

# Fisica per applicazioni di realtà virtuale

Anno Accademico 2022-23

Prof. Matteo Brogi

Dipartimento di Fisica, stanza B3, nuovo edificio

## **Lezione 5**

Meccanica classica: dinamica (parte 2)

# La dinamica

---

Descrive **le cause del moto**: *perché si muove?*

- ▶ Forze e loro caratteristiche
- ▶ Principi della dinamica (leggi di Newton)
- ▶ Dinamica del moto circolare uniforme
- ▶ Forza e accelerazione di gravità
- ▶ Tipi di forze: elastica, vincolare, di attrito
- ▶ Piano inclinato
- ▶ Moto circolare con attrito e gravità
- ▶ Leggi di Keplero e orbite planetarie
- ▶ Principio di equivalenza

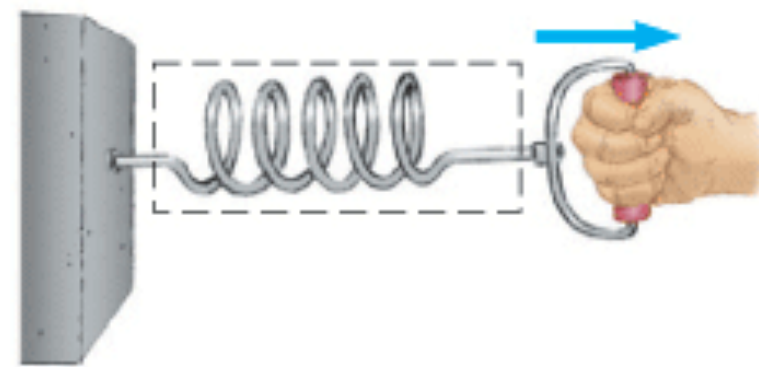
# Le forze

Sono quantità **vettoriali** (modulo, direzione, verso)

Causano una **variazione** dello stato di moto o quiete di un corpo

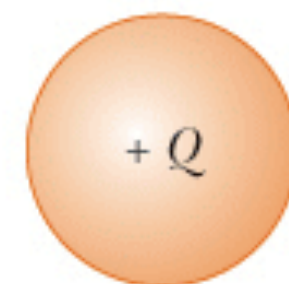
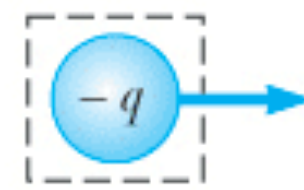
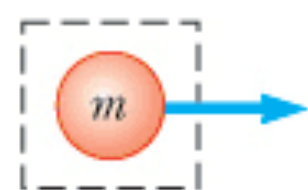
Possono **deformare** un corpo

## *Di contatto*



*Necessitano un punto di applicazione*

## *Di campo*



*Agiscono a distanza  
(permeano lo spazio)*

NB: le forze di contatto sono in realtà forze di campo su scala macroscopica

# Primo principio della dinamica (I legge di Newton)

Detto anche semplicemente **legge di inerzia**

*In assenza di forze esterne, un corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme*

Velocità (vettoriale) **costante**  
(modulo, direzione, verso)



Il moto in assenza di forze è  
**rettilineo uniforme**

**Sistemi inerziali**

*Vale il principio d'inerzia  
È necessaria una causa (forza)  
per cambiare il moto di un corpo*

**Sistemi non  
inerziali**

*Variazione del moto senza causa evidente  
Forze “apparenti” necessarie  
(sistemi in moto accelerato)*



# Secondo principio della dinamica (II legge di Newton)

Detto anche semplicemente **legge di Newton**

*L'accelerazione di un corpo è direttamente proporzionale alla forza risultante che agisce su di esso, e inversamente proporzionale alla massa*

