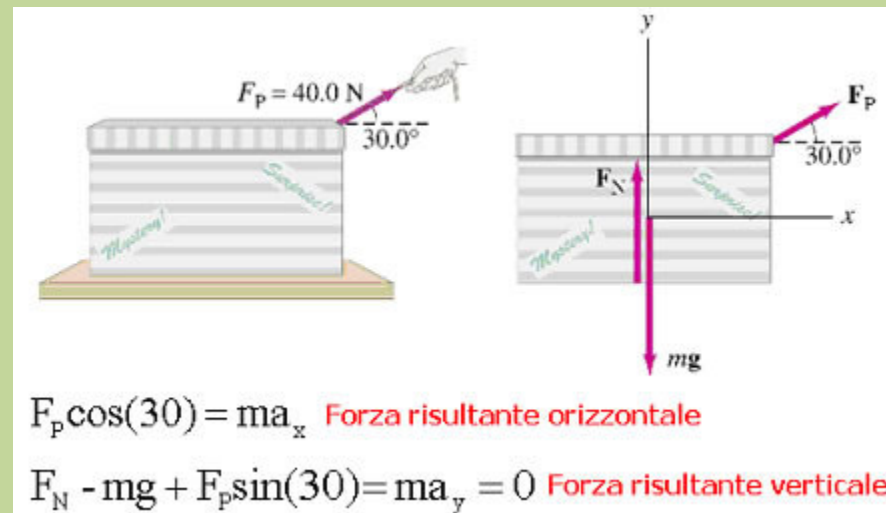




# Diagramma del Corpo Libero

Ci sono però casi più complicati, dove le forze agiscono con un certo **angolo** sugli oggetti.

In questo caso **le forze vanno scomposte nelle componenti verticali e orizzontali**.



La scatola rimarrà appoggiata sul tavolo, spostandosi però verso destra, in quanto **la forza risultante orizzontale è diversa da zero**.



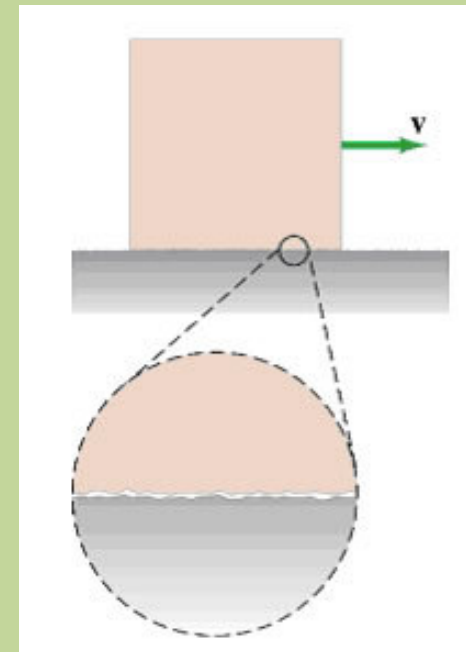
# Attrito

L' attrito tra due superfici solide esiste poiché anche la superficie che a prima vista può sembrare liscia è invece, su scala microscopica, **piuttosto rugosa**.

Quando proviamo a far scivolare un oggetto su un altro queste microscopiche protuberanze si oppongono al moto. Questo tipo di attrito viene chiamato "**attrito dinamico**".

Quando un corpo è in moto lungo una superficie rugosa, **la forza di attrito dinamico agisce in direzione opposta alla velocità del corpo**.

Il modulo della forza di attrito dinamico dipende dalla natura delle due superfici che scivolano l' una sull' altra.





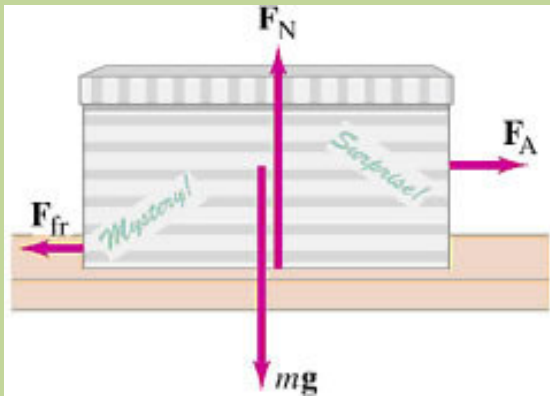
# Attrito

Esperimenti mostrano che la forza d' attrito è **proporzionale alla forza normale tra le due superfici.**

La forza d' attrito dinamico sarà:

$$\vec{F}_{fr} = \mu_k \cdot \vec{F}_N$$

con  $\mu_k$  *coefficiente di attrito dinamico* che varia in base ai materiali.



