FISICA GENERALE I

Dott.ssa Annalisa Allocca

Università degli Studi di Napoli,
Compl. Univ. Monte S.Angelo – Dipartimento di Fisica
Via Cinthia, I-80126, Napoli

Istituto Nazionale di Fisica Nucleare,
sez. Napoli
Studio: 1G16, Edificio 6
+39-081-676345
annalisa.allocca@unina.it

Organizzazione

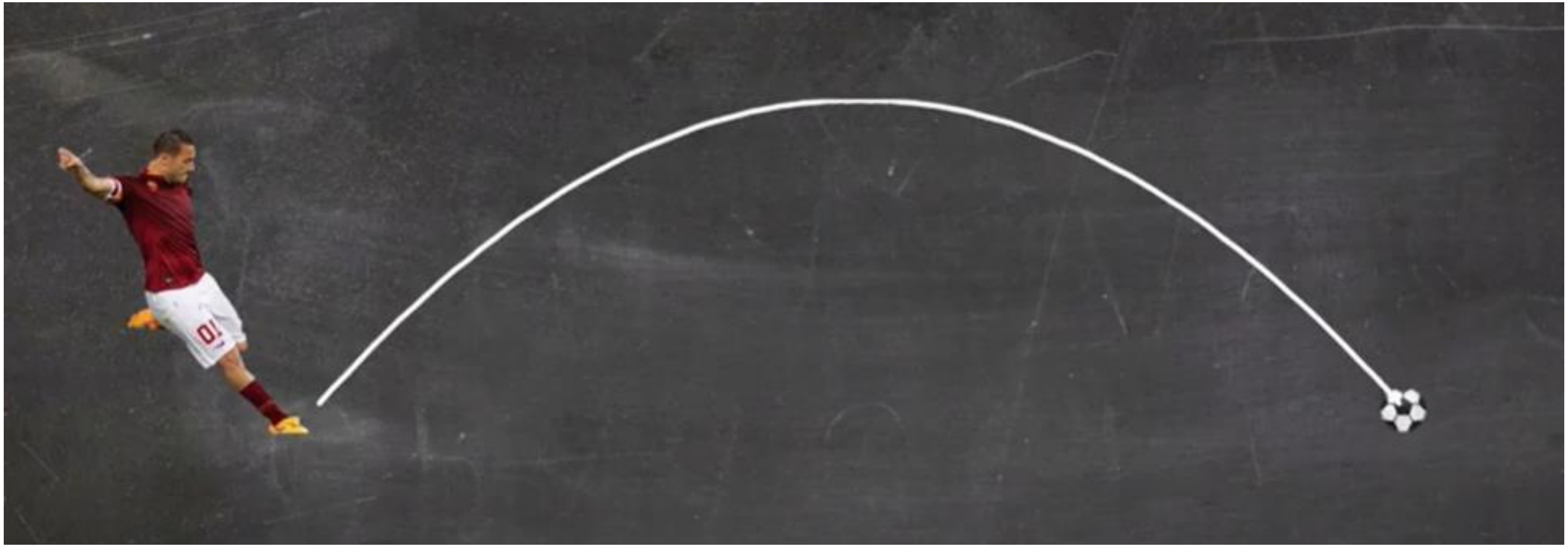
- **Sito web:** www.docenti.unina.it/annalisa.allocca
  - La registrazione al sito si può effettuare inserendo numero di matricola e pin oppure tramite SPID per chi non fosse ancora in possesso di matricola
  - Il materiale didattico si trova sulla pagina web

- **Libri di testo adottati:**
  - Mazzoldi, Nigro, Voci «Elementi di Fisica – Meccanica e Termodinamica» Vol. 1 - Edises Napoli
  - Halliday, Resnick, Walker «Fondamenti di Fisica» - Ambrosiana Milano
  - Serway, Jewett «Principi di Fisica» - Edises Napoli

Argomenti di oggi:

- Cinematica
  - Moto parabolico
- Dinamica del punto materiale: studio delle cause per cui un corpo entra in movimento
  - Principio di inerzia
  - Leggi di Newton
  - Classificazione delle forze
  - Equilibrio statico ed equilibrio dinamico
  - Forza peso
  - Reazione vincolare
  - Forza di attrito radente

Moto parabolico



Moto parabolico

Moto bidimensionale

- Moto rettilineo uniforme

$$x(t) = x_0 + v_{x_0} t \quad \text{con } v_{x_0} \; costante$$

- Moto verticale uniformemente accelerato

$$y(t) = y_0 + v_{y_0} t - \frac{1}{2} g t^2 \qquad \text{con g } \textit{accelerazione di gravità (costante)}$$

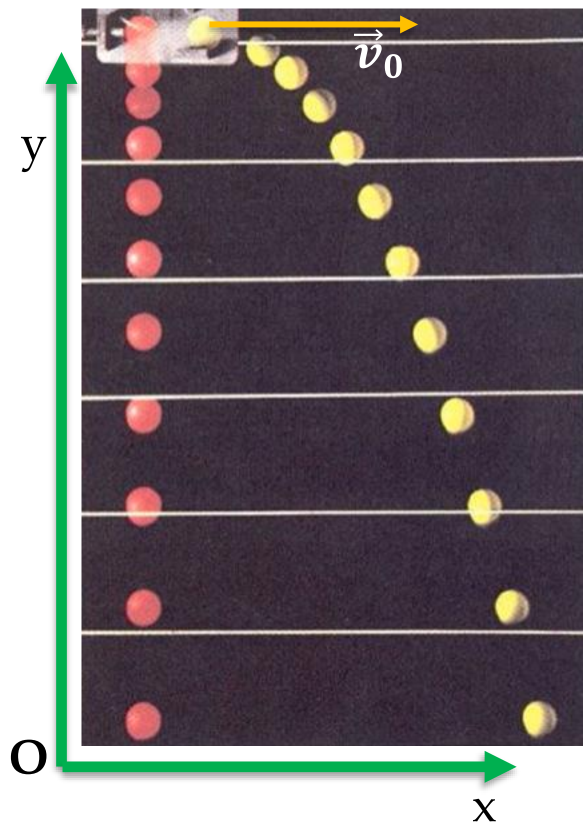
→Combinando i due moti in un piano otteniamo un moto parabolico!

Moto parabolico

La pallina rossa è lasciata cadere da ferma ($\vec{\boldsymbol{v}}_{\mathbf{0}}$ =0) mentre la pallina gialla cade con una velocità iniziale diretta lungo l'asse x: $\vec{\boldsymbol{v}}_{\mathbf{0}} = v_{0x}\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{x}}$

Il moto lungo l'asse verticale delle due palline è identico (sono descritte dalla stessa legge del moto)

Il moto lungo l'asse orizzontale è diverso per le due palline e fa sì che la pallina gialla cada in un punto diverso dall'ascissa iniziale

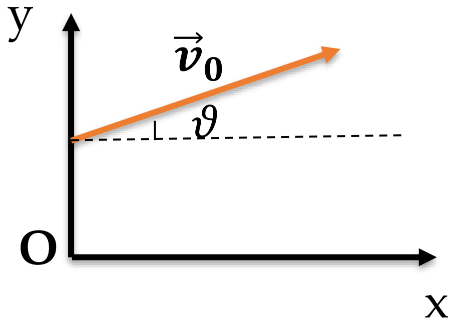


- **Il moto lungo i due assi è <u>indipendente</u>**

Moto parabolico

Lancio un proiettile con velocità iniziale $\vec{\boldsymbol{v}}_{\mathbf{0}} = v_{0x}\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{x}} + v_{0y}\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{y}}$

Velocità iniziale in componenti:



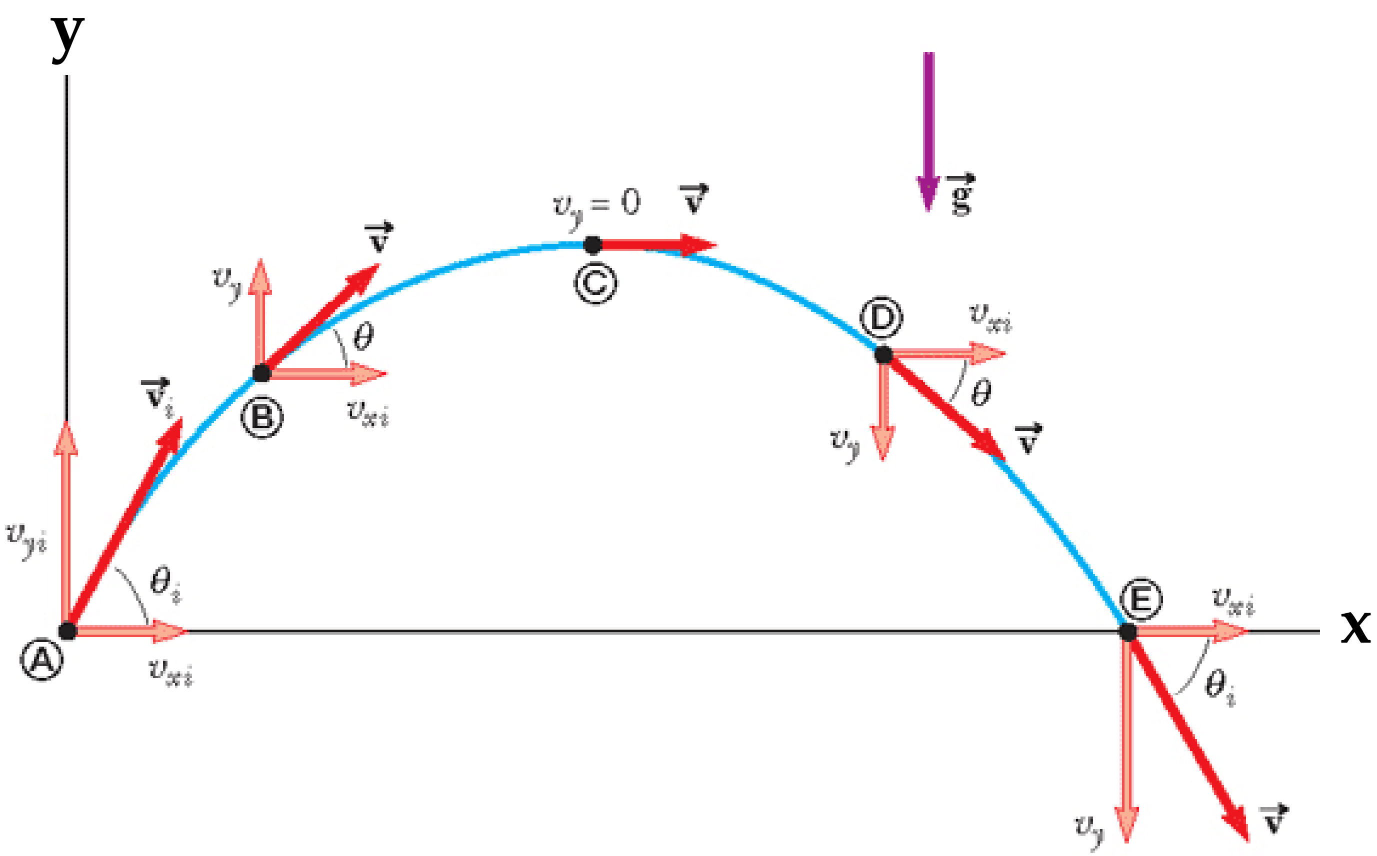
- Il moto è caratterizzato da **accelerazione costante** $\vec{\boldsymbol{a}} = -g\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{y}}$
- Condizioni iniziali: $\vec{\boldsymbol{r}} = \vec{\boldsymbol{r}}_0$ e $\vec{\boldsymbol{v}} = \vec{\boldsymbol{v}}_{\mathbf{0}}$

Equazione del moto <u>in forma vettoriale</u>:

$$\vec{\boldsymbol{v}}(t) = \vec{\boldsymbol{v}}_{\mathbf{0}} - gt\vec{\boldsymbol{u}}_{\boldsymbol{y}}$$

Moto del proiettile

Moto di un proiettile in due dimensioni con $y_0 = 0$



Moto parabolico - traiettoria

Equazione della traiettoria: eliminiamo il parametro temporale dalle equazioni del moto

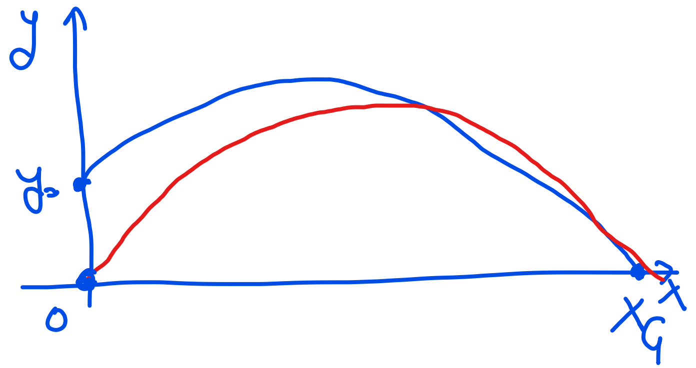
$$y(x) = y_0 + \tan\vartheta_0 \, x - \frac{g}{2v_0^2\,(\cos\vartheta_0)^2}\,x^2$$

Moto parabolico - gittata

$$y(x) = y_0 + \tan\vartheta_0\, x - \frac{g}{2v_0^2\,(\cos\vartheta_0)^2}\,x^2$$

Si ottiene:

- Ponendo y=0 nell'equazione della traiettoria



$y=0$

$$y(x) = 0 = y_0 + \tan\vartheta_0\, x_G - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\vartheta_0}\,x_G^2$$

$$x_G = \frac{\tan\vartheta_0 \pm \sqrt{\tan^2\vartheta_0 + \frac{2gy_0}{v_0^2\cos^2\vartheta_0}}}{\frac{g}{v_0^2\cos^2\vartheta_0}}$$

per $y_0 = 0$ $\longrightarrow$

$$x_G = \frac{\tan\vartheta_0 \pm \sqrt{\tan^2\vartheta_0}}{g/v_0^2\cos^2\vartheta} \quad \begin{cases} x = 0 \\ \end{cases}$$

$$x_G = \frac{2\tan\vartheta_0}{g}\cdot v_0^2\cos^2\vartheta = \underbrace{2\sin\vartheta_0\cos\vartheta_0}\,\frac{v_0^2}{g} = \sin 2\vartheta_0\, v_0^2/g$$

Moto parabolico - gittata

Si ottiene:

- Ponendo y=0 nell'equazione della traiettoria

$$\boxed{y(x) = y_0 + \tan\vartheta_0\, x - \frac{g}{2v_0^2\,(\cos\vartheta_0)^2}x^2}$$

Moto parabolico - gittata

Dall'equazione della traiettoria:

$$x_G = \frac{\tan\vartheta_0 \pm \sqrt{\tan^2\vartheta_0 + \dfrac{2gy_0}{v_0^2\,(\cos\vartheta_0)^2}}}{\dfrac{g}{v_0^2\,(\cos\vartheta_0)^2}}$$

Moto parabolico - gittata

Dall'equazione della traiettoria:

$$x_G = \frac{\tan\vartheta_0 \pm \sqrt{\tan^2\vartheta_0 + \frac{2gy_0}{v_0^2(\cos\vartheta_0)^2}}}{\frac{g}{v_0^2(\cos\vartheta_0)^2}}$$

Per $y_0 = 0$:

$$x_G = \frac{v_0^2}{g}\underbrace{\sin 2\vartheta_0}_{\to 1}$$

$2\vartheta_0 = \frac{\pi}{2}$

$\vartheta_0 = \pi/4$

Gittata massima per $\vartheta_0 = \frac{\pi}{4}$

$\boxed{\text{Quando } y_0 = 0}$

Moto parabolico - gittata

Si ottiene:

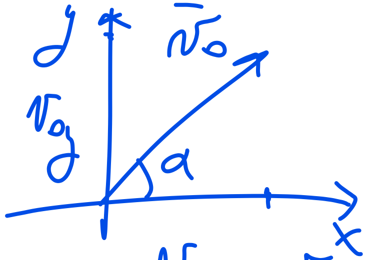
- Ponendo y=0 nell'equazione della traiettoria
- Ricavando il tempo di volo dall'equazione del moto verticale (uniformemente accelerato) e sostituendolo nell'equazione del moto orizzontale (rettilineo uniforme) – equazione più complessa ma porta allo stesso risultato

Moto parabolico – tempo di volo

$$y(t_v) = y_0 + v_{0y} t_v - \frac{1}{2} g t_v^2 = 0$$

$$t_v = \frac{v_{0y} \pm \sqrt{v_{0y}^2 + 2 g y_0}}{g} =$$

$v_0 \sin\alpha = v_{0y}$



$v_{0x} = v_0 \cos\alpha$

Moto parabolico – altezza massima

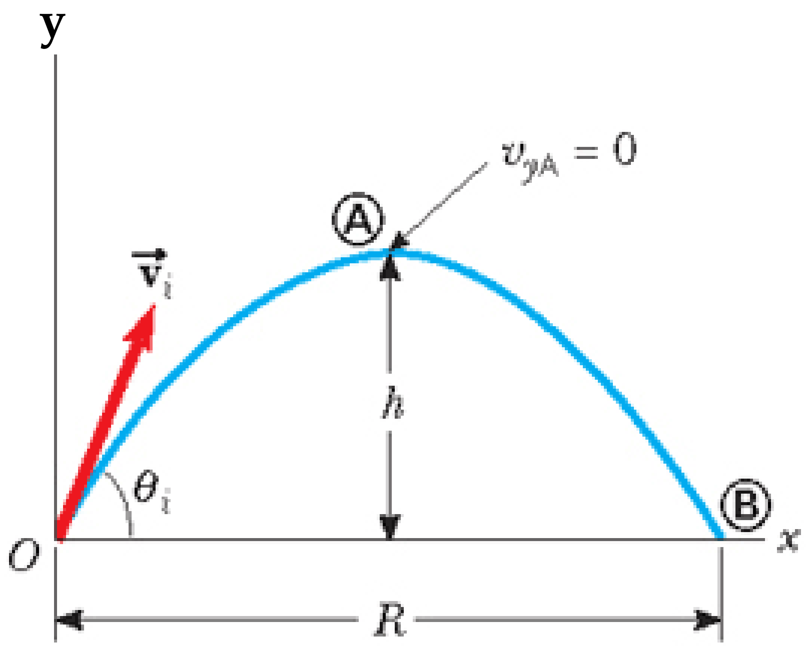
- Il moto lungo y è uniformemente accelerato. L'altezza massima è quella per cui la velocità si annulla. Dall'equazione della velocità v_y ricavo t_M e lo sostituisco nella y(t)

$$v_y(t) = v_{0y} - g t_M = 0 \Rightarrow t_M = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin\theta_0}{g}$$

$$y(t_M) = y_0 + v_{0y} t_M - \frac{1}{2} g t_M^2$$

Moto parabolico – altezza massima

- Il moto lungo y è uniformemente accelerato. L’altezza massima è quella per cui la velocità si annulla. Dall’equazione della velocità v_y ricavo t_M e lo sostituisco nella y(t)