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

*Forza **risultante**  
la somma (vettoriale)  
di tutte le forze agenti*

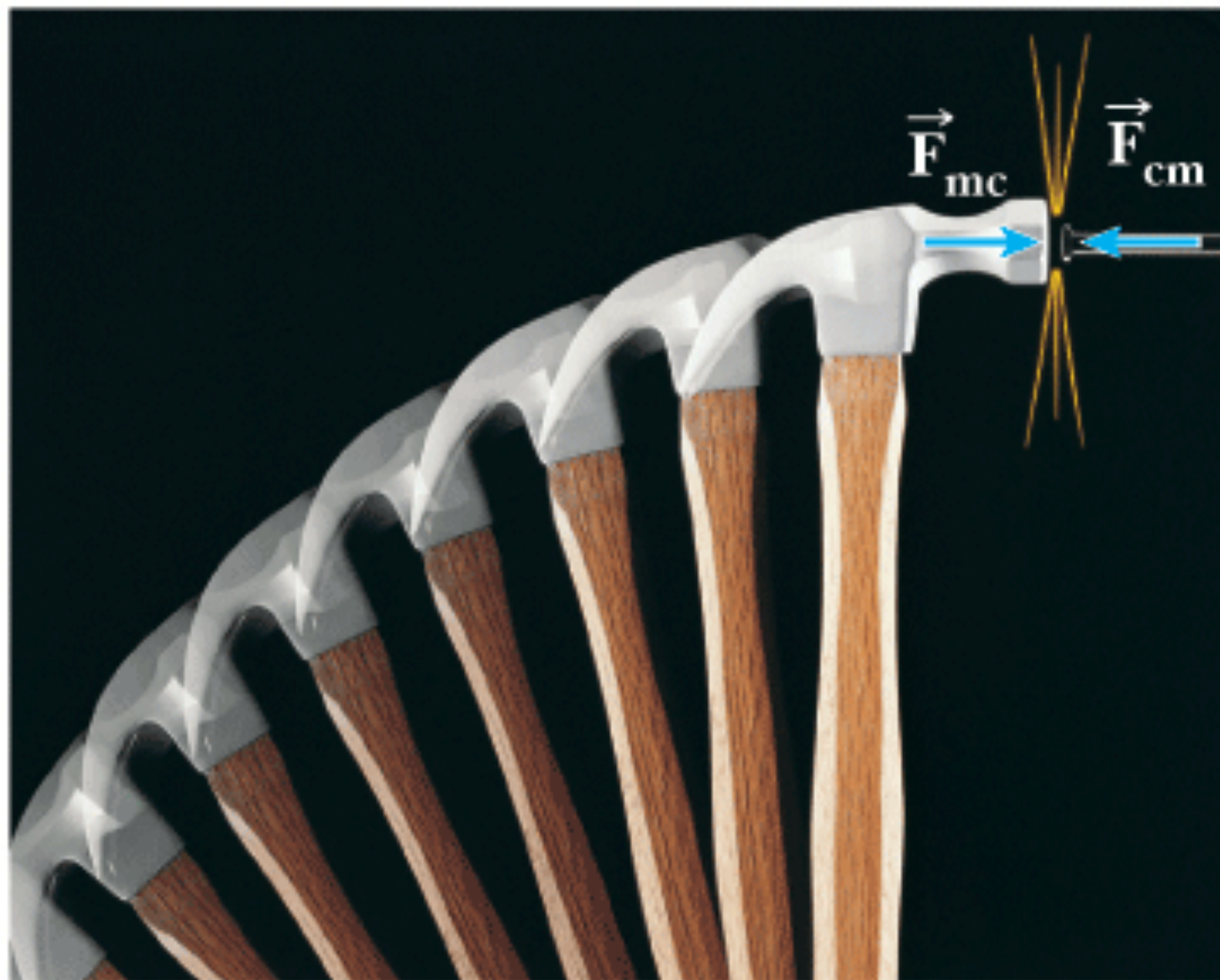
*Massa **inerziale** (passiva)  
La costante di proporzionalità  
tra forza e accelerazione*

La massa è una grandezza **scalare**  
con **unità**  $N = \text{kg m s}^{-2}$  e **dimensioni**  $[\text{MLT}^{-2}]$