Esiste anche un **attrito statico**, che consiste ad una forza parallela alle due superfici, che può essere presente anche quando esse non stanno scivolando l' una sull' altra.

Questa è la **forza di attrito statico** o *attrito al distacco*:

con  $\mu_s$  *coefficiente di attrito statico* che varia in base ai materiali.

$$\vec{F}_{fr\_static} = \mu_s \cdot \vec{F}_N$$

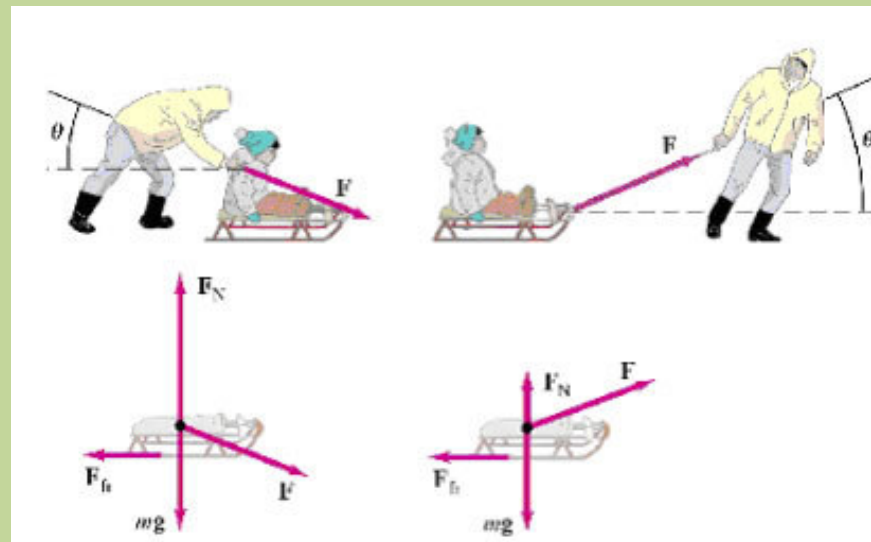


# Attrito

Si noti che è spesso **più facile mantenere** un oggetto pesante in movimento, che far sì che esso inizi a muoversi.

$$\vec{F}_{\text{ff}} \leq \mu_s \cdot \vec{F}_N$$

**Per esempio conviene spingere o tirare la slitta?**



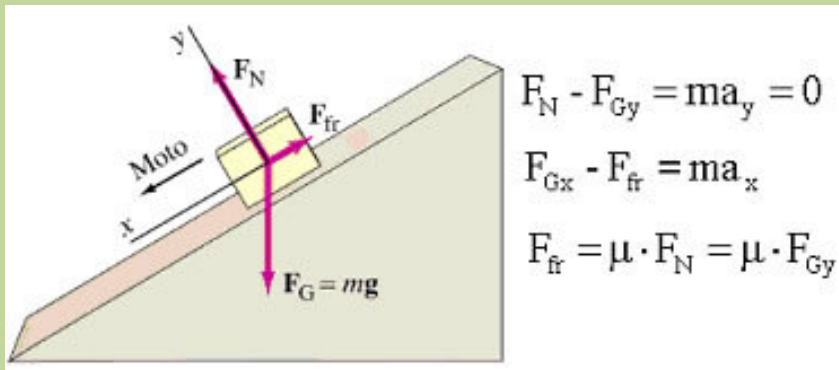
**Visto che la forza d' attrito è proporzionale alla  $F_N$  conviene sicuramente tirare la slitta.**



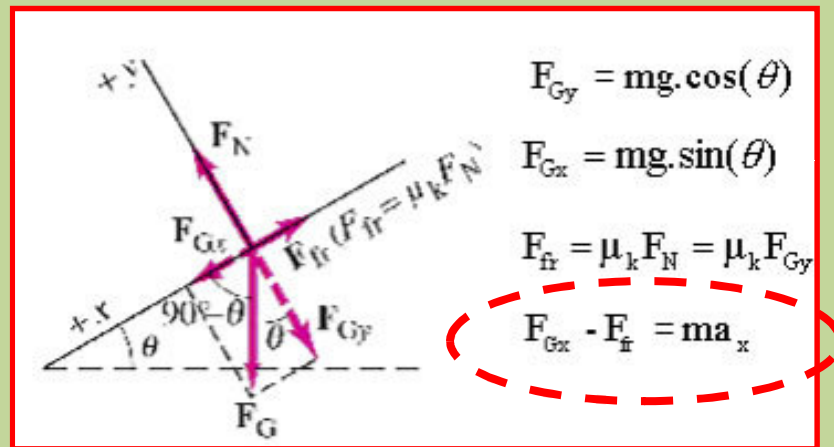


# Attrito e Piano inclinato

Vediamo un caso in cui un oggetto scivola lungo un piano inclinato:



