



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Lezione 3

Dinamica del punto materiale

Corso di Fisica Medica (050ME-9)

Corso di Laurea Triennale in Fisioterapia – A.A. 2025/2026

Dipartimento di Scienze Mediche Chirurgiche e della Salute

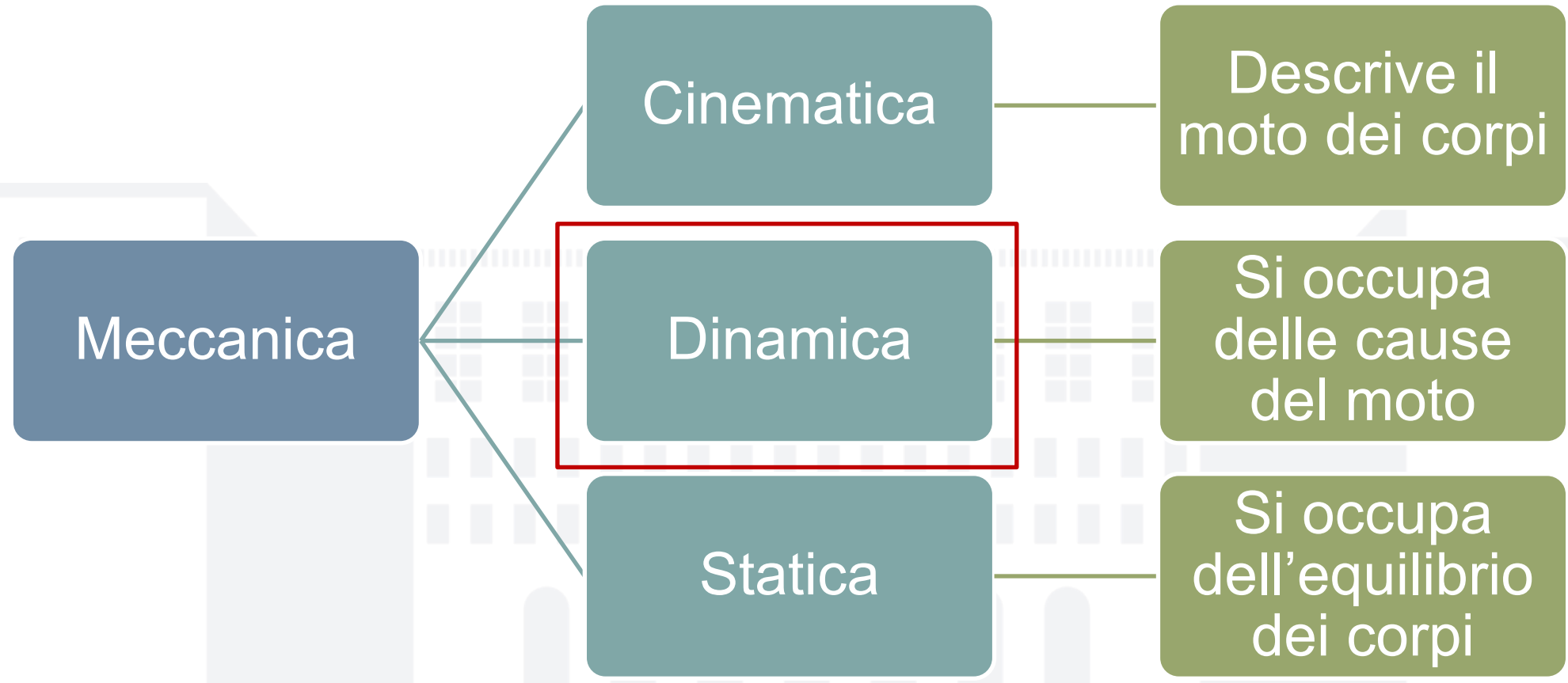
Luca Brombal

email: lbrombal@units.it

tel: 040 558 2778

29 OTTOBRE 2025

Cominciamo!