Moto parabolico – altezza massima

Ricaviamo il tempo necessario ad azzerare la componente verticale della velocità e lo sostituiamo nella legge oraria y(t):

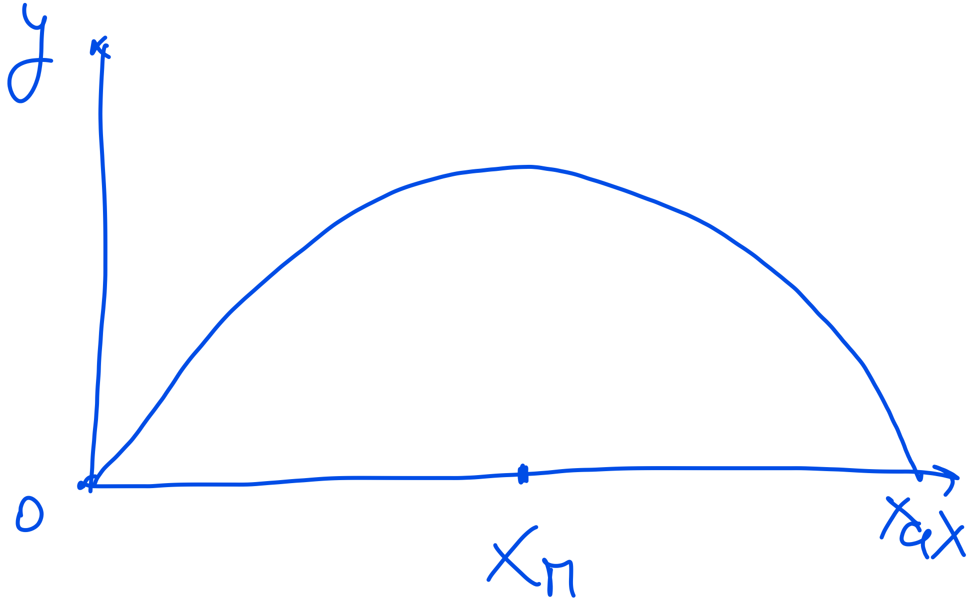
$$y(t_M) = \ y_0 + \frac{v_0^2 sin^2\vartheta_0}{2g}$$

Moto parabolico – altezza massima

- Il moto lungo x è rettilineo uniforme, quindi, **nel caso in cui** $y_0 = 0$, nota la gittata (percorso totale), l'altezza massima si troverà a metà percorso: $x_M = \frac{x_G}{2}$

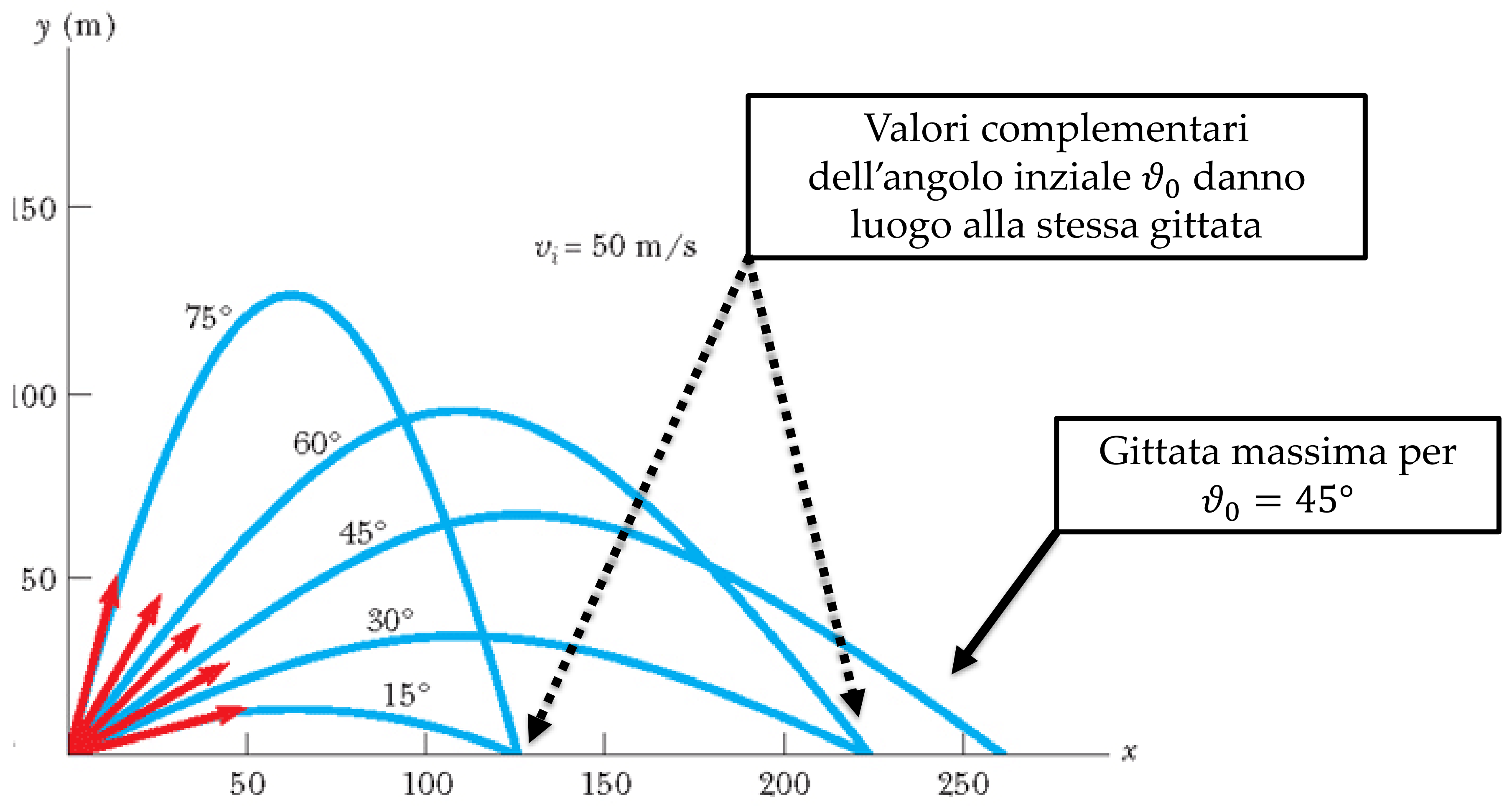
$$x_M = v_{0x} t_M \Rightarrow t_M = \frac{x_M}{v_{0x}}$$

$$y(t_M) = \dots$$



$$x(t) = v_{0x} t$$

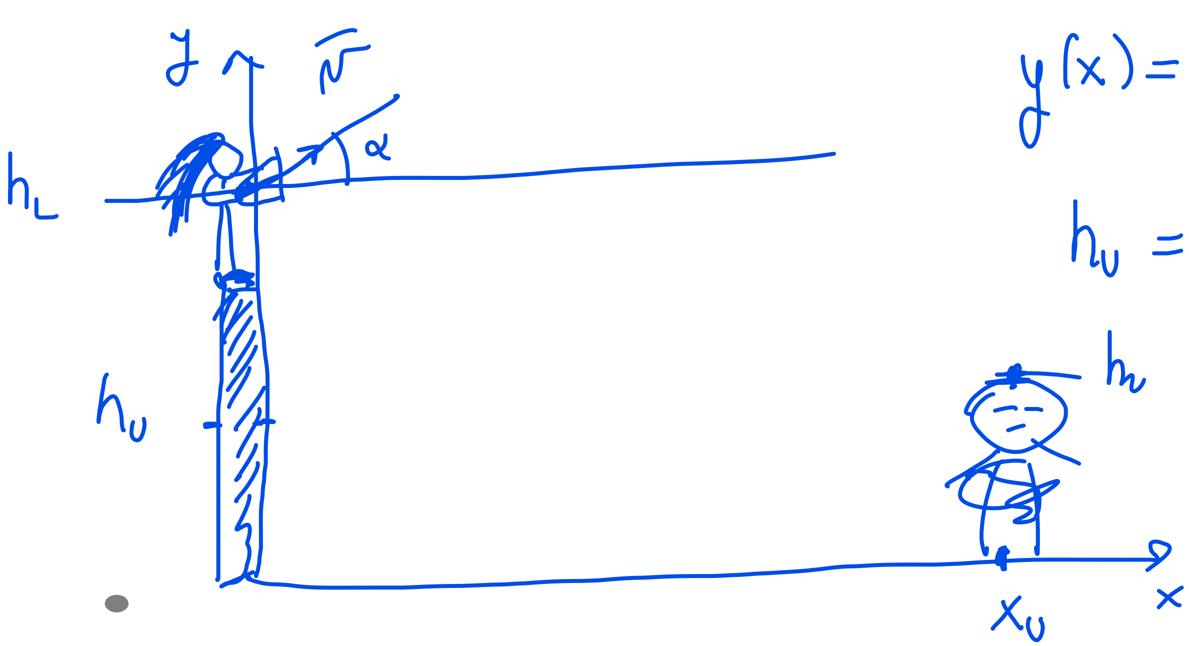
Gittata al variare dell’angolo dell’angolo di lancio (direzione)