**Ecco il diagramma del corpo libero**



**Ovviamente il corpo scivolerà solo se la componente  $F_{Gx}$  sarà maggiore della componente di attrito statico  $F_{fr}$ .**



# Consigli per la risoluzione dei problemi

- Individuare il punto o i punti materiali di cui si vuole studiare il moto
- Introdurre un sistema di riferimento inerziale
- Individuare tutte le forze agenti sul punto materiale o sui punti materiali
- Costruirsi il **diagramma del corpo libero**
- Scrivere la seconda legge in forma vettoriale
- Ottenere le due equazioni scalari corrispondenti  $(x,y)$ 
  - *Attenzione alla scelta delle direzioni su cui proiettare*



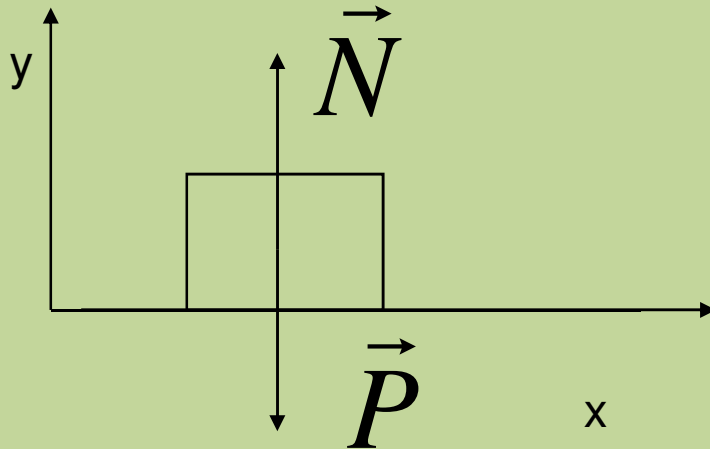
# Consigli per la risoluzione dei problemi

- Utilizzare tutte le ulteriori condizioni presenti nel problema
  - ✓ se due corpi sono connessi da una corda ideale, di lunghezza costante, è possibile scrivere delle relazioni tra i loro spostamenti e quindi tra le loro velocità e le loro accelerazioni.
  - ✓ Se un corpo è fermo ( $\mathbf{x}$  e  $\mathbf{y}$  costanti), tutte e due le componenti dell'accelerazione sono nulle.
  - ✓ Se la traiettoria percorsa è curva, cioè non rettilinea, allora la componente normale dell'accelerazione vale ( $v = \text{modulo della velocità}$ ,  $r = \text{raggio di curvatura della traiettoria}$ ):

$$a_n = \frac{v^2}{r}$$



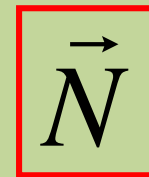
SE POGGIAMO UN CORPO DI MASSA  $m$  SU UN PIANO OSSERVIAMO CHE QUESTO RIMANE FERMO IN EQUILIBRIO



TUTTI I CORPI PRESENTI SULLA TERRA SONO SOGGETTI ALLA FORZA DI GRAVITA':

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

IL CORPO POGGIATO SU UN PIANO RESTA IN EQUILIBRIO PERCHE' IL PIANO ESERCITA SUL CORPO UNA FORZA UGUALE E CONTRARIA ALLA FORZA PESO (terzo principio della dinamica). IL PIANO GENERA UNA REAZIONE VINCOLARE PERCHE' IL MOTO SI DEVE SVOLGERE SOPRA IL PIANO CHE COSTITUISCE UN VINCOLO PER LE POSSIBILI TRAIETTORIE



$$\left. \begin{array}{l} \vec{F} \\ \text{e } y \end{array} \right\} \begin{array}{l} N_x = 0 \\ N_y = mg \end{array}$$

