

FISICA GENERALE I

Docente: Prof. G. Carboni
giovanni.carboni@cern.ch

Esercitatore: Dott. R. Petrillo
roberto.petrillo@roma2.infn.it

Anno Accademico 2012 - 2013

Queste lezioni sono scaricabili in formato pdf
dalla pagina

<http://people.roma2.infn.it/carboni>

UTENTE: fis1_studenti
PW: disp_fis1

➔ *Necessario Adobe Reader*

I COMPITO DI ESONERO

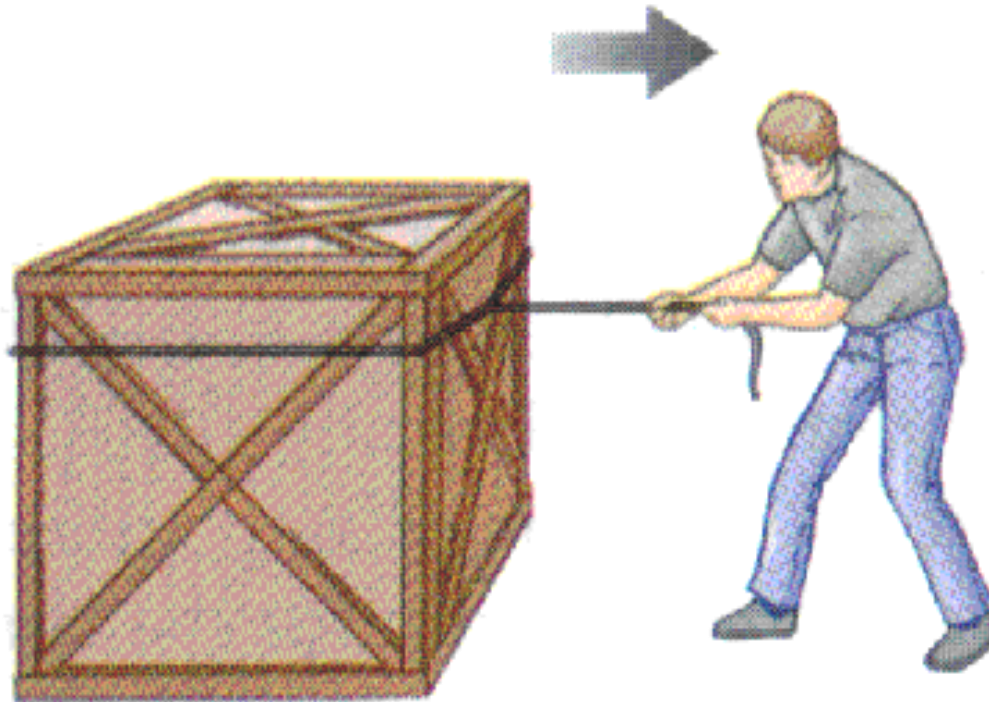
Cognomi A-H 17 Aprile

Cognomi I-Z 18 Aprile

Ore 11 aula 18

senza $\frac{1}{4}$ d'ora accademico!

L'attrito



L'attrito è una forza che si oppone al movimento

Si tratta quindi di una forza resistente

Nasce sulla superficie di contatto fra corpi diversi

- solidi-solidi
per esempio la cassa che striscia sul pavimento
- solidi-liquidi o gas (fluidi)
strato d'acqua che striscia sotto la chiglia della barca
strato d'aria che striscia intorno al sasso che cade
- fluidi-fluidi
strati diversi d'aria o d'acqua che strisciano gli
uni rispetto agli altri

Attrito fra i solidi

Il primo a occuparsi del problema fu Leonardo da Vinci
ma i suoi scritti furono persi per 2 secoli e 1/2

Gli studi furono ripresi nel '600 da Guglielmo Amonton

Se ne occupò anche Coulomb

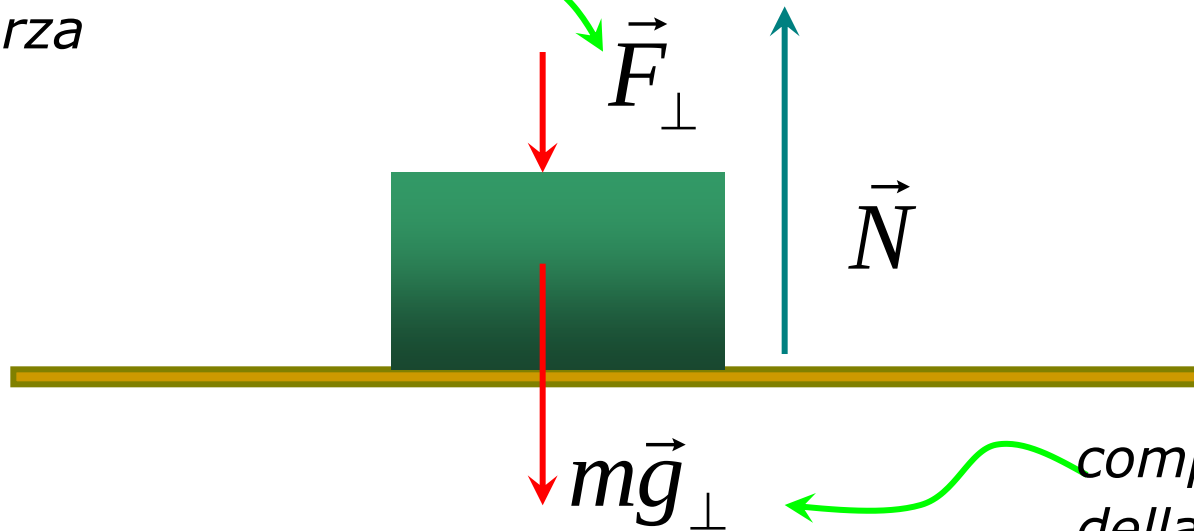
I due tipi di attrito

- statico. Si manifesta col fatto che per muovere un corpo è necessario applicargli una forza di intensità superiore a un certo valore, altrimenti il corpo non si muove
- dinamico o cinetico. Si manifesta come una forza resistente al moto, quindi diretta in verso opposto alla velocità del corpo.

Le 3 leggi dell'attrito

- 1. la forza di attrito è proporzionale al carico del corpo sulla superficie. Con carico si intende la componente normale alla superficie della risultante delle forze che agiscono sul corpo (peso ecc.)*
- 2. la forza di attrito non dipende dall'area (apparente) di contatto*
- 3. la forza di attrito dinamico non dipende dalla velocità di strisciamento*