Esercizio

Il signore degli anelli

Legolas si trova sulle mura del Fosso di Helm, ad una altezza di 32 m. Vuole colpire un Uruk-Hai alto 2 m e distante 100 m. Calcolare la velocità della freccia necessaria per l'impresa considerando che l'angolo di tiro è di 45°.



$$y(x) = y_0 + \mathrm{tg}\,\theta_0\, x - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\theta_0}x^2$$

$$h_U = h_L + \mathrm{tg}\,\alpha\, x_U - \frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_U^2$$

$h_L = 32\,\mathrm{m}$

$x_U = 100\,\mathrm{m}$

$h_U = 2\,\mathrm{m}$

$\alpha = 45°$

$$\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_U^2 = h_L - h_U + \mathrm{tg}\,\alpha\, x_U$$

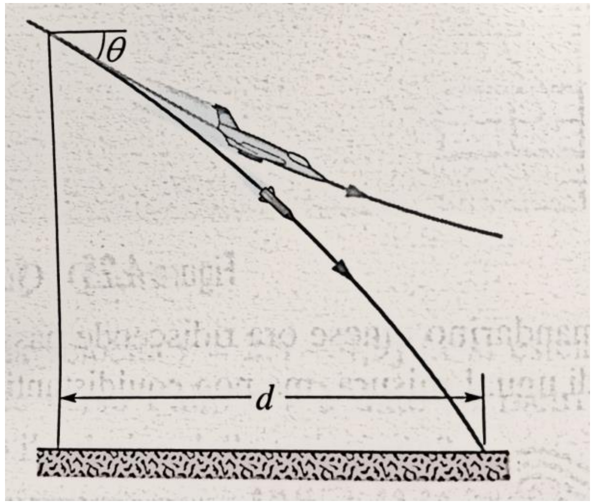
$$\frac{g}{2v_0^2\cos^2\alpha}x_U^2=\left[h_L-h_U+tg\,\alpha\,x_U\right] \Rightarrow \frac{g\,x_U^2}{h_L-h_U+tg\,\alpha\,x_U}=2v_0^2\cos^2\alpha$$

$$= v_0=\sqrt{\frac{g\,x_U^2}{(h_L-h_U+tg\,\alpha\,x_U)(2\cos^2\alpha)}}=$$

Esercizio

Un aeroplano, volando alla velocità di 290 km/h con un angolo θ = - 30°, sgancia un falso bersaglio radar. La distanza orizzontale fra il punto di rilascio e il punto in cui il bersaglio colpisce il terreno è di 700m

a) Per quanto tempo è rimasto in aria il falso bersaglio?
b) A che quota si trovava l'aereo al momento dello sgancio?



Dinamica

Meccanica newtoniana

- Nella meccanica newtoniana i corpi si muovono a velocità v molto più piccole della velocità della luce $c \approx 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$ → $\boxed{\frac{v}{c} \ll 1}$
  In caso contrario, si applicano le leggi della *relatività ristretta*

- Se i corpi interagenti hanno dimensioni di scala atomica, si applica la meccanica quantistica

- La grandezza che rappresenta l'agente capace di provocare un'accelerazione è chiamata **forza**, che agisce su un corpo e ne modifica la velocità

- La relazione concettuale tra forza e accelerazione prodotta fu formulata da **Isaac Newton** nel 1687 – **Philosophiae Naturalis Principia Matematica** (1642-1727)

- Newton enunciò le **tre leggi fondamentali** di quella che fu chiamata **meccanica newtoniana**

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

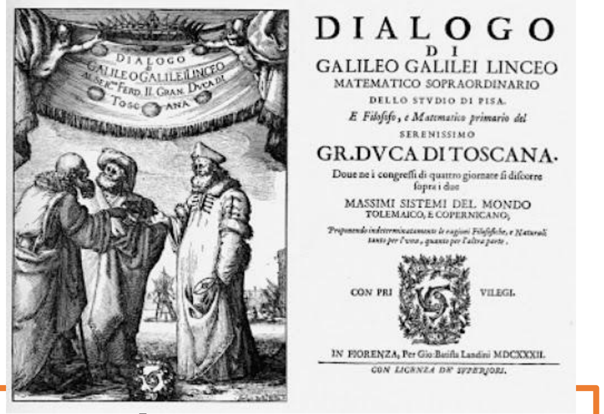
- Aristotele sosteneva che qualsiasi moto è dovuto a una forza o energia che accompagna l'oggetto nel suo movimento e senza la quale esso cesserebbe di muoversi.

- Idea che deriva dall'esperienza «sensoriale»: un corpo in movimento tende a fermarsi in assenza di propulsione continua.

- Questo in realtà è dovuto alla presenza dell'**attrito**

- Quest'idea si è perpetrata per circa 20 secoli!

Principio di inerzia – prima legge della dinamica



Galilei scoprì questo principio attraverso vari esperimenti sui piani inclinati e orizzontali e lo espose sia nel *Dialogo* (1632) sia nei *Discorsi* (1638). La sua tesi era in aperto contrasto con quella che la fisica aristotelica aveva sempre dato del moto per circa 20 secoli.

Nel *Dialogo sopra i due massimi sistemi (1632) Galileo*, elabora il seguente ragionamento:

- la velocità di un corpo che scende lungo un piano inclinato aumenta;

- la velocità di un corpo che sale lungo un piano inclinato diminuisce;

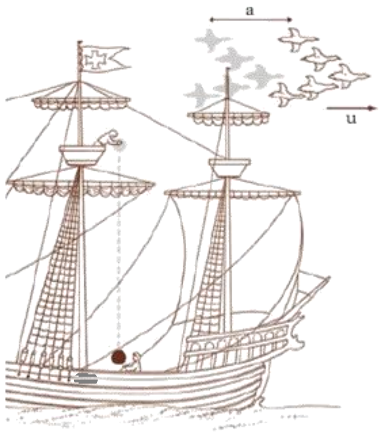
- sul piano orizzontale la velocità non può né aumentare, né diminuire, ma rimanere costante.

Primo enunciazione del principio di inerzia: se la forza totale applicata ad un punto materiale è zero, allora esso si muoverà con velocità costante

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

Tutte le leggi della meccanica (moto dei corpi, oscillatori, …)
sono le stesse per osservatori in moto traslatorio uniforme uno rispetto all’altro

Sistemi di riferimento inerziali



Sia che la nave sia ferma, sia che la nave compia un moto uniforme, i movimenti degli oggetti non vincolati alla superficie della nave stessa, come possono essere mosche od oggetti lanciati cui lo stesso Galileo fa riferimento, non subiranno mutamenti, bensì resteranno invariati.

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

Prima enunciazione formale: Isaac Newton

Un corpo tende a rimanere nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non interviene una causa esterna a modificare tale stato

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

- Se si lancia una moneta in aeroplano che viaggia a velocità costante, il suo moto sarà identico a quello che avrebbe se fossimo fermi

Principio di inerzia – prima legge della dinamica

- Se si lancia una moneta in aeroplano che viaggia a velocità costante, il suo moto sarà identico a quello che avrebbe se fossimo fermi

- Perché in un autobus in frenata siamo tutti spinti in avanti?

Inerzia e massa

Dalla prima legge della dinamica concludiamo che un qualsiasi *corpo isolato* o è a riposo o e in moto rettilineo uniforme.