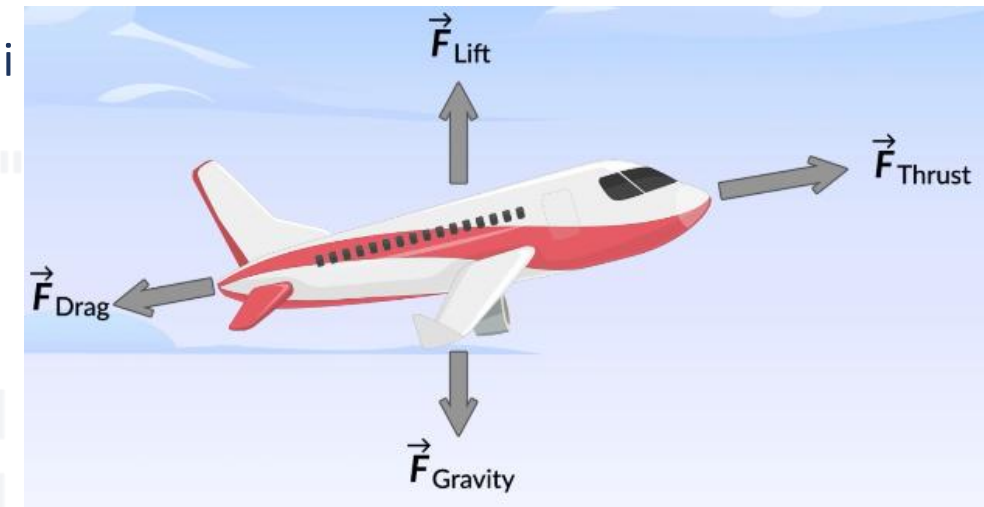
Dinamica del punto materiale: argomenti

- Definizione di forza
- I tre principi della meccanica
- L'equilibrio traslazionale
- Esempi notevoli di forza
 - forza peso
 - forza gravitazionale/forza peso
 - forze di contatto e di attrito (statico e dinamico)
 - tensione di una corda
 - forze elastiche

Introduzione alla dinamica del punto materiale

- La cinematica «descrive» il moto degli oggetti, la **dinamica** (dal greco «dynamis» = forza) ne **studia il moto in relazione alle cause che lo producono**
- Per porre in movimento un oggetto, ossia per modificarne lo stato di quiete, è necessario che vi sia un'interazione con un altro oggetto (p.es. lo spingiamo con la mano).
- Dato un oggetto in movimento, anche per modificarne la velocità è necessaria un'interazione con un altro corpo (p.es. un oggetto su un piano ruvido subirà una decelerazione a causa dell'attrito)
- L'interazione in grado di determinare una variazione nello stato di quiete o di moto dell'oggetto prende il nome di forza

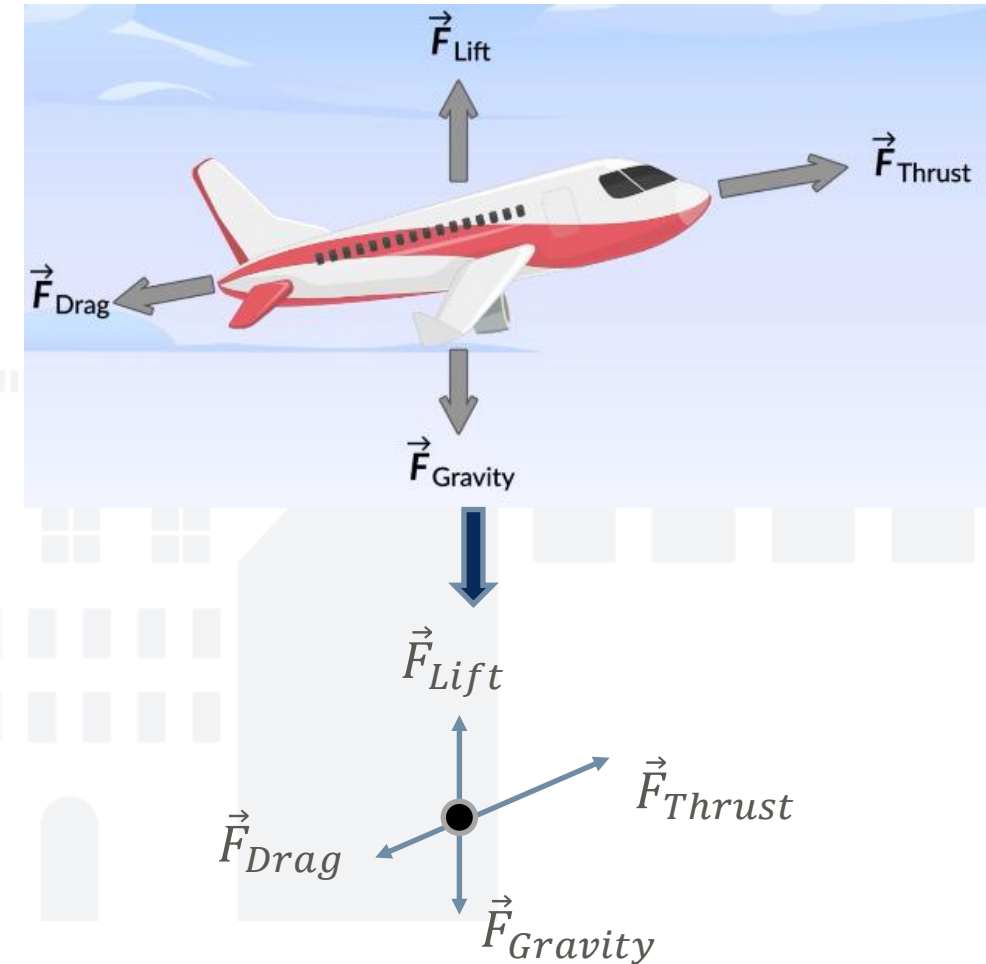
[Video](#)