*componente normale
della forza*

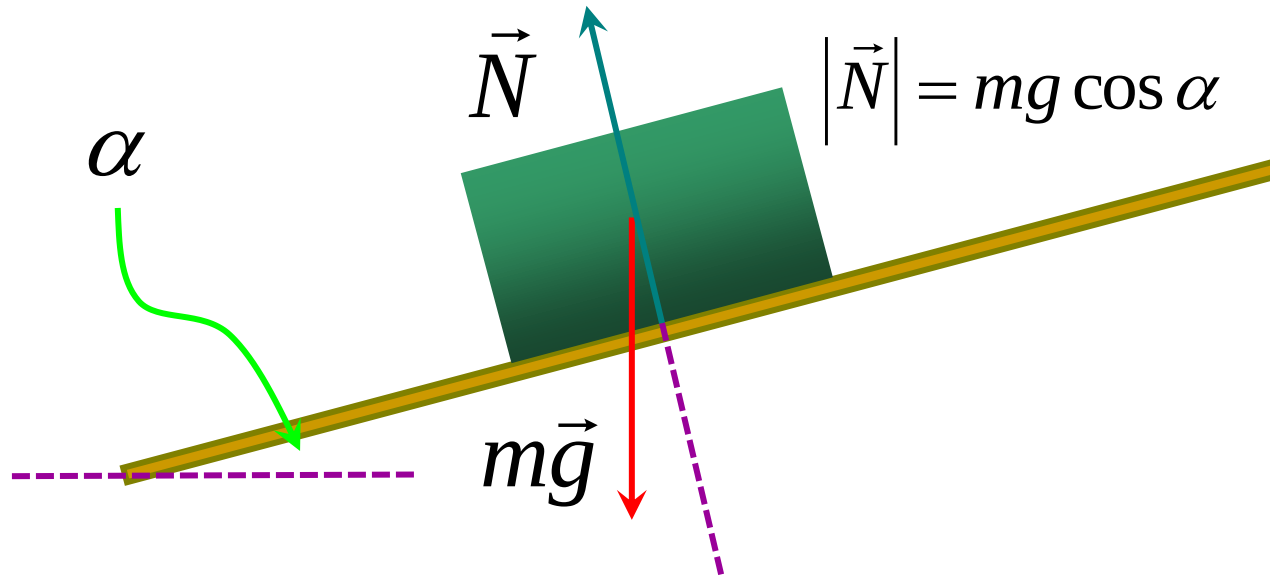


*componente normale
della forza peso*

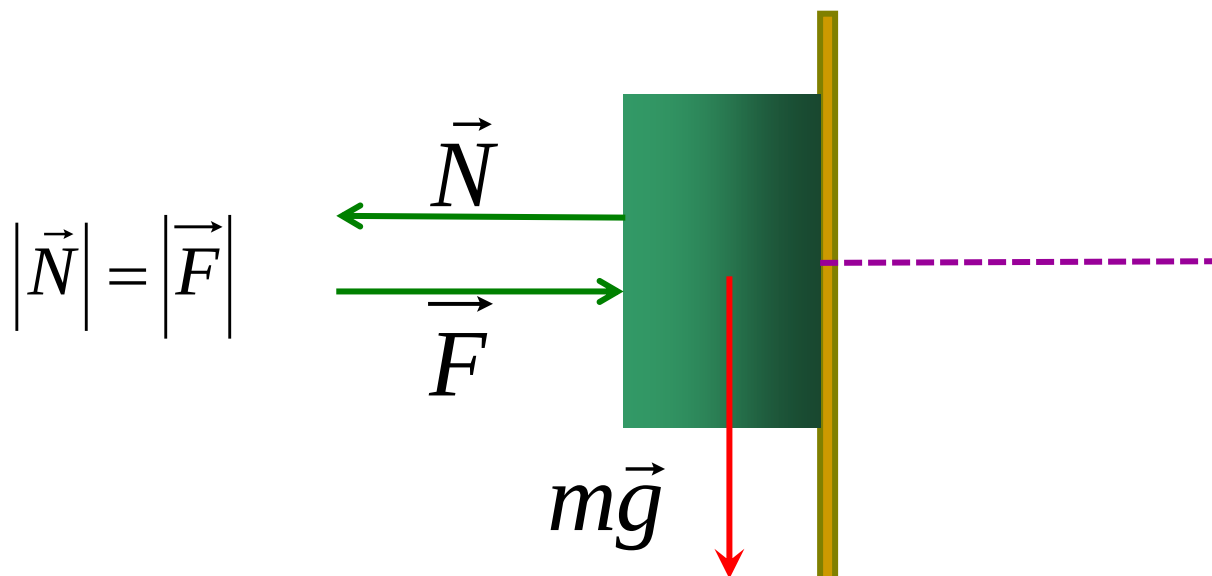
Notiamo che il carico è semplicemente il modulo
della reazione vincolare normale

$$m\vec{g}_\perp + \vec{F}_\perp = -\vec{N}$$

Se il piano non è orizzontale



Qui il peso non contribuisce al carico

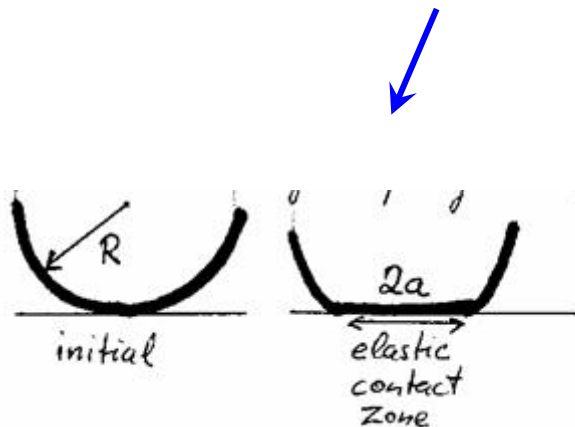


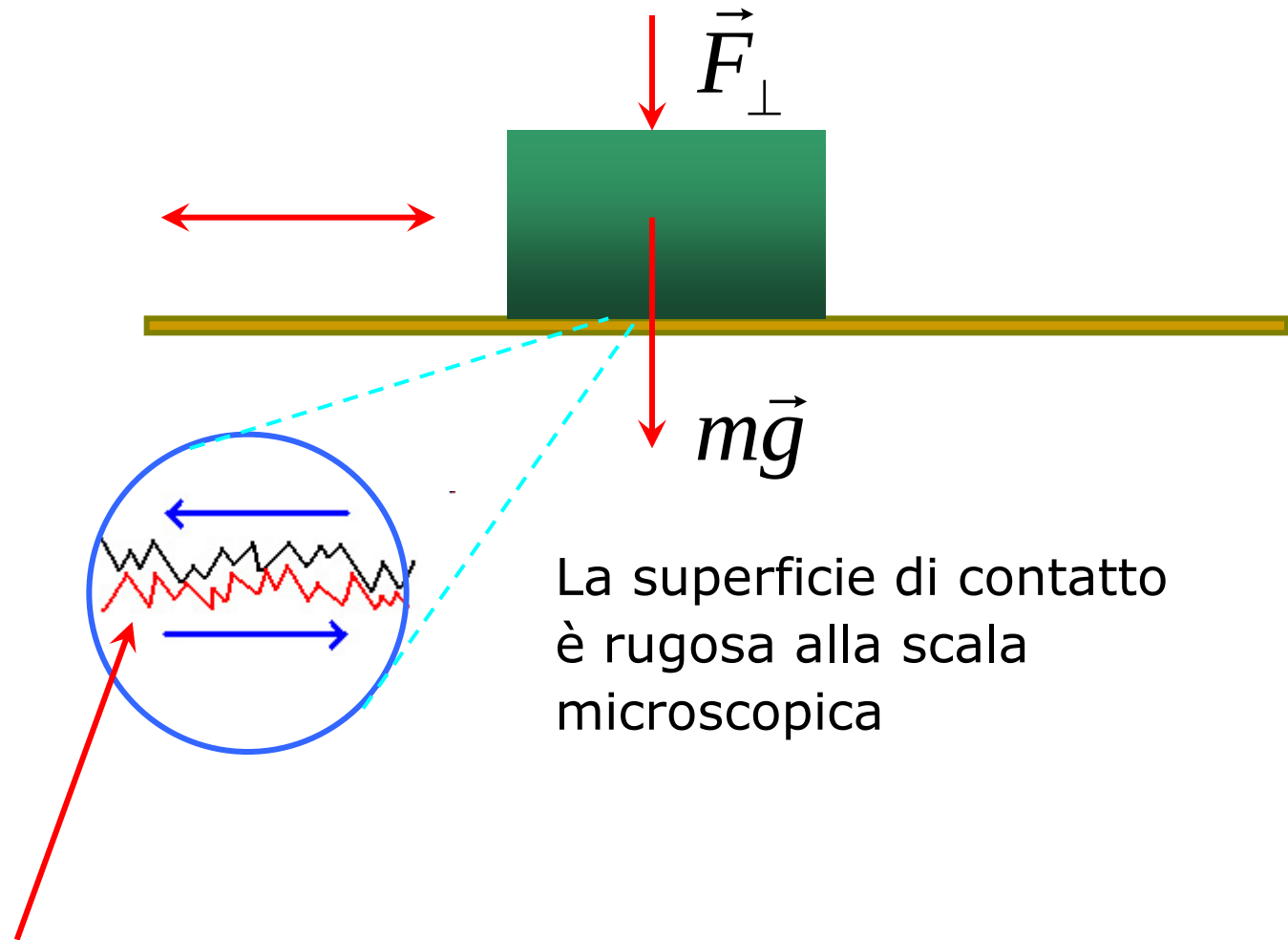
*per avere attrito serve una forza
normale al piano*

Il fatto che l'attrito non dipenda dall'area di contatto sembra un paradosso.