La tendenza di un corpo a resistere ai cambiamenti della sua velocità si chiama **inerzia**

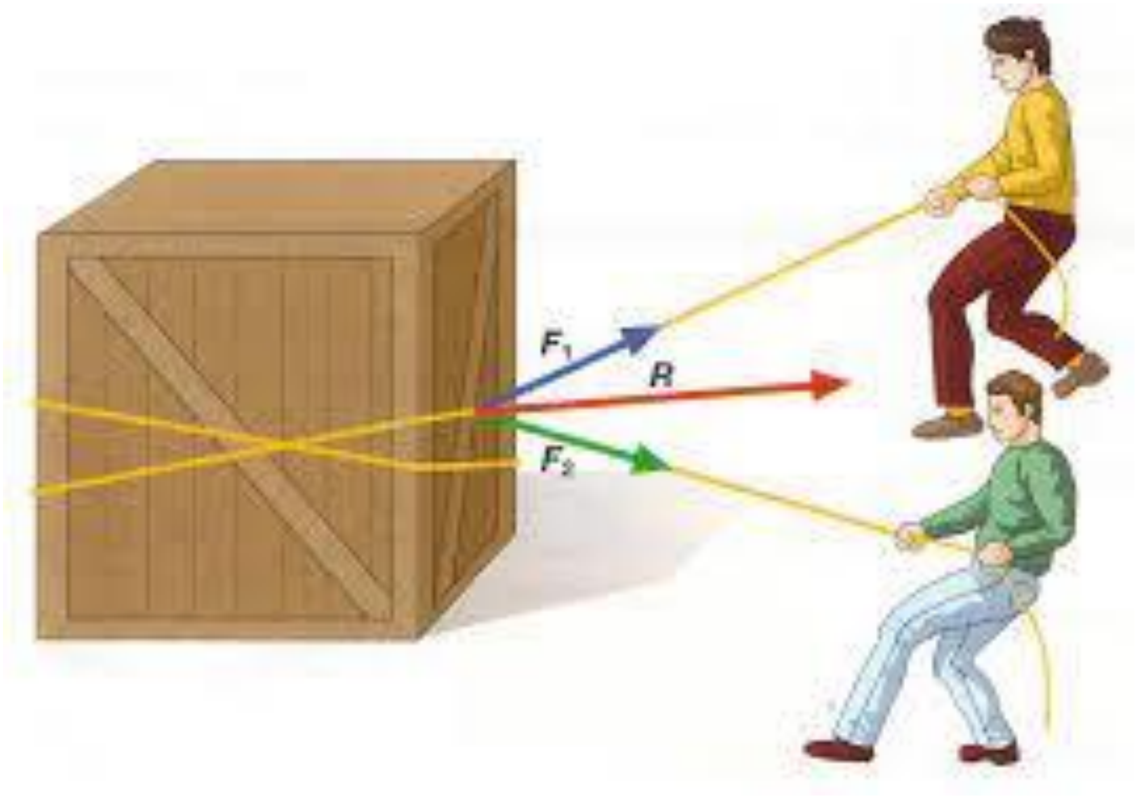
Massa: proprietà di un oggetto che specifica la resistenza a cambiare la propria velocità (*misura dell'inerzia del corpo*)
→ **massa inerziale**

Il concetto di Forza

- Dall’esperienza quotidiana, è associato al cambiamento dello stato di moto di un oggetto

- Non sempre le forze causano la variazione dello stato di moto di un oggetto

Il concetto di Forza



Grandezza vettoriale: quando due o più forze agiscono su un corpo, dobbiamo comporle per trovare la forza netta o risultante, secondo le regole della composizione vettoriale

Seconda legge della dinamica

Data una forza, l'accelerazione impressa ad un oggetto è minore quanto più grande è la massa dell'oggetto

→ l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa

$\bar{F} \to m$

$\bar{F} \to M$

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

$a \propto F$

$m = 10\ kg$

$M = 100\ kg$

$$\boxed{\bar{F} = m\bar{a}}$$

$$[F] = kg \cdot m\, s^{-2} = N$$

Seconda legge della dinamica

Data una forza, l'accelerazione impressa ad un oggetto è minore quanto più grande è la massa dell'oggetto

→ l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa

→ l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza

Seconda legge della dinamica

Data una forza, l'accelerazione impressa ad un oggetto è minore quanto più grande è la massa dell'oggetto

→ **l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa**

→ **l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza**

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

$F = 1N = 1kg \, 1\frac{m}{s^2}$

Seconda legge della dinamica

Data una forza, l'accelerazione impressa ad un oggetto è minore quanto più grande è la massa dell'oggetto

→ l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa

→ l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza

II legge di Newton

$$\boxed{\sum \vec{\boldsymbol{F}}} = m\vec{\boldsymbol{a}}$$

Somma delle forze esterne al sistema

$$[F] = kg \cdot m \cdot s^{-2}$$

Unità di forza:

1 Newton (N) = forza che agendo su una massa di **1kg** produce un'accelerazione di $\mathbf{1}\,{}^{\boldsymbol{m}}/_{\boldsymbol{s^2}}$

Seconda legge della dinamica

Data una forza, l'accelerazione impressa ad un oggetto è minore quanto più grande è la massa dell'oggetto

→ l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa

→ l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza

$$\sum \vec{\boldsymbol{F}} = m\vec{\boldsymbol{a}} = m\frac{d\vec{\boldsymbol{v}}}{dt} = m\frac{d^2\vec{\boldsymbol{r}}}{dt^2}$$

Legge fondamentale della **dinamica** del punto

Seconda legge della dinamica

- $\vec{\boldsymbol{F}} = m\vec{\boldsymbol{a}}$ è un'equazione vettoriale → tre relazioni scalari

$$\begin{cases} F_x = m a_x = m \dfrac{d^2 x}{dt^2} \\ F_y = m a_y = m \dfrac{d^2 y}{dt^2} \\ F_z = m a_z = m \dfrac{d^2 z}{dt^2} \end{cases}$$

Forza peso

- In uno stesso luogo, tutti i corpi subiscono la stessa accelerazione di gravità, diretta verticalmente verso il suolo di modulo $g = 9{,}8\, {}^{m}/_{s^2}$. Il suo valore cambia a seconda del punto della Terra (o esterno alla Terra) in cui ci troviamo
- Su un oggetto di massa *m*, agirà una forza

e deriva dall'interazione della massa con la Terra

DIFFERENZA TRA PESO E MASSA

- Il nostro **peso** è la forza con cui veniamo spinti verso il basso ***P***
- La nostra **massa** è: $m = \frac{|\vec{\boldsymbol{P}}|}{|\vec{\boldsymbol{g}}|}$

→ La massa ha ovunque lo stesso valore, il peso cambia con $\vec{\boldsymbol{g}}$

Forza peso

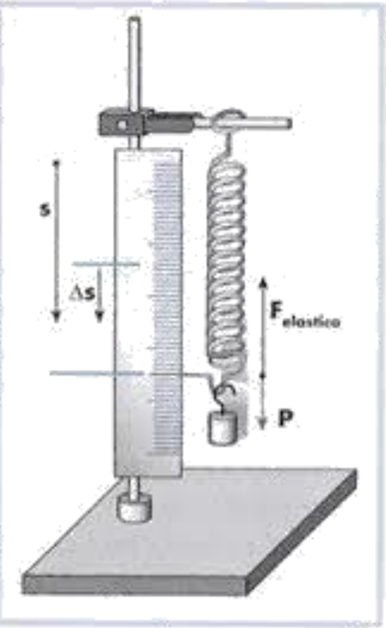
Quando saliamo sulla bilancia, misuriamo la massa o la forza peso?

Forza peso

Quando saliamo sulla bilancia, misuriamo la massa o la forza peso?

Misuriamo sempre la **forza peso**

Su un piatto il corpo da pesare e sull'altro i campioni, quindi si paragonano «due forze-peso»
→ si misura direttamente la massa, perché $\vec{g}$ è comune ai corpi su entrambi i piatti



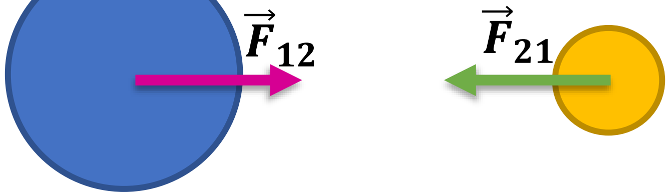
Con una bilancia a molla si misura sempre la forza peso, ma la scala graduata su cui scorre l'ago è calibrata in modo da avere direttamente il valore in massa (quindi in kg)

Principio di funzionamento di un **dinamometro** (strumento che serve a misurare la forza), che sfrutta il fatto che l'elongazione della molla è direttamente proporzionale alla forza applicata (nel regime lineare della molla)

Terza legge di Newton

Le forze sono sempre interazioni tra due oggetti, non esiste una singola forza isolata → l'interazione tra due corpi è sempre mutua

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Forza esercitata dal corpo **1** sul corpo **2** **(azione)**

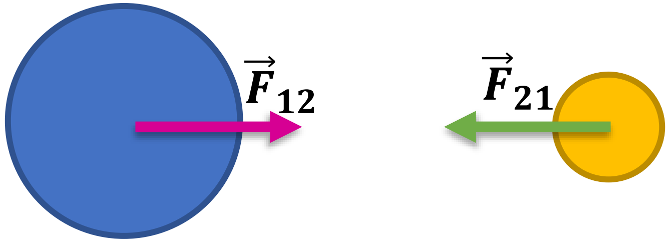
Forza esercitata dal corpo **2** sul corpo **1** **(reazione)**

Principio di **azione** e **reazione**

Terza legge di Newton

Le forze sono sempre interazioni tra due oggetti, non esiste una singola forza isolata → l'interazione tra due corpi è sempre mutua

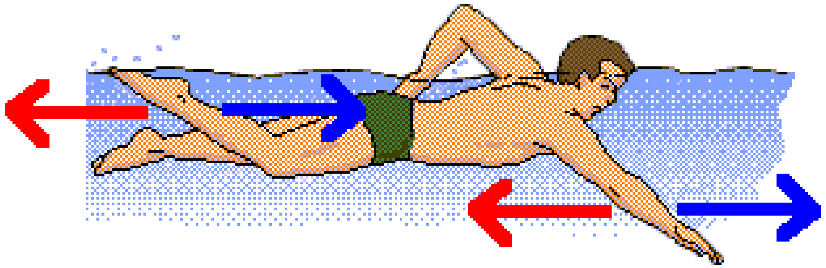
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Forza esercitata dal corpo **1** sul corpo **2** **(azione)**