# Terzo principio della dinamica (III legge di Newton)

Detto anche principio di **azione e reazione**

*Nell'interazione tra due corpi A e B, la forza esercitata da A su B è uguale e opposta a quella esercitata da B su A*



$$\vec{F}_{ab} = - \vec{F}_{ba}$$

*Stesso modulo e direzione  
ma **segno** opposto*

**Nota:** le due forze **agiscono su corpi diversi!**  
(es. in figura  $F_{mc}$  sul chiodo e  $F_{cm}$  sul martello)



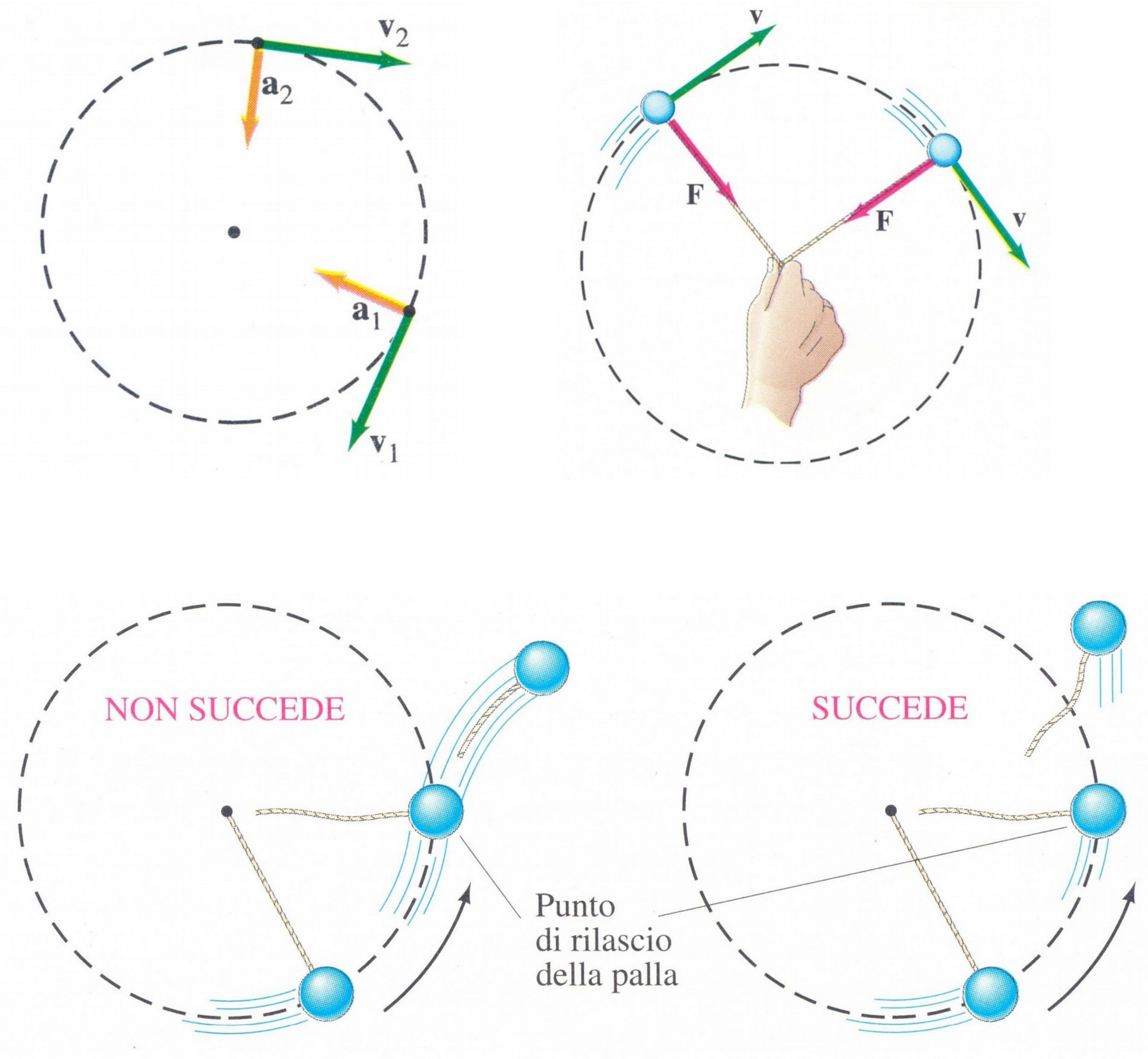
# Dinamica del moto circolare uniforme

Lezione sulla **cinematica**:  
accelerazione **centripeta**  
(solo la direzione cambia  
 $\Rightarrow$  accelerazione normale)