Ma in realtà si capisce perché quel che conta è l'area effettiva. Questa cresce con il carico ossia con $|\vec{N}|$

schacciamento

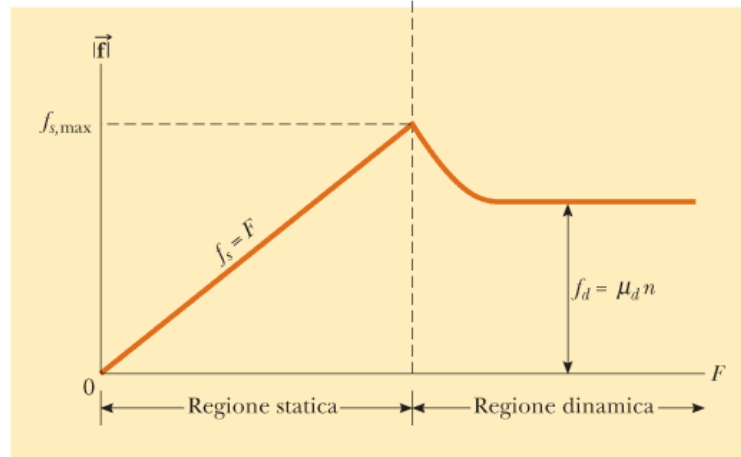
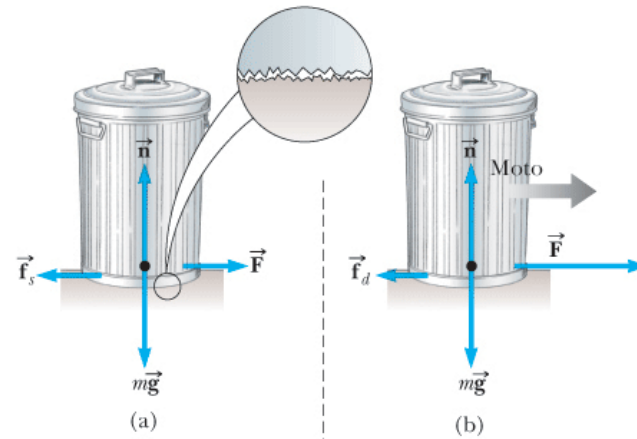




La superficie di contatto
è rugosa alla scala
microscopica

l'area di contatto effettiva è fatta dalla somma di
piccole zone di contatto che aumentano schiacciando

FIGURA 5.1 (a) La forza di attrito statico $\vec{f}_s$ fra il bidone della spazzatura e il suolo scabro è opposta alla forza applicata $\vec{F}$. Il modulo della forza d'attrito statico è uguale a quello della forza applicata. (b) Quando il modulo della forza applicata supera il modulo della forza d'attrito dinamico $\vec{f}_d$, il bidone della spazzatura accelera verso destra. (c) Un grafico del modulo della forza d'attrito in funzione della forza applicata. Nel nostro modello, la forza d'attrito dinamico è indipendente dalla forza applicata e dalla velocità relativa delle superfici. Da notare che $f_{s,\max} > f_d$.



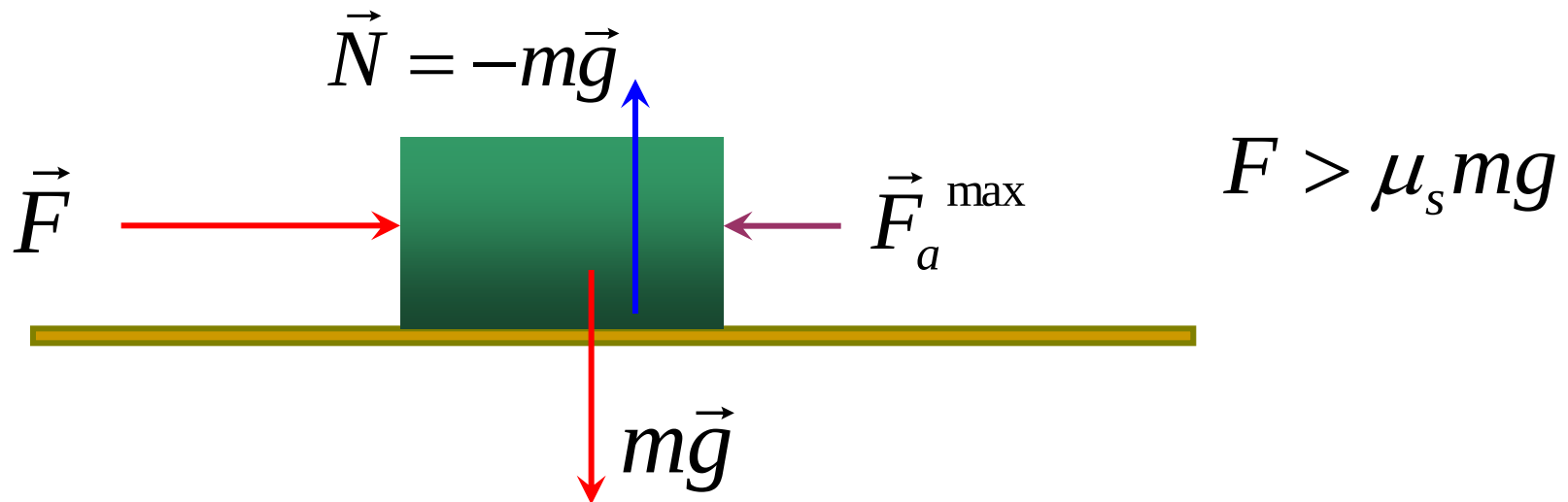
(c)

La forza di attrito statico si manifesta come reazione automatica alla forza che tende a muovere il corpo in modo da annullarla.