Forza esercitata dal corpo **2** sul corpo **1** **(reazione)**

AZIONE spinta del nuotatore sull'acqua

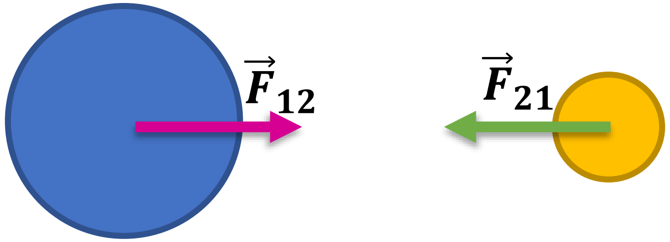


REAZIONE spinta dell'acqua sul nuotatore

Terza legge di Newton

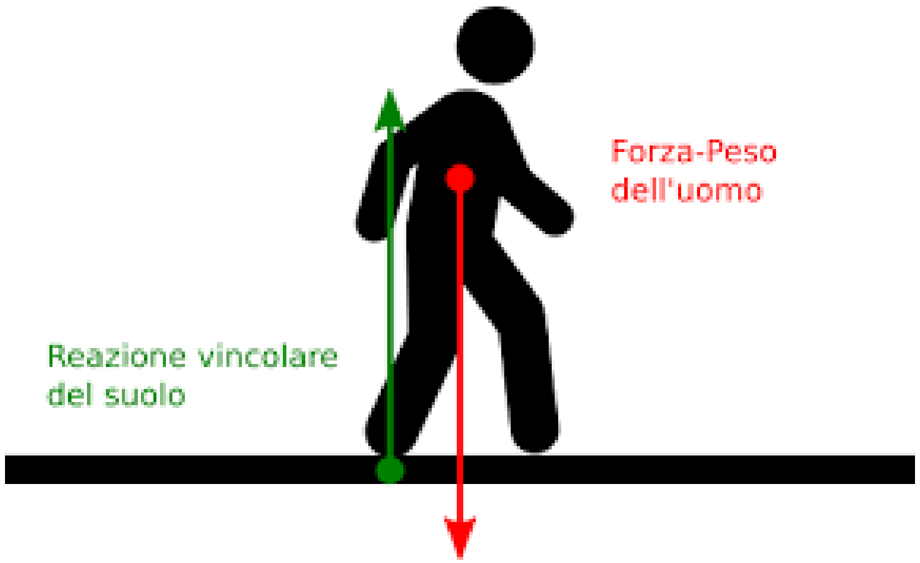
Le forze sono sempre interazioni tra due oggetti, non esiste una singola forza isolata → l'interazione tra due corpi è sempre mutua

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Forza esercitata dal corpo **1** sul corpo **2** **(azione)**

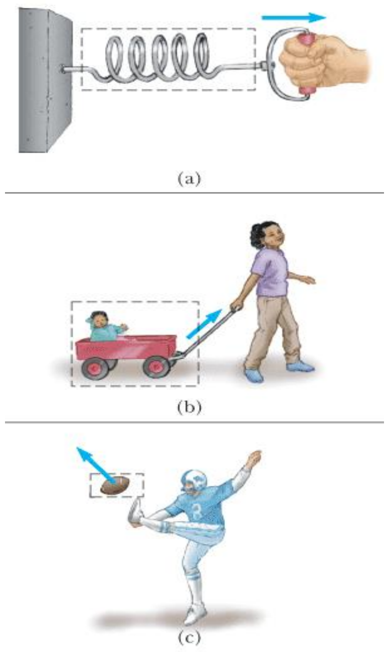
Forza esercitata dal corpo **2** sul corpo **1** **(reazione)**



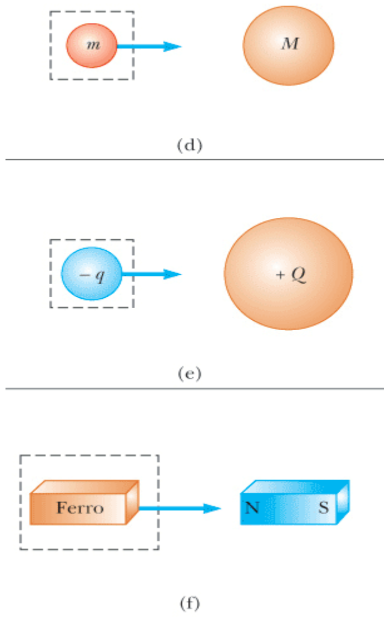
Classificazione delle forze

Dall'esperienza quotidiana potremmo classificare le forze come:

- Forze di contatto



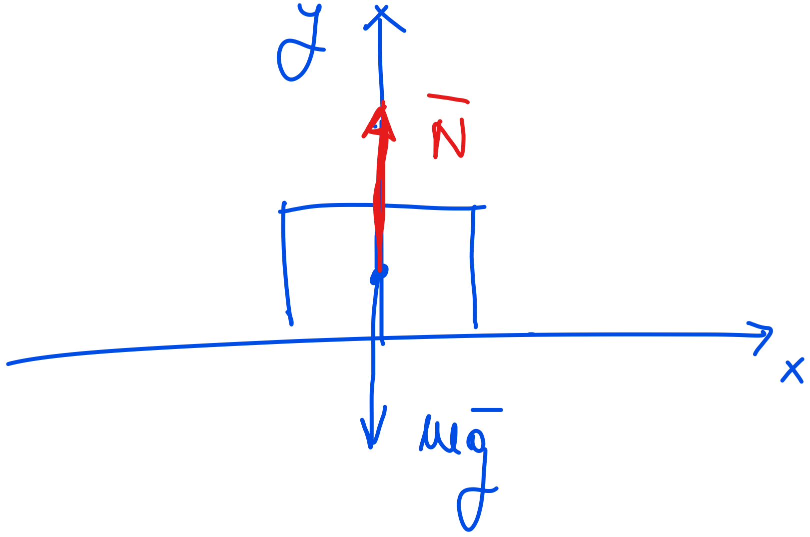
- Campi di forze (agiscono a distanza)



In realtà, la distinzione non è così netta: a livello atomico le forze di contatto sono forze di tipo elettrico

Equilibrio statico

Somma vettoriale di tutte le forze uguale a zero



$$\sum \bar{F} = 0 = m\bar{g} + \bar{N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 = N - mg$$

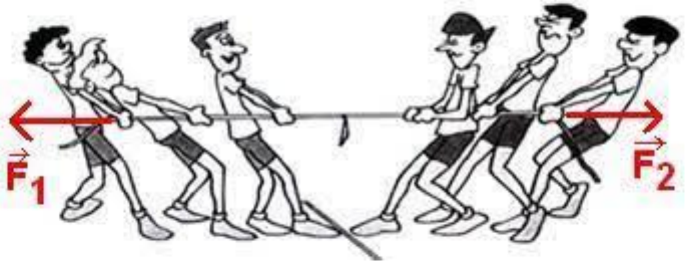
$$\Rightarrow N = mg$$

Equilibrio statico

Somma vettoriale di tutte le forze uguale a zero

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = 0$$

$$\sum_i \vec{F}_i = 0$$



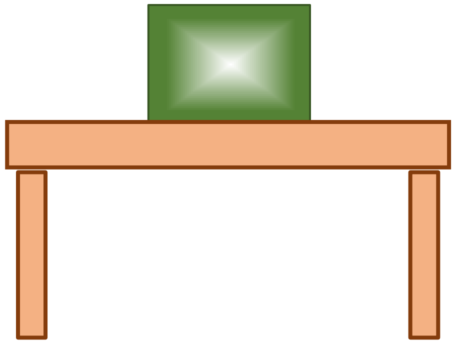
Devono essere nulle anche le singole componenti della forza risultante

Il corpo permane nel suo stato di quiete o moto rettilineo uniforme

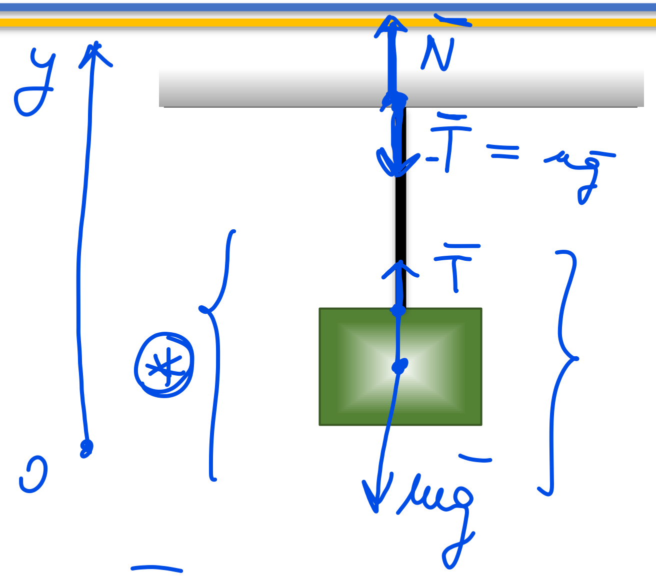
(Dallo studio del moto di un punto materiale otteniamo solo informazioni sulla forza risultante, non sulle singole forze di partenza)