**Il principio**  $\Rightarrow$  esiste una **forza**  
(tensione della corda)  $v^2$

$$F_c = ma_c = m \frac{v^2}{r}$$

**Il principio**  
 $\Rightarrow$  moto rettilineo uniforme  
Dopo la rottura la traiettoria  
non può più curvare



# La forza gravitazionale

Legge di Newton della **gravitazione universale** (1687)

*Costante di gravitazione universale*

$$G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

*Massa **gravitazionale** (attiva)*

*La costante di proporzionalità  
tra forza e accelerazione*

*(della massa  $m_1$   
sulla massa  $m_2$ )*

$\vec{F}_{12}$

=

$$Gm_1m_2$$

$$|\vec{r}_{12}|^2$$

$\hat{u}_r$

*Forza **attrattiva**  
tra le masse*

*Il versore allineato con il vettore  
congiungente i due corpi*

Forza di campo a **range infinito**, proporzionale alla massa

**Esperienza di Cavendish:** prova sperimentale dell'attrazione tra due masse



# L'accelerazione gravitazionale sulla Terra

Accoppiamo la gravitazione universale e la II legge di Newton

$$F_g = - \frac{GM_{\oplus} \cancel{m}}{R_{\oplus}^2} = \cancel{m}g$$

$$M_{\oplus} = 5.972E24 \text{ kg}$$

$$R_{\oplus} = 6.371E6 \text{ m}$$

$$\Rightarrow \mathbf{g} = -9.81 \text{ m s}^{-2}$$

***inerziale = gravitazionale***  
*L'accelerazione non dipende  
dalla massa inerziale del corpo*

**Esercizio 3.01:** Dimostrare che il valore dell'accelerazione gravitazionale non cambia sensibilmente tra il livello del mare e la cima del monte Everest (8,800 m)

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

Forza **peso**: proporzionale alla massa  
(*peso*  $\neq$  massa!!)

