

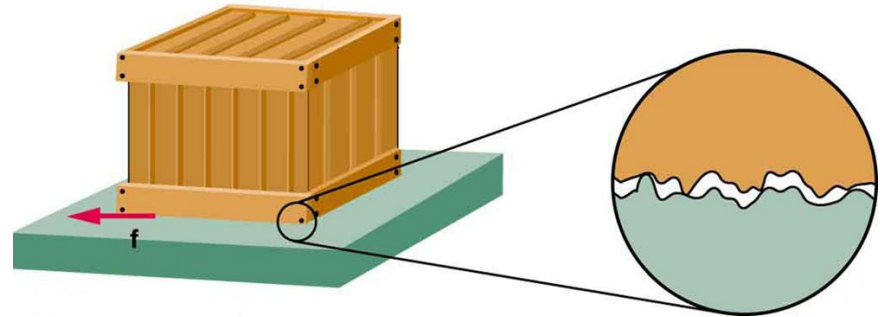
Forze di attrito

Forze di attrito

- Si oppongono al moto
- Sfregamento fra due “superfici”
- Attrito fra solidi
- Attrito fra solido e liquido

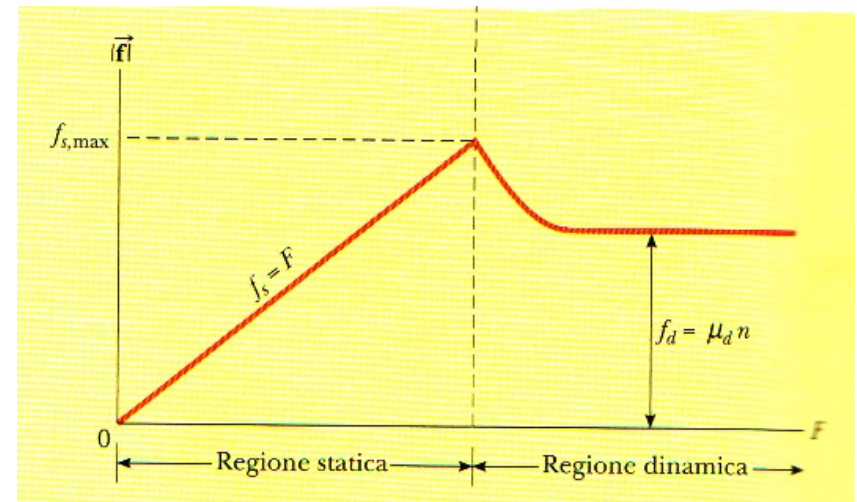
Attrito fra solidi

- Superficie:
 - macroscopico: liscia
 - microscopico: asperità
- Per ridurlo
 - superfici più lisce
 - ma se troppo lisce, aumenta area di contatto
 - lubrificanti fra le due superfici
- E non sempre va ridotto



Attrito radente

- Se si sposta un corpo, si osserva che
 - si deve applicare **una certa forza** prima che il corpo si metta in moto
 - successivamente per mantenere il corpo in moto è sufficiente **una forza minore**



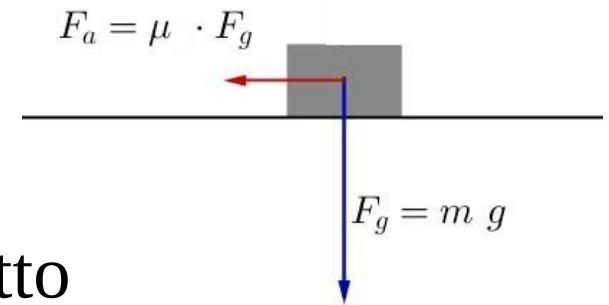
- Inoltre la forza da applicare per vincere queste **forze di attrito** dipende anche dalla massa del corpo

Attrito statico

- Si manifesta all'inizio del moto

$$F_s = \mu_s m g \mathbf{n}$$

- \mathbf{n} versore parallelo alla superficie
- indipendente dalla superficie di contatto
- μ_s coefficiente di attrito statico
 - » dipende dai materiali e dalle condizioni delle superfici

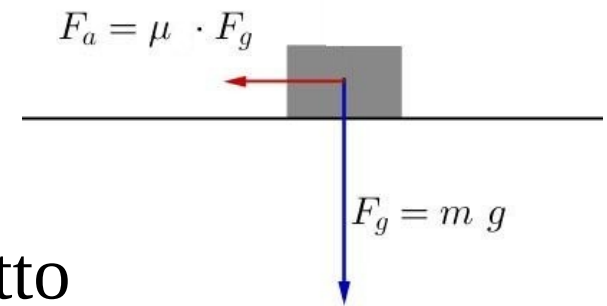


Attrito dinamico

- Si manifesta durante il moto

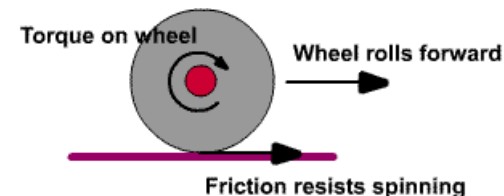
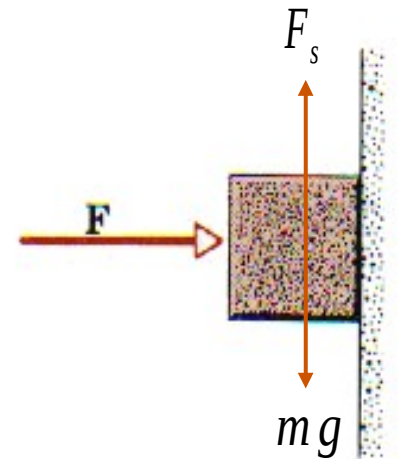
$$F_d = \mu_d m g \mathbf{n}$$