Reazione vincolare

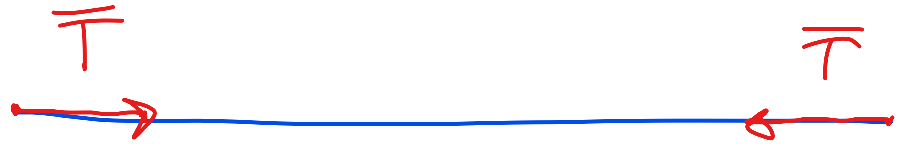
Corpo di massa *m* a riposo su un tavolo: forze agenti



Reazione vincolare



Corpo di massa *m* appeso a un filo: forze agenti
(Filo «inestensibile di massa trascurabile»)



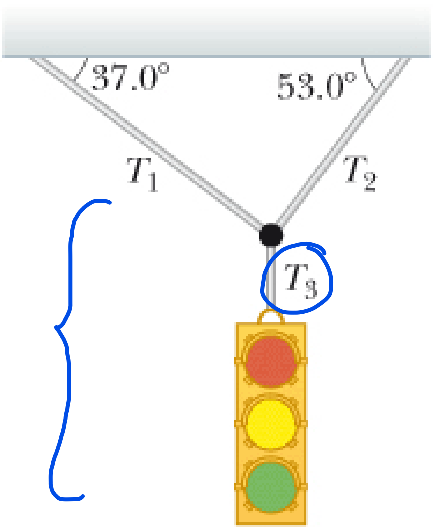
$$\sum \bar F = 0 = m\bar g + \bar T - \bar T + \bar N$$

(*) $\sum \bar F = 0 = m\bar g + \bar T = 0 \Rightarrow m\bar g = -\bar T$

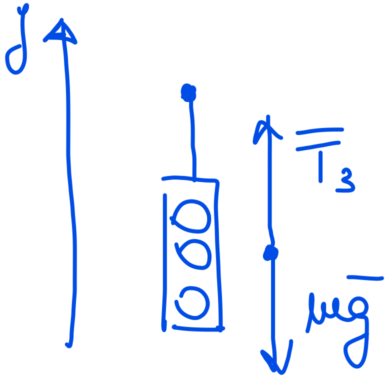
Il modulo della forza esercitata in un qualsiasi punto della fune è
lo stesso in tutti i punti della fune

Reazione vincolare - esempio

Un semaforo di peso 122 N pende da un cavo legato ad altri due cavi trattenuti da un supporto. I cavi superiori formano due angoli di 37° e 53° con l'orizzontale. Questi due cavi non sono così robusti come il cavo verticale, e si romperebbero se la tensione in essi superasse 100 N. Il semaforo rimarrà in questa posizione oppure il cavo si romperà?



R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES

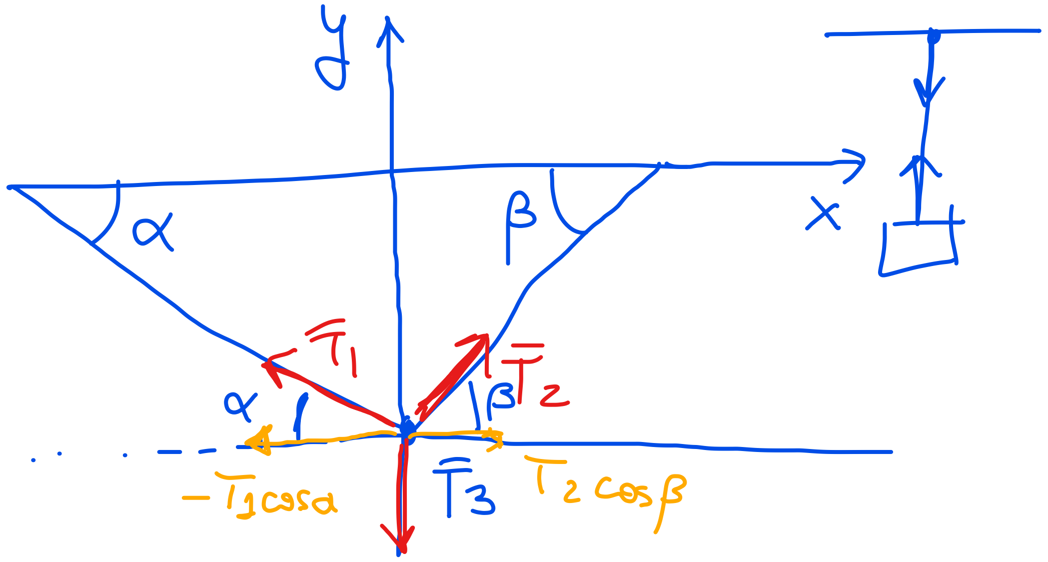


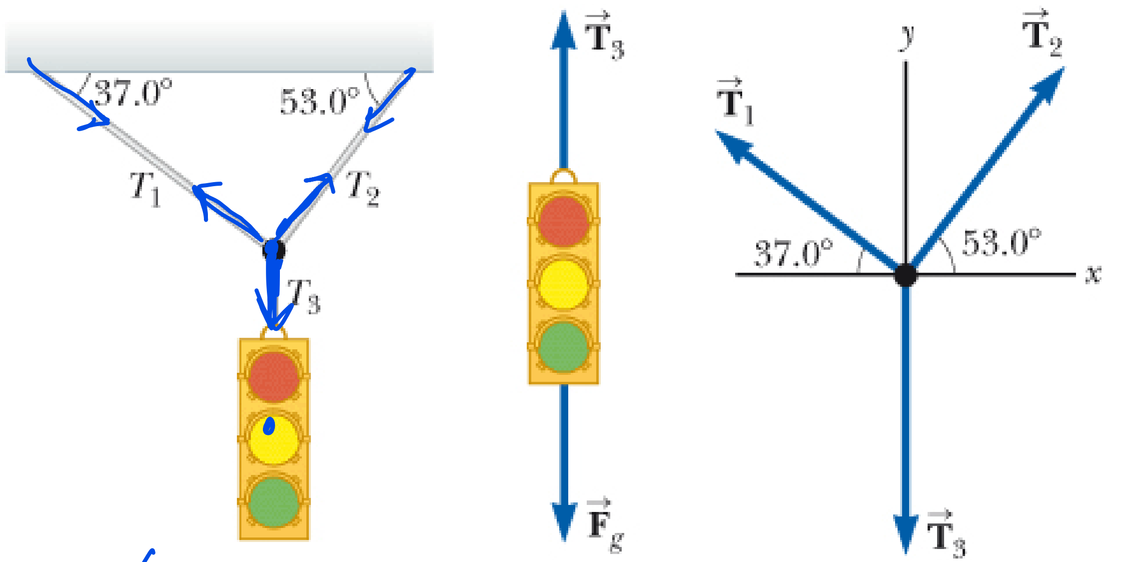
$$\Rightarrow \sum \vec{F} = 0$$

$$\sum F_y = 0 = T_3 - mg \Leftrightarrow T_3 = mg = 122\ N$$

Reazione vincolare - esempio

Diagramma di corpo libero per il semaforo (schema del corpo su cui sono disegnati i vettori che rappresentano le forze ad esso applicate) e per il nodo a cui sono applicate le forze