# Moto circolare verticale + gravità

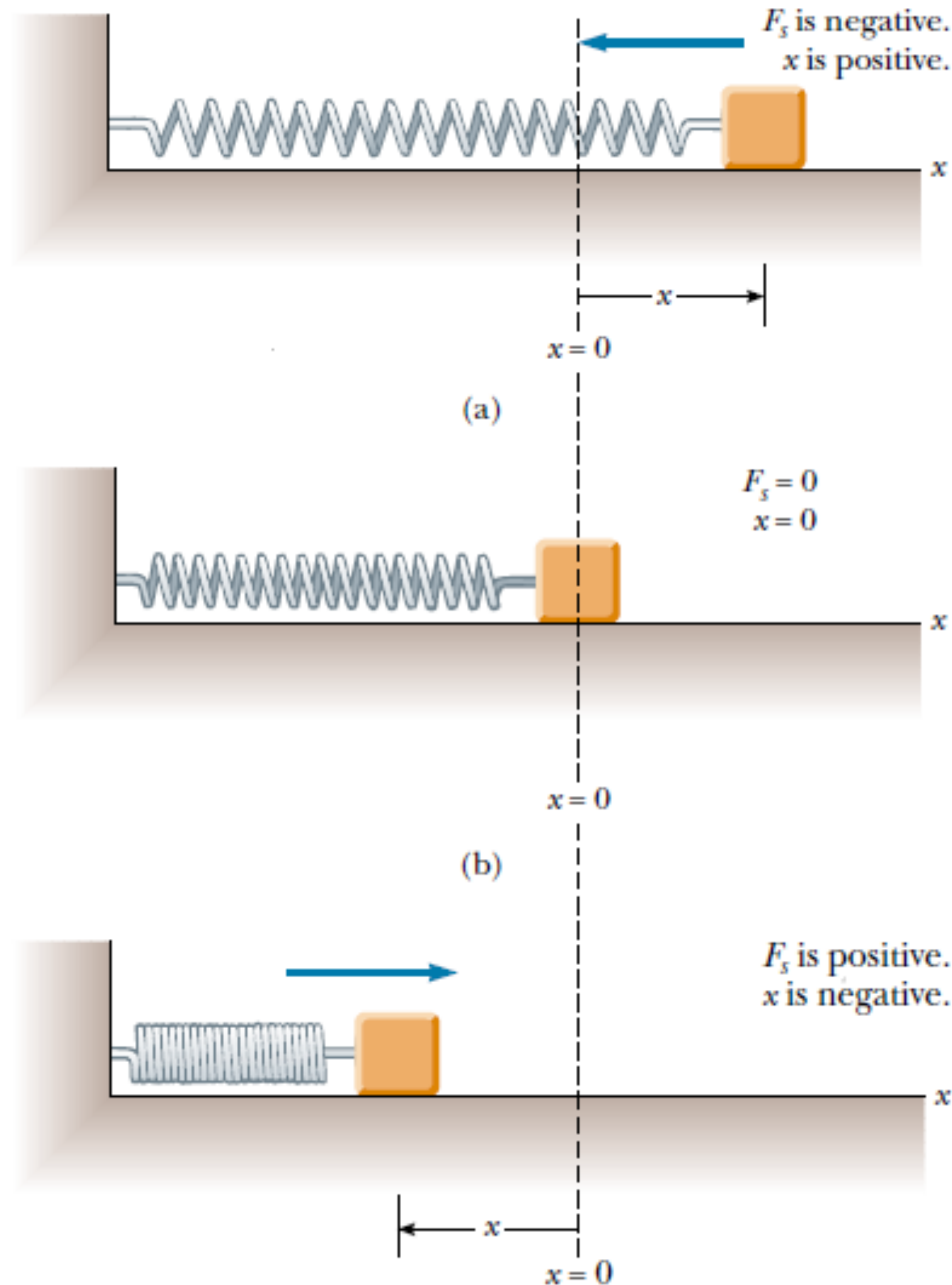
## Un moto circolare *non-uniforme*

**Esercizio 3.02:** Una palla da 0.15 kg legata all'estremità di una corda lunga 1.10 m, di massa trascurabile, viene fatta roteare descrivendo un cerchio verticale.

- a) Determinare la velocità minima che la palla deve avere nel punto più alto della sua traiettoria, affinché possa continuare a muoversi descrivendo un cerchio.
- b) Calcolare la tensione della corda nel punto più basso della traiettoria, assumendo che la palla si stia muovendo con velocità doppia di quella calcolata nel punto a).

Questo esercizio introduce il concetto di  
“analisi delle forze” e “diagramma del corpo libero”:  
un disegno schematico per identificare tutte le forze in gioco  
e semplificare il problema quanto più possibile.