Scomponendo lungo x  
e y abbiamo

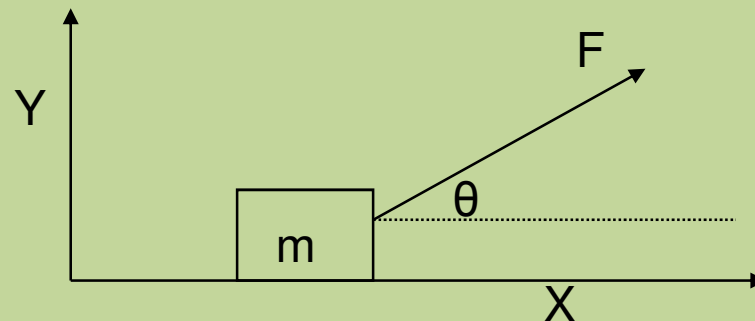


# Un problema in presenza di attrito

UN CORPO DI MASSA  $m$  E' POGGIATO SU UN PIANO SCABRO.

SUL CORPO VIENE APPLICATA UNA FORZA  $F$  CHE FORMA UN ANGOLO  $\theta$  CON IL PIANO.

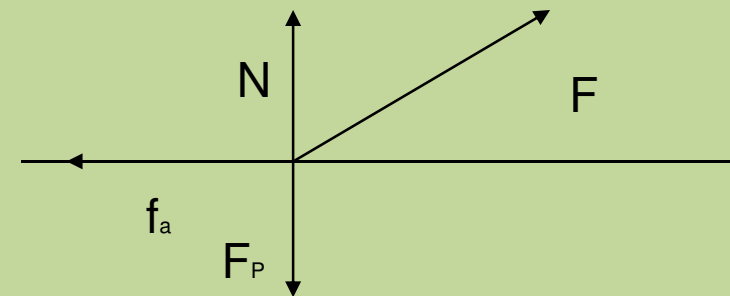
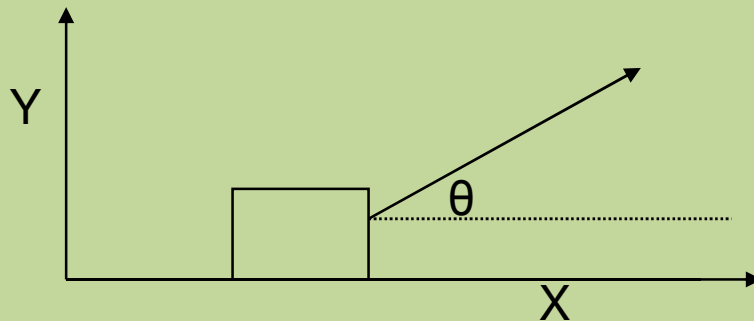
**COSA ACCADE AL CORPO AL VARIARE DELL'ANGOLO?**





# Un problema in presenza di attrito

PRIMA: SCEGLIERE IL SISTEMA DI RIFERIMENTO



TERZA: COSTRUIRE IL DIAGRAMMA DEL CORPO LIBERO  
 QUARTA: SCRIVERE LE SUE CONDIZIONI GENERALI DI EQUILIBRIO

$$\vec{F} + \vec{F}_p + \vec{N} + \vec{f}_a = m\vec{a} \quad \begin{cases} x: F \cos \theta - f_a = ma \\ y: F \sin \theta + N - mg = 0 \end{cases}$$



## Un problema in presenza di attrito

$$\begin{cases} x: F \cos \theta - \mu_d N - mg \sin \theta = ma \\ y: N = mg \cos \theta \end{cases}$$

**Si deduce che l'accelerazione, a forza  $F$  costante, dipende dall'angolo  $\theta$**

$0 < \theta < \arctg \mu \Rightarrow a : \text{cresce}$

$\arctg \mu < \theta < \frac{\pi}{2} \Rightarrow a : \text{decresce}$

**l'accelerazione è massima**

$$\theta = \arctg \mu$$

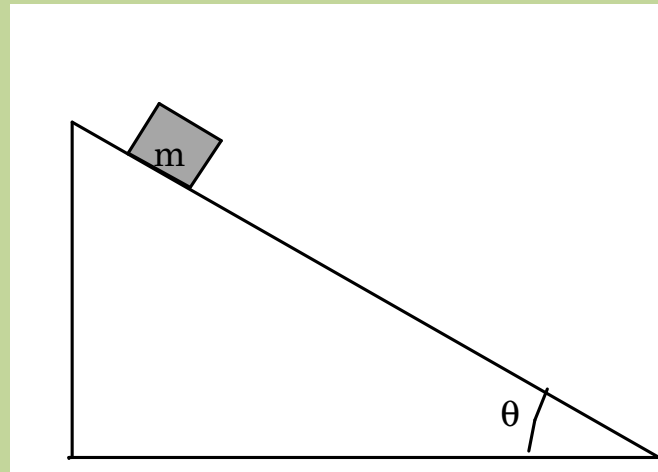


# Un problema con il piano inclinato

Si consideri un corpo di massa  **$m=1\text{kg}$**  appoggiato su un piano inclinato rispetto al piano orizzontale con inclinazione variabile con continuità da zero a  $90^\circ$ . Sperimentalmente si osserva che quando l'angolo raggiunge il valore  $\theta=30^\circ$  il corpo inizia a muoversi.