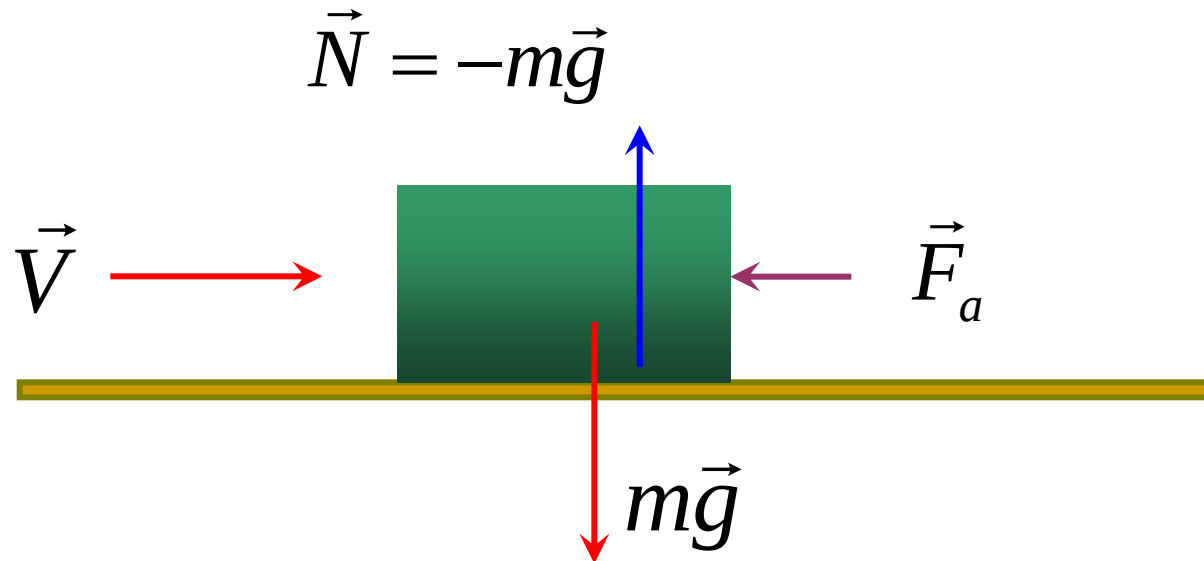
Questa reazione può crescere fino a un valore massimo

$$\left| \vec{F}_a^{\max} \right| = \mu_s \left| \vec{N} \right| \quad \text{per cui} \quad \left| \vec{F}_a \right| \leq \mu_s \left| \vec{N} \right|$$

μ_s è un **numero** che si chiama coefficiente d'attrito statico e dipende dalle superfici in contatto. Si ha anche che $\mu_s \leq 1$



La forza di attrito dinamico si manifesta solo mentre il corpo è in moto, ed è sempre in **direzione opposta alla velocità**



La sua intensità è **fissa** e vale $|\vec{F}_a| = \mu_d |N|$

μ_d è un **numero** che si chiama coefficiente d'attrito **dinamico**.
Dipende dalle superfici in contatto e in genere $\mu_d < \mu_s$

Siccome la forza di attrito dinamico è **costante**
il moto di un corpo frenato dall'attrito è un semplice
moto uniformemente accelerato (decelerato)



$$F_a = -\mu_d mg$$

$$ma = -\mu_d mg \quad \Rightarrow \quad a = -\mu_d g$$

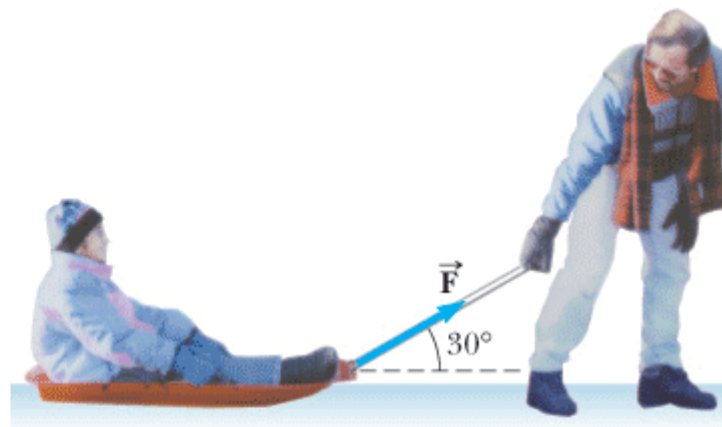
Coefficienti d'attrito in varie situazioni

	μ_s	μ_d
Gomma-asfalto asciutto	1	0,8
Gomma-asfalto bagnato	0,7	0,5
Acciaio-acciaio	0,7	0,6
Legno-legno	0,5-0,25	0,2
Metallo-metallo lubrificato	0,2-0,1	0,1-0,05
Ghiaccio-ghiaccio	0,1	0,03
Teflon-teflon	0,04	0,04
Articolazioni umane	0,01	0,003





(a)

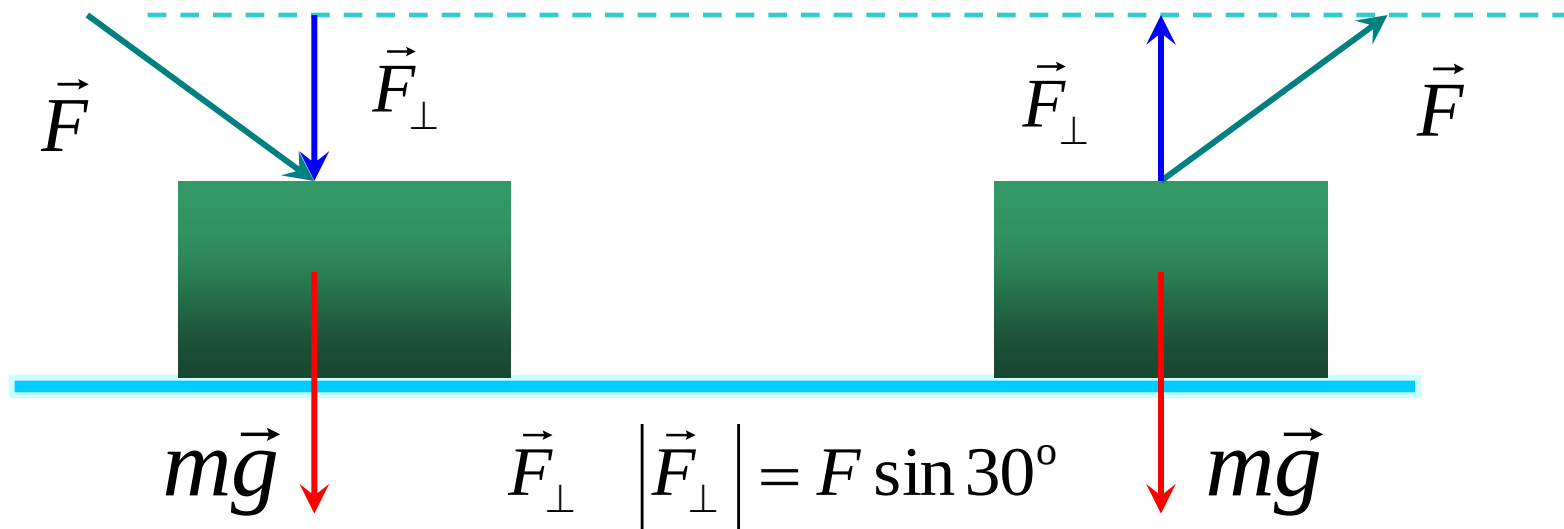


(b)

FIGURA 5.2

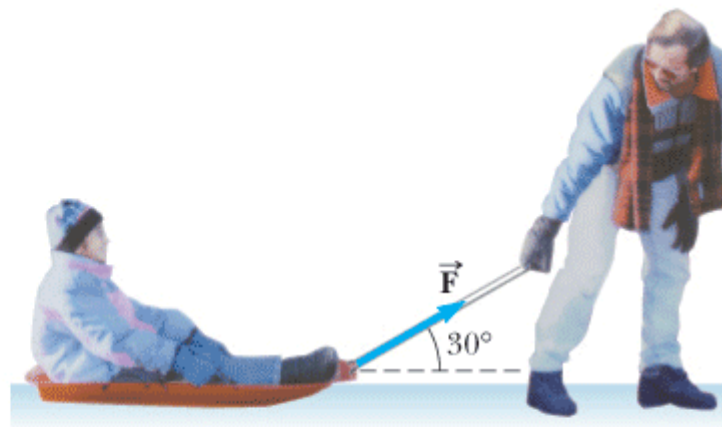
(Quiz rapido 5.3) Un padre tenta di spingere suo figlio su una slitta sopra la neve (a) spingendo da dietro sulle sue spalle, oppure (b) tirando una fune attaccata sulla parte anteriore della slitta. Qual è più facile?