# La forza elastica



*La forza elastica è proporzionale all'elongazione della molla*

$$\vec{F} = -k(\vec{x} - \vec{x}_0) \quad \text{Legge di Hooke}$$

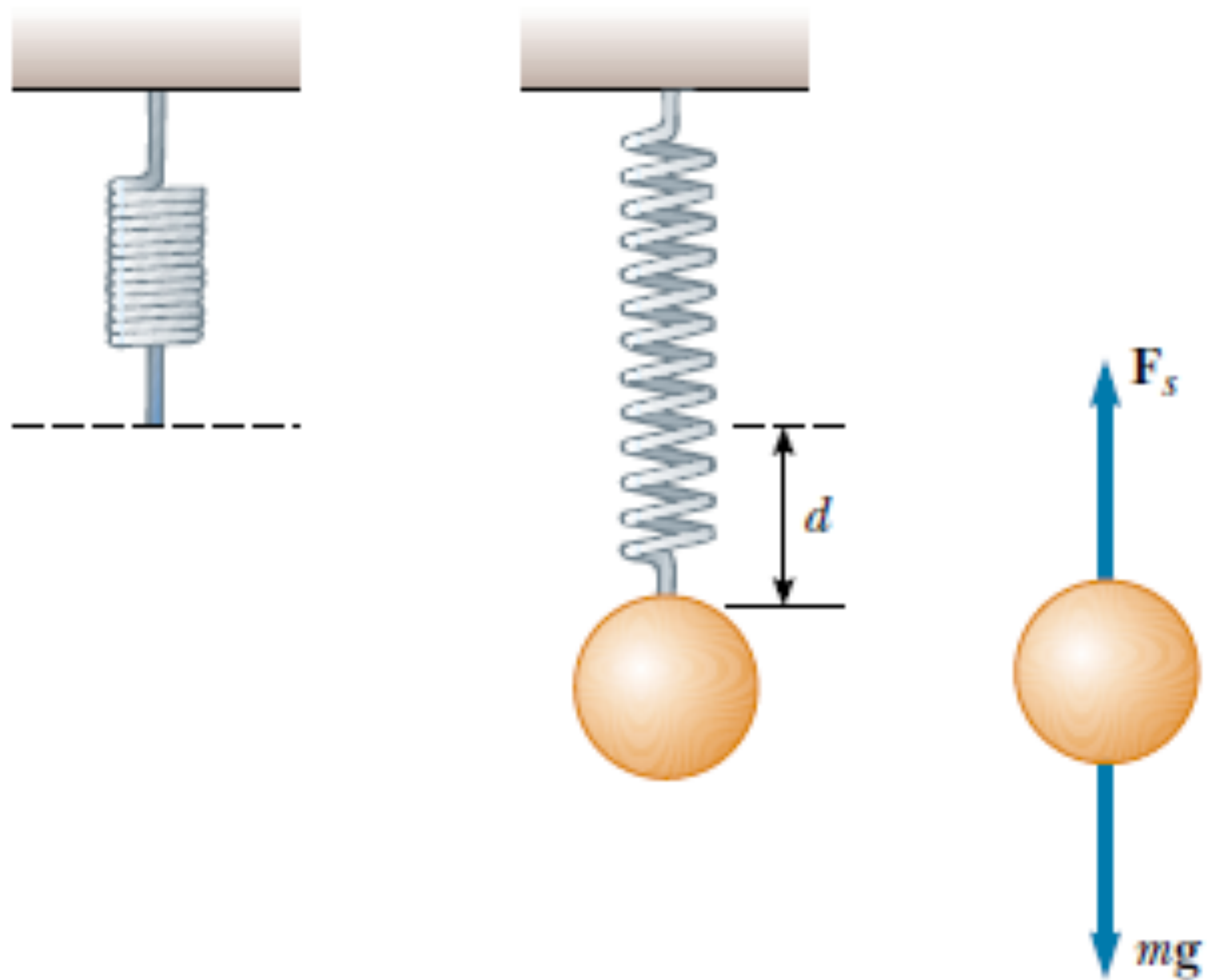
*Costante elastica della molla*

**F** sempre opposta allo spostamento  
 $\Rightarrow$  forza **di richiamo**

**F** punta sempre verso la posizione di equilibrio (compressione / allungamento)



# La prima bilancia: il dinamometro



La forza di richiamo deve bilanciare la forza peso