Introduzione alla dinamica del punto materiale

- Nota: si dice «del punto materiale» perché ipotizziamo che gli oggetti in questione siano approssimabili ad un punto

→ tutte le forze agenti sull'oggetto sono applicate sullo stesso punto



Forza: caratteristiche

- La forza è una **quantità vettoriale** $\vec{F}$

→ è caratterizzata da:

- intensità ($|\vec{F}| = F$)
- direzione
- verso

- Vale il **principio di sovrapposizione**:

L'effetto di più forze agenti sull'oggetto è pari all'effetto di una singola forza (netta) data dalla risultante della somma vettoriale delle forze.

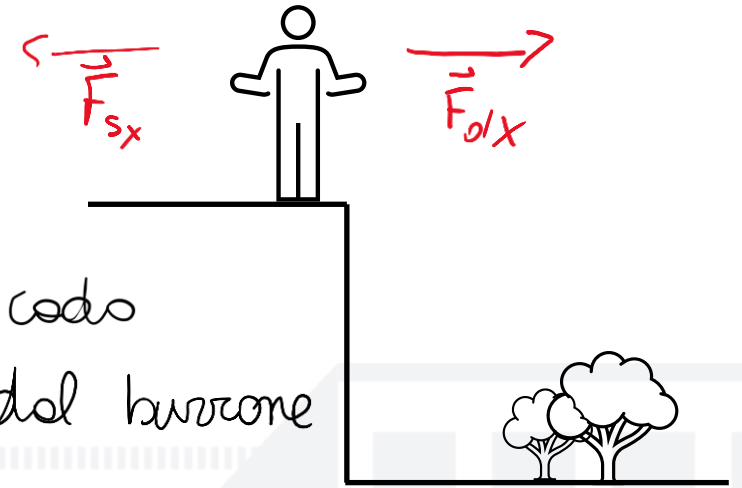
$$|\vec{F}_{sx}| = |\vec{F}_{dx}|$$

$$\vec{F}_{sx} = -\vec{F}_{dx}$$

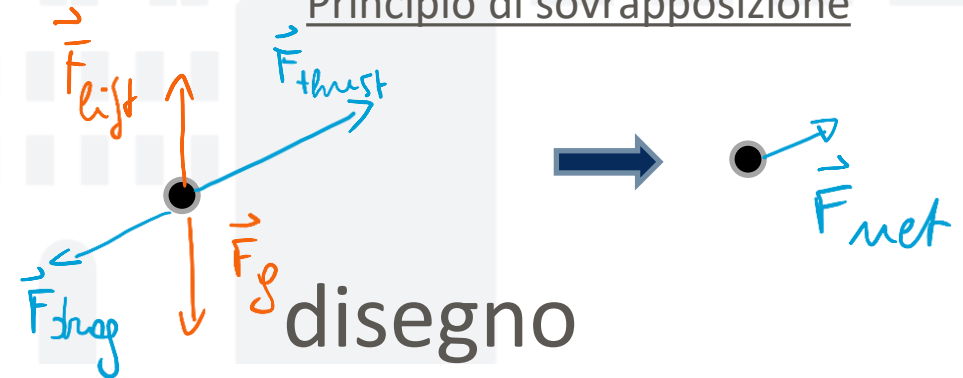
mi salvo
dalla caduta

codice
del barcone

disegno



Principio di sovrapposizione

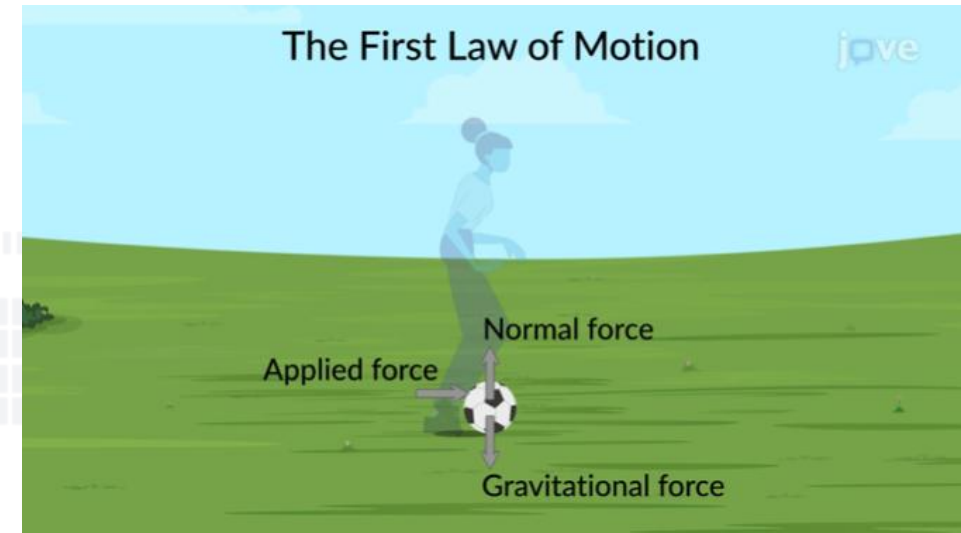


disegno

Prima legge della dinamica