Calcoliamo **N** nei due casi. La massa del bambino+slitta è m





(a)



(b)

FIGURA 5.2

(Quiz rapido 5.3) Un padre tenta di spingere suo figlio su una slitta sopra la neve (a) spingendo da dietro sulle sue spalle, oppure (b) tirando una fune attaccata sulla parte anteriore della slitta. Qual è più facile?

caso (a) : $N = mg + F \sin 30^\circ$

caso (b) : $N = mg - F \sin 30^\circ$

$F \cos 30^\circ > \mu_s (mg + F \sin 30^\circ)$

$F \cos 30^\circ > \mu_s (mg - F \sin 30^\circ)$

$$F > \frac{\mu_s mg}{\cos 30^\circ - \mu_s \sin 30^\circ}$$

$$F > \frac{\mu_s mg}{\cos 30^\circ + \mu_s \sin 30^\circ}$$



FIGURA 5.2

(Quiz rapido 5.3) Un padre tenta di spingere suo figlio su una slitta sopra la neve (a) spingendo da dietro sulle sue spalle, oppure (b) tirando una fune attaccata sulla parte anteriore della slitta. Qual è più facile?

Poniamoci la domanda: qual è l'angolo che minimizza lo sforzo?

Chiamiamo l'angolo β con la convenzione che $\beta > 0$ corrisponda al caso (b)

$$N = mg - F \sin \beta$$

La condizione per muovere l'oggetto è

$$F \cos \beta > \mu_s (mg - F \sin \beta)$$

$$F (\cos \beta + \mu_s \sin \beta) > \mu_s mg$$

Per cercare il massimo di

$$\cos \beta + \mu_s \sin \beta$$

deriviamo rispetto a β e uguagliamo a zero

$$-\sin \beta + \mu_s \cos \beta = 0 \quad \Rightarrow \quad \tan \beta = \mu_s$$

$$\frac{\sin \beta}{\cos \beta} = \mu_s \quad \frac{1 - \cos^2 \beta}{\cos^2 \beta} = \mu_s^2$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{1 + \mu_s^2}} \quad \sin \beta = \frac{\mu_s}{\sqrt{1 + \mu_s^2}}$$

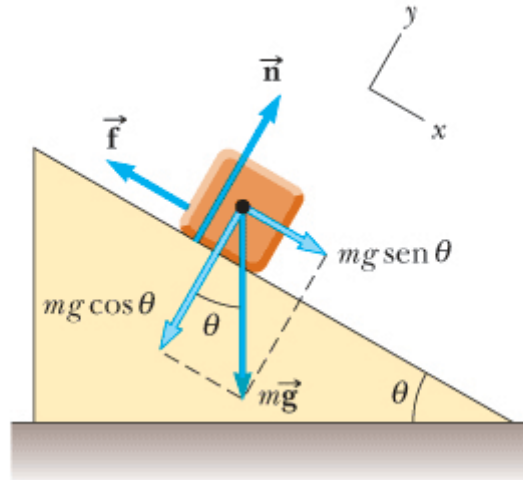
$$F(\cos \beta + \mu_s \sin \beta) > \mu_s mg$$



$$F > \frac{\mu_s}{\sqrt{1 + \mu_s^2}} mg$$

è la forza minima per muovere l'oggetto in condizioni ottimali

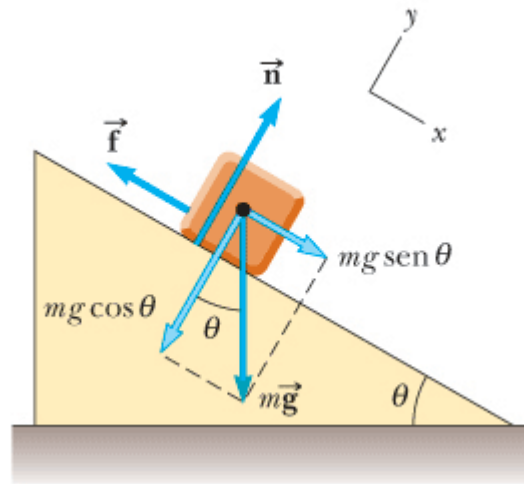
Piano inclinato



$$N = mg \cos \theta$$

La forza d'attrito statico è diretta lungo il piano verso l'alto.
Perché il corpo scivoli si deve avere

$$F = mg \sin \theta > \mu_s mg \cos \theta$$

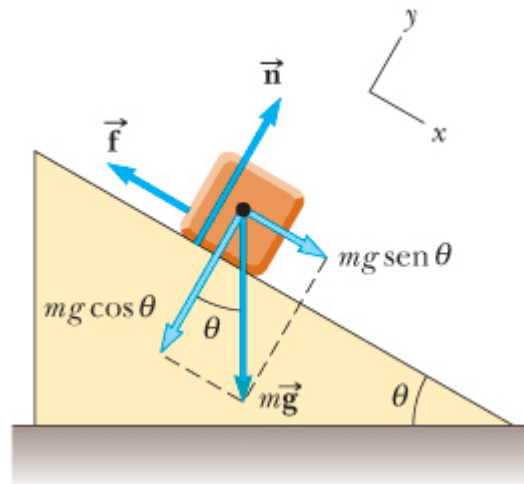


La forza d'attrito statico è diretta lungo il piano verso l'alto.
Perché il corpo scivoli si deve avere

$$mg \sin \theta > \mu_s mg \cos \theta$$

$$\tan \theta > \mu_s$$

→ Se $\theta > 45^\circ$ non si riesce a impedire lo scivolamento



Se il corpo si è messo in movimento allora conta l'attrito dinamico

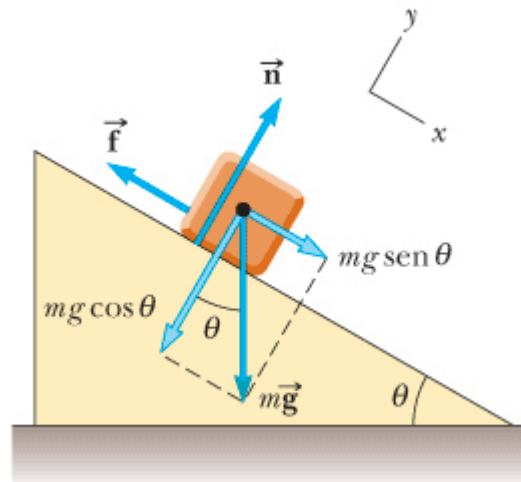
$$F_a = -\mu_d mg \cos \theta$$

$$a = g(\sin \theta - \mu_d \cos \theta)$$

Il moto è uniformemente accelerato verso il basso

Attenti al segno!