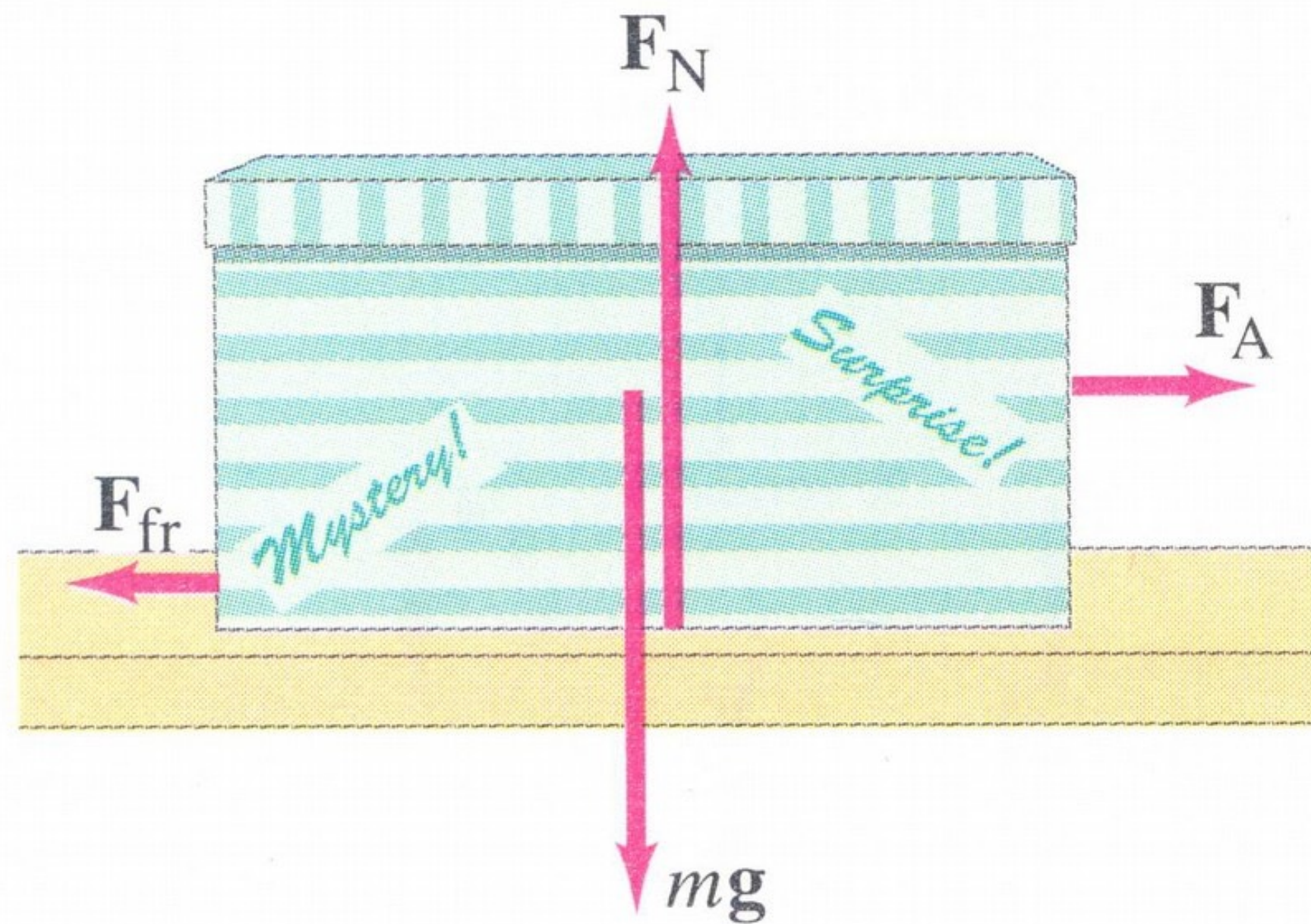
Analisi dimensionale:  
 $[k] = \text{N m}^{-1} = [M][T^{-2}] [L] [L^{-1}]$

**Esercizio 3.03:** Una dinamometro sulla Terra si allunga di 20 cm quando vi si appende una massa. Di quanto si allungherebbe se la stessa misura fosse eseguita sulla Luna, che ha 1/81 della massa terrestre e un raggio 3.67 volte più piccolo?



# La III legge della dinamica “in atto”: forze vincolari

Vincoli: “costringono” il moto (es. in una direzione)