- \mathbf{n} versore parallelo alla superficie
- indipendente dalla superficie di contatto
- μ_d coefficiente di attrito dinamico
 - » dipende dai materiali e dalla condizioni delle superfici
- è sempre $\mu_d < \mu_s$



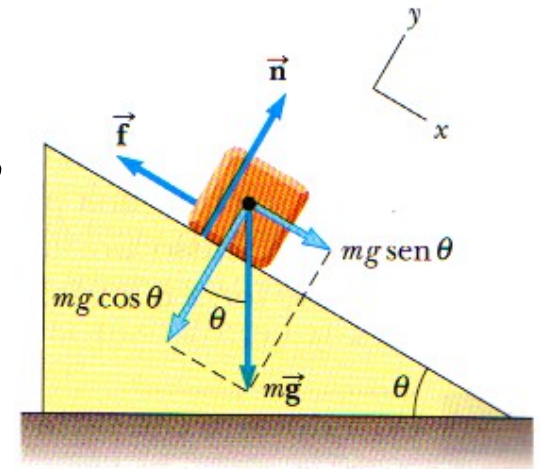
Forze di attrito

- È opportuno notare che le **forze di attrito** sono sempre **perpendicolari** alle forze che le generano
 - ad esempio premendo con una forza F un blocco di massa m contro un muro, si hanno le forze rappresentate
 - la forza di attrito è dovuta alla forza F applicata e *non* alla forza peso del corpo, ed è perpendicolare ad essa
- Le forze di attrito discusse fino ad ora sono di tipo **radente**, ma nei moti reali possono entrare in gioco anche forze di **attrito volvente** (o di **rotolamento**)



Coefficienti di attrito

- Per misurare μ_s e μ_d
 - sul blocco agiscono la *forza di gravità* mg , la *forza normale* \mathbf{n} e la *forza di attrito statico* \mathbf{f}
 - aumentando l'inclinazione del piano (l'angolo θ) si arriva all'angolo critico θ_c in cui il blocco inizia a scivolare

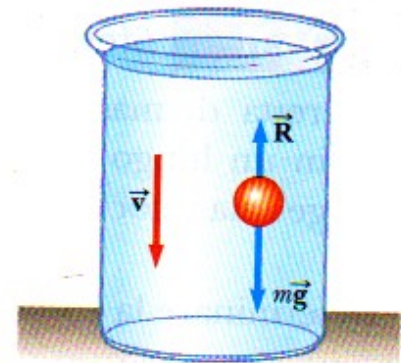


$$mg \sin \theta_c = f_s = \mu_s mg \cos \theta_c \longrightarrow \mu_s = \tan \theta_c$$

- quando il blocco inizia a scivolare, accelera \rightarrow si riduce l'angolo θ , fino a quando il corpo scivola con velocità costante $\longrightarrow \mu_d = \tan \theta'$

Forze di resistenza

- Quando un corpo si muove in un mezzo, oltre alle forze di attrito tra le superfici esistono anche forze di attrito tra il corpo ed il mezzo (**forze di resistenza**)
- Queste forze dipendono dalla velocità relativa tra il corpo ed il mezzo
- In genere sono complicate
 - alcuni casi particolari



Forze di resistenza

- A basse velocità $R \propto v$

$$R = b v$$

- b **costante** che dipende dal **mezzo** e dal **corpo** (forma e dimensioni)

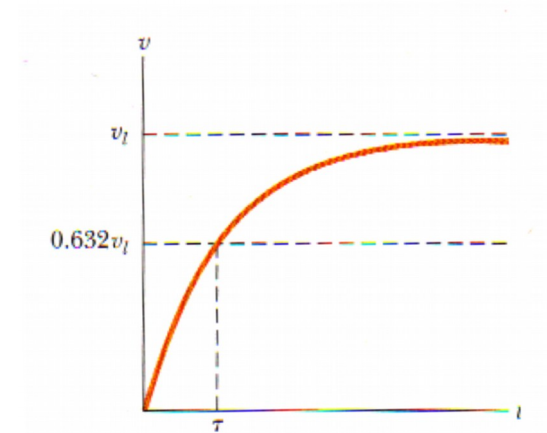
- Per cui

$$\sum F = m a \quad \Rightarrow \quad m g - b v = m \frac{d v}{d t}$$

Forze di resistenza

- L'accelerazione del corpo aumenta fino a quando la sua velocità è tale che la forza di attrito è **pari** alla forza di gravità

– a quel punto $a = dv/dt = 0$



– poi il corpo si muove di *moto rettilineo uniforme* con una **velocità limite** v_l

$$\frac{dv}{dt} = g - \frac{b}{m}v_l = 0$$



$$v_l = \frac{mg}{b}$$

Forze di resistenza

- In altri casi (ad es. oggetti grossi che si muovono in aria come un aereo o un'automobile) $R \propto v^2$

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

- ρ **densità** dell'aria, A **area** della sezione dell'oggetto (in un piano perpendicolare al moto) D una **costante** che dipende dalla **forma** del corpo, *adimensionale* e determinata *empiricamente*

- Per cui

$$\sum F = m a \quad \Rightarrow \quad m g - \frac{1}{2} D \rho A v^2 = m \frac{d v}{d t}$$

Forze di resistenza

- Anche in questi caso l'accelerazione del corpo aumenta fino a quando la sua velocità è tale che la forza di attrito è **pari** alla forza di gravità
 - quindi $a = dv/dt = 0$
 - quindi la sua **velocità limite** v_l

$$\frac{dv}{dt} = g - \left(\frac{D \rho A}{2m} v^2 \right) = 0 \quad \rightarrow \quad v_l = \sqrt{\frac{2mg}{D \rho A}}$$