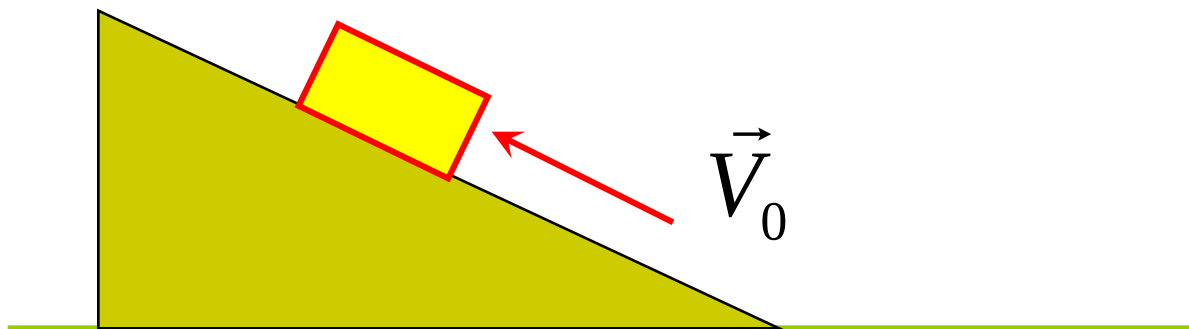
Supponiamo che il blocco sia stato lanciato verso l'alto e che stia salendo



$$F_a = \mu_d mg \cos \theta \quad \text{opposta a } \vec{V}$$

$$a = g(\sin \theta + \mu_d \cos \theta)$$

→ Questa volta forza peso e attrito sono **concordi** (frenano entrambe)



Corpo lanciato verso l'alto. Asse x parallelo al piano orientato verso l'alto

$$F_a = -\mu_d mg \cos \theta \quad \text{opposta a } \vec{V}$$

$$a = -g(\sin \theta + \mu_d \cos \theta)$$

Dopo quanto spazio si ferma se la sua velocità iniziale vale V_0 ?

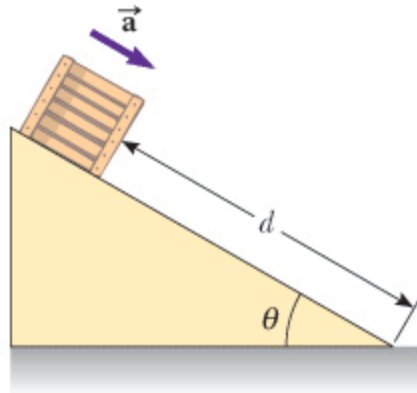
Usiamo la formula (lezione 3 p. 123)

$$2a(s_f - s_i) = v_f^2 - v_i^2 \quad \text{con } v_i = V_0 \quad v_f = 0$$

$$L = \frac{-V_0^2}{2a} = \frac{V_0^2}{2g(\sin \theta + \mu_d \cos \theta)}$$

una volta fermo il blocco resta dov'è se $\tan \theta \leq \mu_s$ (pag. 345), altrimenti scivola giù

Come mai $\mu_s > \mu_d$?



Supponiamo per assurdo che $\mu_s < \mu_d$ e scegliamo l'angolo tale che la cassa scendendo rallenti fino a fermarsi.

Ma se la cassa si ferma a questo punto la forza di attrito statico diminuisce e quindi la cassa si rimette in moto, per poi fermarsi e così via.

L'attrito è spesso indispensabile

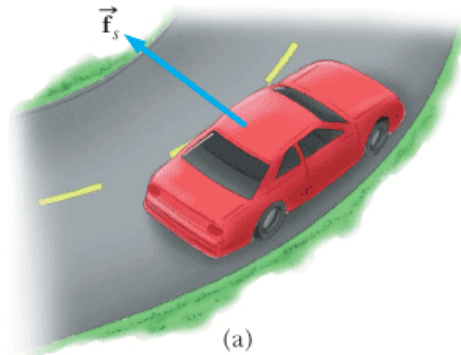


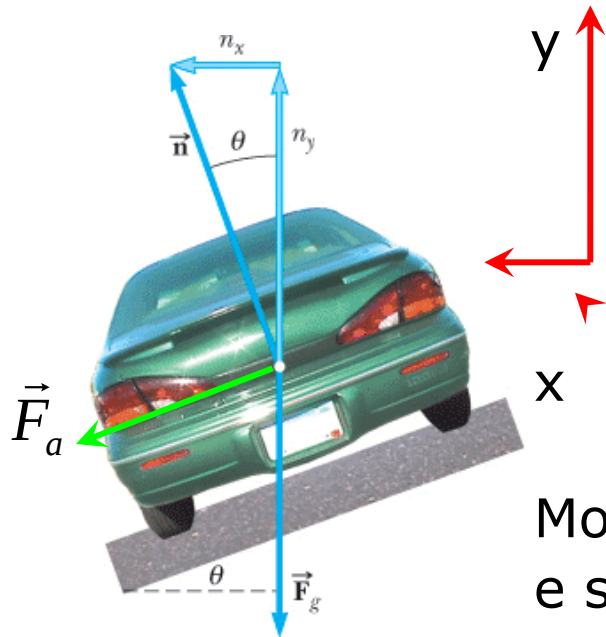
FIGURA 5.12

(Esempio 5.7) (a) La forza di attrito statico diretta verso il centro della curva fa sì che l'automobile si muova lungo una traiettoria circolare. (b) Diagramma di corpo libero per l'automobile.

$$f_a = \frac{mV^2}{R_{\text{curva}}} = \mu_s mg$$
$$R_{\text{curva}} = \frac{V^2}{\mu_s g}$$

**Attenzione: conta
l'attrito statico!**

115 m per 108 km/h



$$N \cos \theta - mg - F_a \sin \theta = 0$$

$$N \sin \theta + F_a \cos \theta = \frac{mV^2}{R}$$

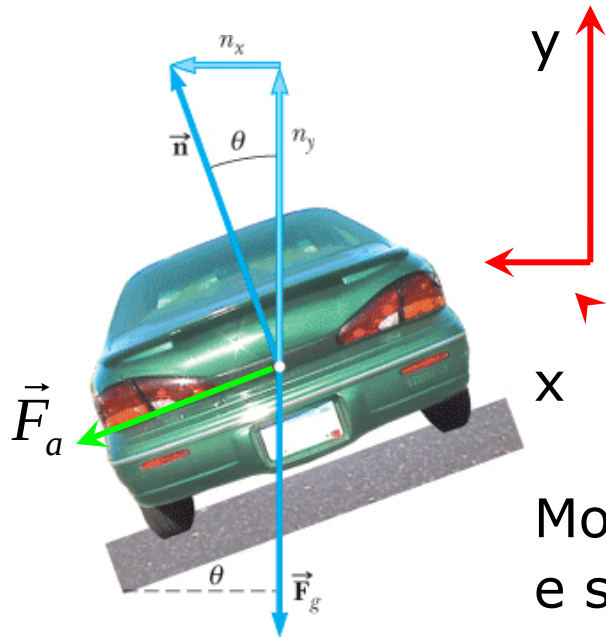
2 eq. nelle incognite F_a e N

Moltiplichiamo la I per $\cos \theta$ la II per $\sin \theta$
e sommiamole membro a membro

$$N \cos^2 \theta - mg \cos \theta - F_a \sin \theta \cos \theta = 0$$

$$N \sin^2 \theta + F_a \sin \theta \cos \theta = \frac{mV^2}{R} \sin \theta$$

$$N = mg \cos \theta + \frac{mV^2}{R} \sin \theta$$



$$N \cos \theta - mg - F_a \sin \theta = 0$$

$$N \sin \theta + F_a \cos \theta = \frac{mV^2}{R}$$

2 eq. nelle incognite F_a e N

Moltiplichiamo la I per $\sin \theta$ la II per $\cos \theta$ e sottraiamo la I dalla II