Se, una volta che il corpo di massa  $m$  si è messo in moto, si mantiene costante l'angolo al valore  $\theta=30^\circ$ , si osserva che il corpo si muove di moto rettilineo uniformemente accelerato.

Se  $\mu=0.2$  è il coefficiente di attrito dinamico, si determini il valore della accelerazione.







# Un problema con il piano inclinato

Scegliamo un opportuno sistema di riferimento.  
Determiniamo le forze agenti:

- La forza peso
- La reazione vincolare esercitata dal piano inclinato
  - **Componente Normale**
  - Forza di attrito

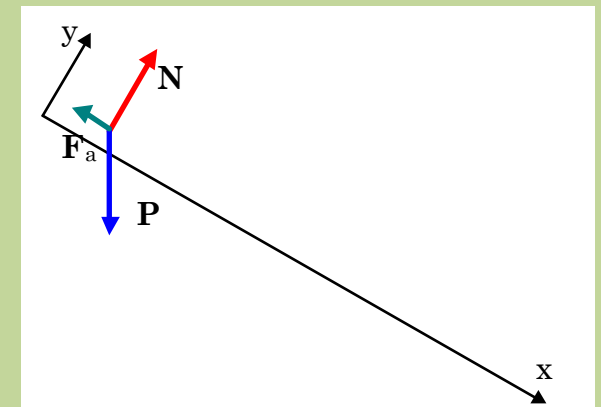
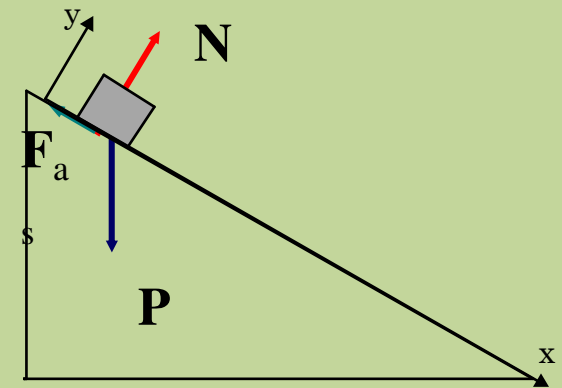
Possiamo anche predire la direzione e il verso della forza di attrito:

- È opposta alla componente della forza peso parallela al piano

Costruiamo il diagramma del corpo libero

Scriviamo la seconda legge di Newton

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_a = m\vec{a}$$





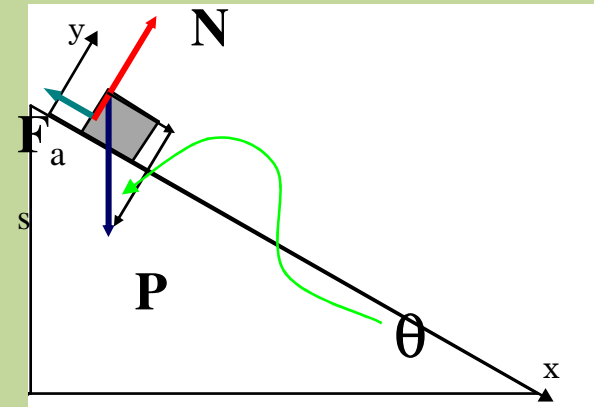
# Un problema con il piano inclinato

Dalla seconda legge di Newton  $\vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_{as} = m\vec{a}$

Troviamo le equazioni scalari proiettando sugli assi coordinati.

$$x \quad mgsen\theta - F_a = ma_x$$

$$y \quad N - mg \cos \theta = ma_y$$



Ovviamente sarà **nulla** l'accelerazione lungo l'asse **y**, quindi

$$N = mg \cos \theta \quad \text{e} \quad F_a = \mu N = \mu mg \cos \theta$$

e sostituendo si ha  $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma_x$  da cui

$$a_x = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) = 9.8(\sin 30^\circ - 0.2 \cos 30^\circ) \cong 3.2 \frac{m}{\text{sec}^2}$$