$\vec{F}_A$

**Forza applicata**

$\vec{F}_{fr}$

**Forza frenante (prossima slide)**

$\vec{F}_N$

**Reazione vincolare:**  
Bilancia la componente normale al vincolo della forza risultante

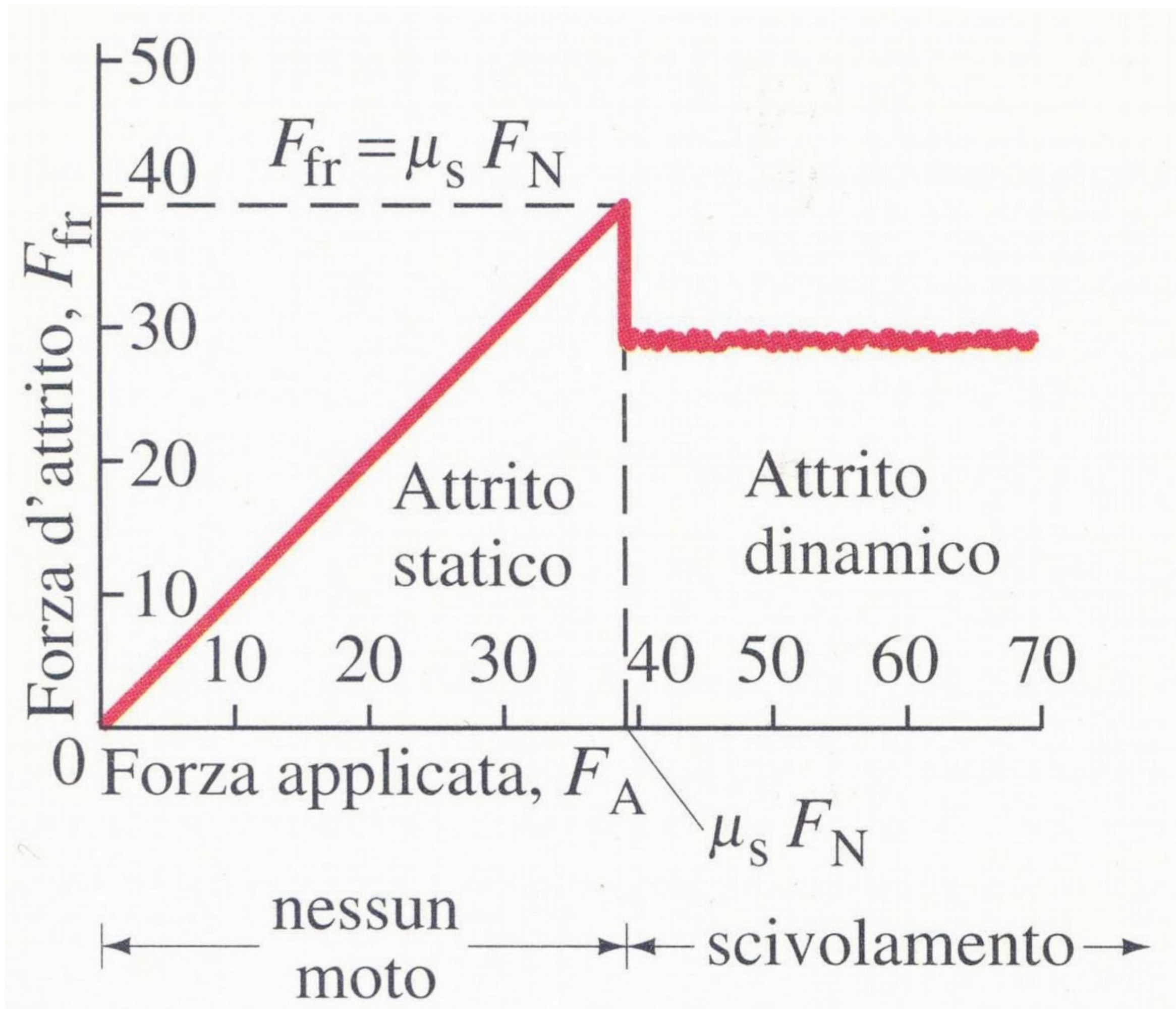
*Non c'è moto lungo  $y$   
(la componente normale al vincolo è nulla)*





# Forza di attrito (statico e dinamico)

Forza “frenante”  $\mathbf{F}_{fr}$  che si oppone alla forza applicata  $\mathbf{F}_A$   
Modulo proporzionale alla forza normale al vincolo:  $F_{fr} = \mu F_N$   
( $\mu$  = coefficiente di attrito)



Non c'è moto ( $\Sigma \mathbf{F} = 0$ )

**Statico**  $F_{fr}$  bilancia  $F_A$  fino a un max

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

C'è moto! ( $\Sigma \mathbf{F} \neq 0$ )

$F_A$  supera il valore  $\mu_s F_N$

**Dinamico**

$$F_{fr} = \mu_d F_N$$
$$\mu_d < \mu_s$$