$$N \cos \theta \sin \theta - mg \sin \theta - F_a \sin^2 \theta = 0$$

$$N \sin \theta \cos \theta + F_a \cos^2 \theta = \frac{mV^2}{R} \cos \theta$$

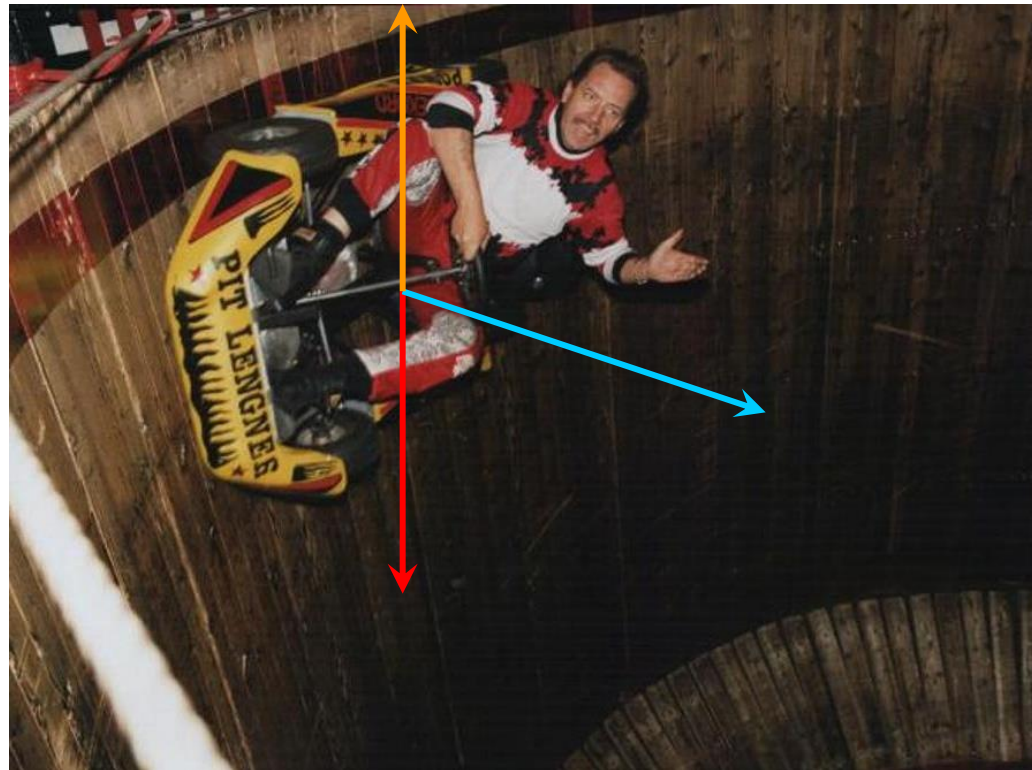
$$F_a = -mg \sin \theta + \frac{mV^2}{R} \cos \theta$$

si può avere F_a positiva
o negativa

$$F_a = -mg \sin \theta + \frac{mV^2}{R} \cos \theta \qquad N = mg \cos \theta + \frac{mV^2}{R} \sin \theta$$

$$|F_a| \leq \mu_s N$$

Esempio: se $\theta = \pi/2$ (muro verticale) $N = mV^2/R$ $F_a = -mg$
e dev'essere $gR < \mu_s V^2$

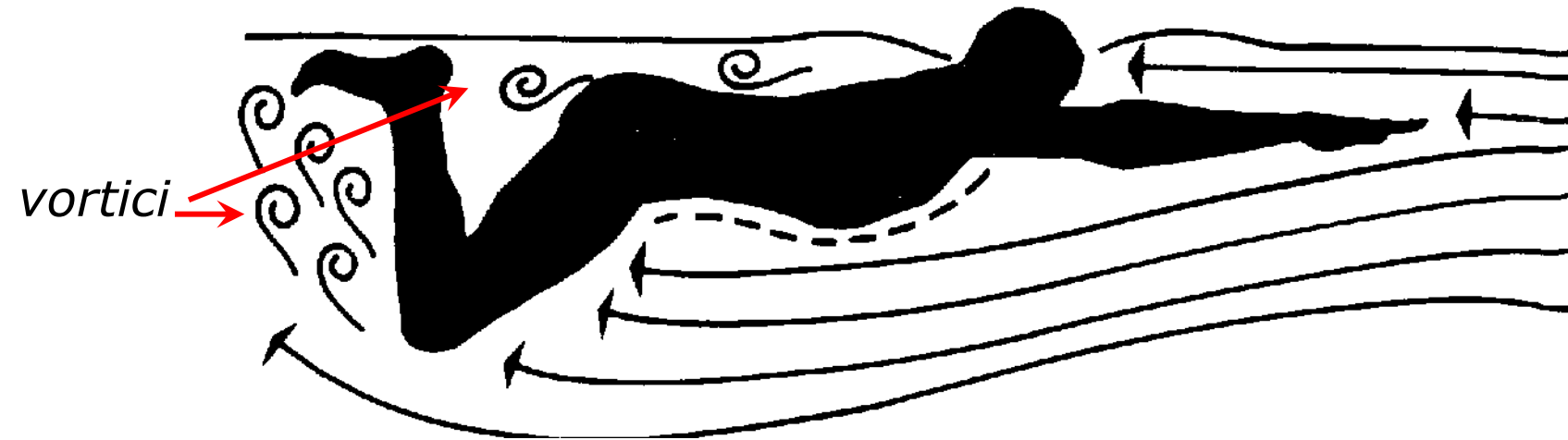




Attrito viscoso



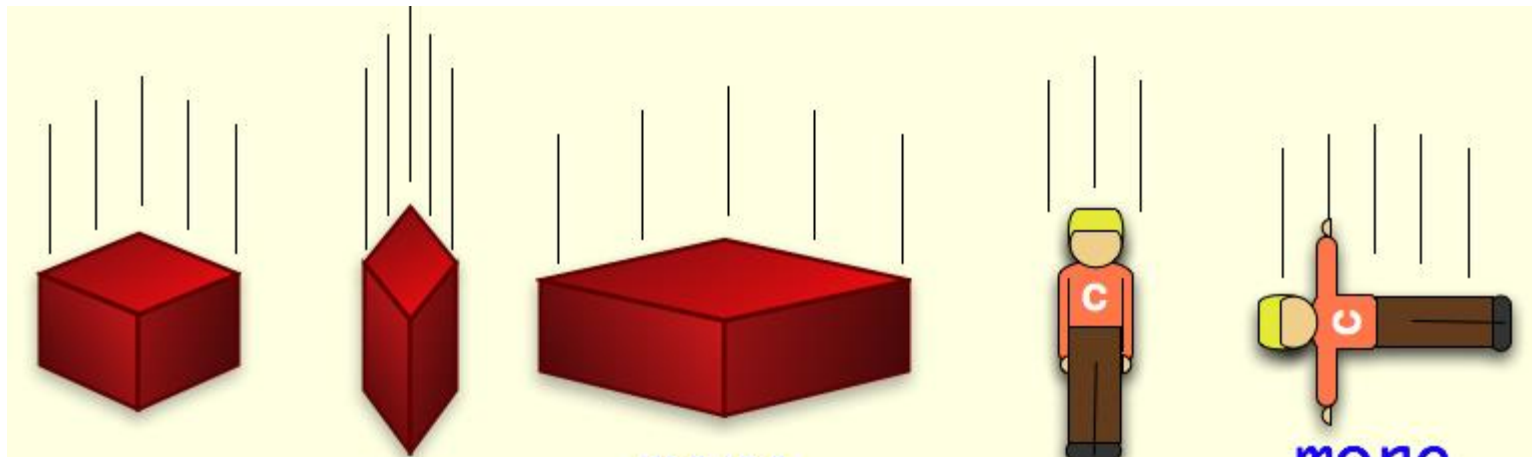
E' dovuto allo scorrimento di strati di fluido uno rispetto all'altro e di questi rispetto a un corpo in movimento.