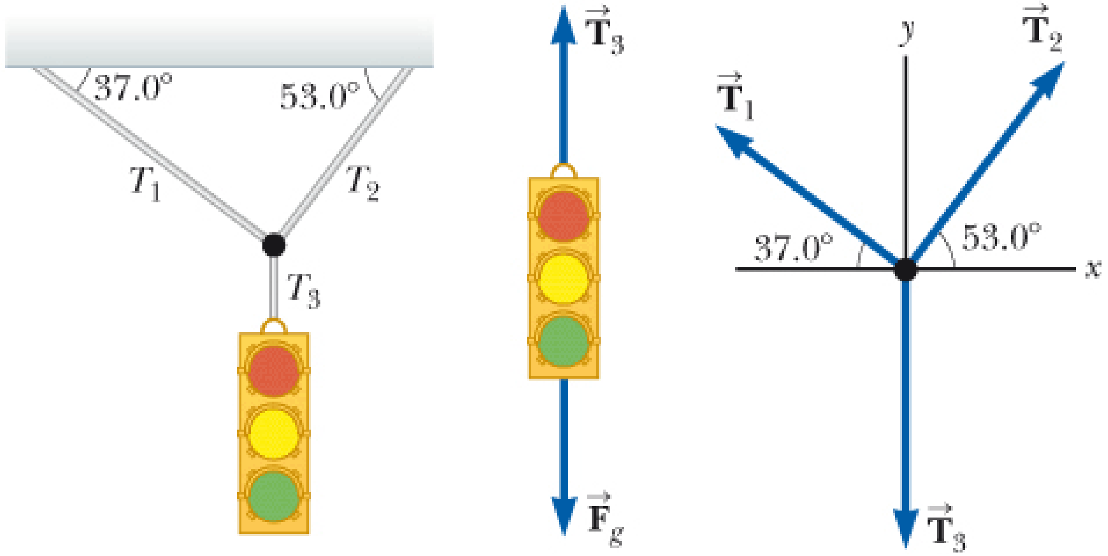




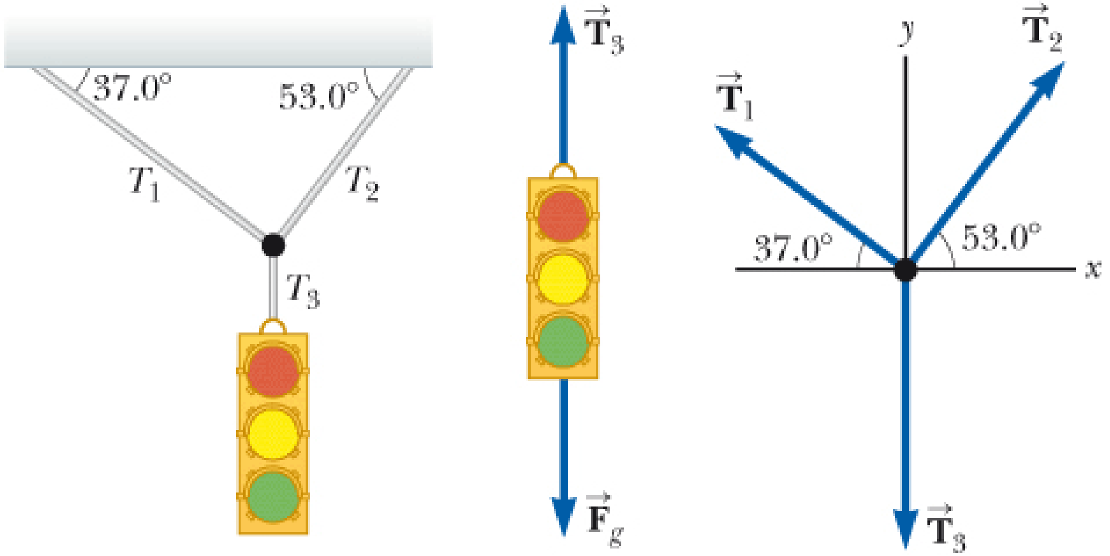
$$\Sigma F_x = 0 = T_2\cos\beta - T_1\cos\alpha \Rightarrow T_1 = \frac{T_2\cos\beta}{\cos\alpha}$$

$$\Sigma F_y = 0 = -T_3 + T_1\sin\alpha + T_2\sin\beta = 0 \Rightarrow -T_3 + T_2\cos\beta\,\mathrm{tg}\,\alpha + T_2\sin\beta = 0$$

R.A. Serway, J. W. Jewett Jr
Principi di Fisica - V Ed.
EdiSES



37.0°
53.0°
T_1
T_2
T_3
$\vec{T}_3$
$\vec{F}_g$
$\vec{T}_1$
$\vec{T}_2$
$\vec{T}_3$
y
x
37.0°
53.0°


37.0°
53.0°
T_1
T_2
T_3
$\vec{\mathbf{T}}_3$
$\vec{\mathbf{F}}_g$
y
$\vec{\mathbf{T}}_2$
$\vec{\mathbf{T}}_1$
37.0°
53.0°
x
$\vec{\mathbf{T}}_3$

Equilibrio dinamico

- Caso generale: Forza non costante → accelerazione non costante → moto vario
- Forza nulla →
- Forza costante →

Equilibrio dinamico

- Moto curvilineo

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_T + \boldsymbol{a}_N$$

Equilibrio dinamico

- Moto curvilineo

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{a}_T + \boldsymbol{a}_N$$

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_T + \boxed{\boldsymbol{F}_N} = m\boldsymbol{a}_T + m\boldsymbol{a}_N = m\frac{d\boldsymbol{v}}{dt} + m\frac{\boldsymbol{v}^2}{R}$$

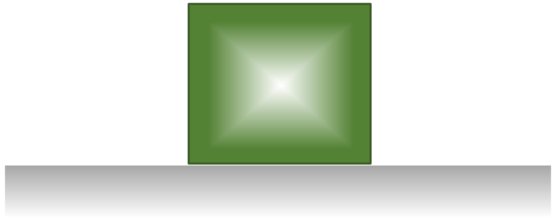
Forza centripeta

Non è un particolare tipo di forza (come quella gravitazionale, elastica, …), ma la componente della forza risultante ortogonale alla traiettoria

Forza di attrito radente

Applichiamo una forza $\vec{\boldsymbol{F}}$ parallela al piano d'appoggio

Il corpo non entra in movimento finché non viene superato un valore limite $\boxed{F_{as} = \mu_S N}$

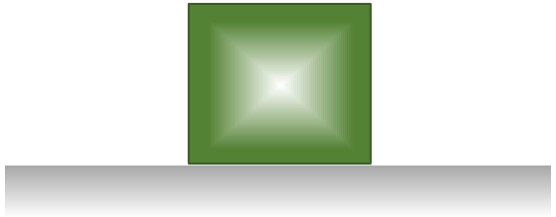


μ_S = coefficiente di **attrito statico**

La **forza di attrito statico** non ha un valore prefissato, ma varia con il valore della forza applicata $0 \le F_{as} \le \mu_S N$

Poiché dipende da N, dipende anche dalla forza peso dell'oggetto in questione

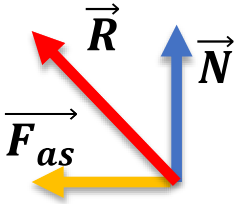
Forza di attrito radente

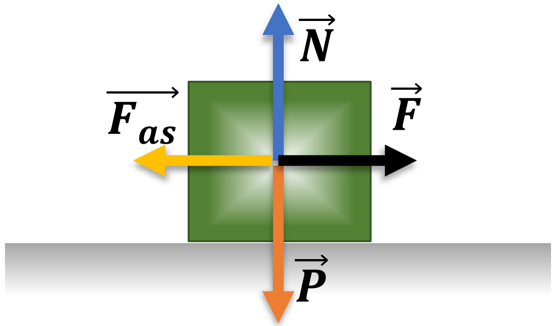


Forza di attrito radente

Applichiamo una forza $\vec{\boldsymbol{F}}$ parallela al piano d'appoggio

Il corpo non entra in movimento finché non viene superato un valore limite $\boxed{F_{as} = \mu_S N}$



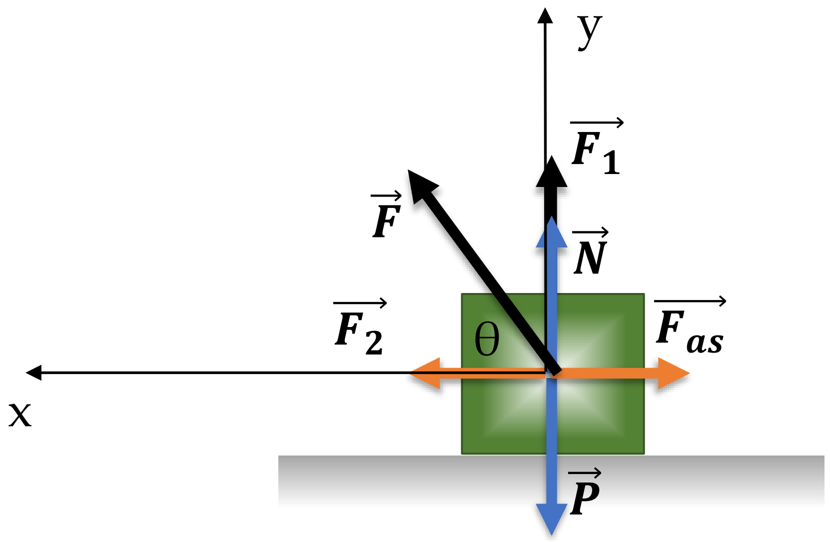


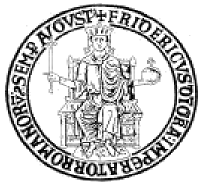
μ_S = coefficiente di **attrito statico**

$$\vec{\boldsymbol{R}} + \vec{\boldsymbol{F}} + \vec{\boldsymbol{P}} = 0$$

Forza di attrito radente - esempio

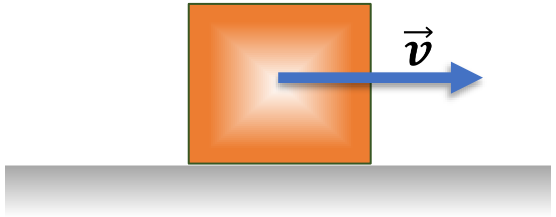
La forza **F** applicata al corpo in figura forma un angolo θ con l'orizzontale. Scrivere le equazioni dell'equilibrio statico e la condizione di quiete nel caso in cui il piano sia scabro con coefficiente di attrito statico μ_S




+FRIDERICVS
IMPERATOR ROMANOR SEMP AVGVST

Forza di attrito radente

Quando il corpo supera la soglia della forza di attrito statico e entra in movimento, si osserva che al moto si oppone un'altra forza, detta forza di attrito radente dinamico $F_{ad} = \mu_D N$



μ_D = coefficiente di **attrito dinamico**
Vale sempre $\mu_D < \mu_S$

La **forza di attrito dinamico** non dipende dalla velocità del corpo e ha verso contrario alla direzione del moto
Vettorialmente:

$$\vec{F}_{ad} = -\mu_D N \vec{u}_v$$

Versore della velocità

Forza di attrito radente

Microscopicamente: forza che agisce tra gli atomi superficiali dei due corpi a contatto
Due superfici estremamente levigate si *saldano a freddo*, formando un blocco unico