A differenza dell'attrito fra solidi la forza resistente **R** in quello viscoso è dipendente dalla velocità.

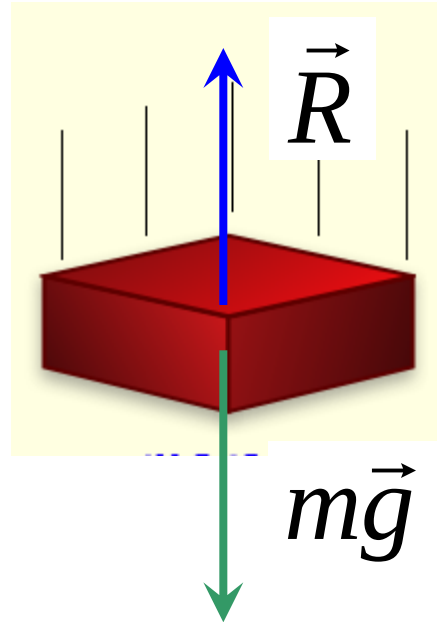
- si annulla a velocità zero
- aumenta con la velocità.

Inoltre R dipende molto dalla forma del corpo e in particolare dall'area della sezione investita frontalmente dal fluido



Il fatto che $R=f(v)$ fa sì che il moto sia più complicato di quello uniformemente accelerato. Esiste però anche una proprietà molto semplice ➡

Velocità limite



- ➔ A bassa velocità R si trascura e v cresce a causa di g
- ➔ Al crescere di v cresce R
- ☞ A un certo momento si realizza **obbligatoriamente** l'equilibrio

$$\vec{R}(v_{\infty}) + m\vec{g} = 0$$



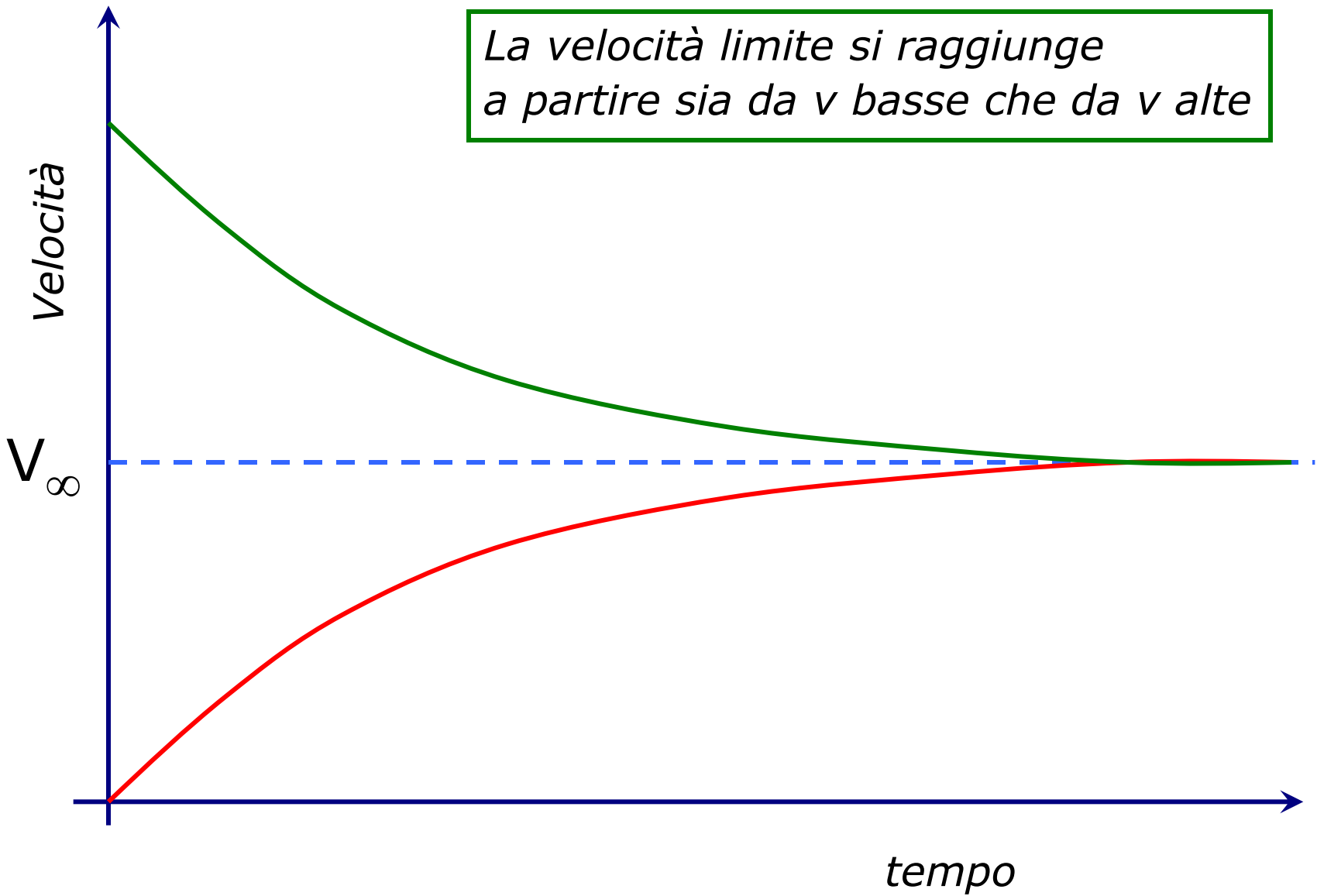
il moto diviene rettilineo uniforme perché la forza totale = 0

$$\vec{R}(v_{\infty}) + m\vec{g} = 0$$

La velocità V_{∞} per cui si ha equilibrio si chiama **velocità limite**

Si calcola facilmente per qualunque forza: basta scrivere che la risultante delle forze si annulla e si trova V_{∞}

Un corpo tende sempre alla velocità limite anche se è lanciato inizialmente ad alta velocità e deve rallentare per raggiungerla.





Esempio: la forza resistente dovuta all'aria si scrive in genere nella forma

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho A v^2$$

area della sezione

densità dell'aria

coefficiente aerodinamico

$$[R] = [C_x][\rho][A][v]^2 = [C_x] \frac{[M]}{[L]^3} [L]^2 \frac{[L]^2}{[T]^2} = [C_x][M] \frac{[L]}{[T]^2}$$

→ C_x è un numero adimensionale

Citroen CX



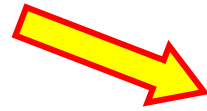
.....un nome scelto non a caso.....

Alfa Romeo BAT 5 (1953)



$$C_x = 0,19$$

$$mg = \frac{1}{2} C_x \rho A v_\infty^2$$



$$v_\infty = \sqrt{\frac{2mg}{C_x \rho A}}$$

aria
 $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Chicco di grandine $r=0,5 \text{ cm}$ $A=\pi r^2$, $m=0,5 \text{ grammi}$, $C_x=1$

$$v_\infty = \sqrt{\frac{2 \times 0,0005 \times 9,8}{1 \times 1,2 \times \pi \times 0,005^2}} = 10,2 \text{ m/s}$$

$$v_{\infty} = \sqrt{\frac{2mg}{C_x \rho A}}$$

aria
 $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Paracadutista $D=7,3 \text{ m}$, $A=\pi r^2$, $m=100 \text{ kg}$ $C_x=0,75$



$$v_{\infty} = \sqrt{\frac{2 \times 100 \times 9,8}{0,75 \times 1,2 \times \pi \times 3,65^2}} = 7,2 \text{ m/s}$$

Extra