- «Un corpo permane nel proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché delle forze non intervengono a mutare tale stato»

[Video](#)



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

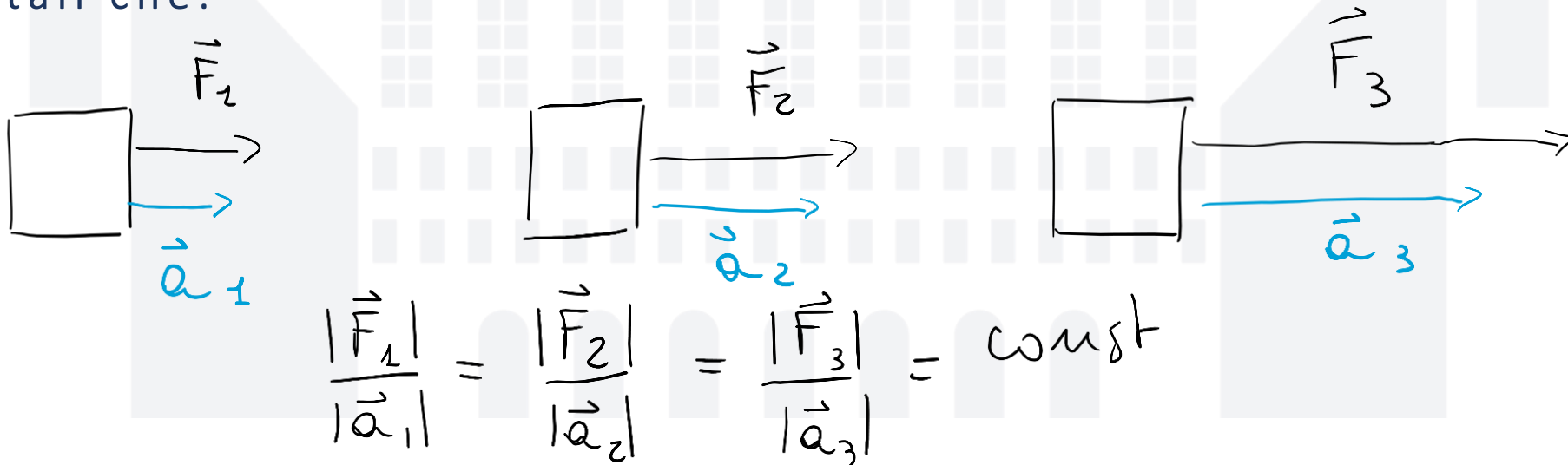
La somma delle forze agenti è uguale a 0
se e solo se l'accelerazione del corpo è 0

- E' noto anche come «**principio di inerzia**»
L'inerzia è la tendenza degli oggetti a permanere nel proprio stato (di quiete o di moto rettilineo uniforme).

* NOTA: vale nei sistemi di riferimento inerziali:
p. es. stelle fisse

Seconda legge della dinamica (1/3)

- Una forza applicata ad un corpo libero di muoversi determina un'accelerazione
Un'accelerazione è sempre la manifestazione di una forza
- Se applichiamo in successione forze $F_1, F_2, F_3, \dots$, con identici direzione e verso sullo stesso oggetto notiamo che le accelerazioni impresse al corpo $a_1, a_2, a_3, \dots$, sono tali che:



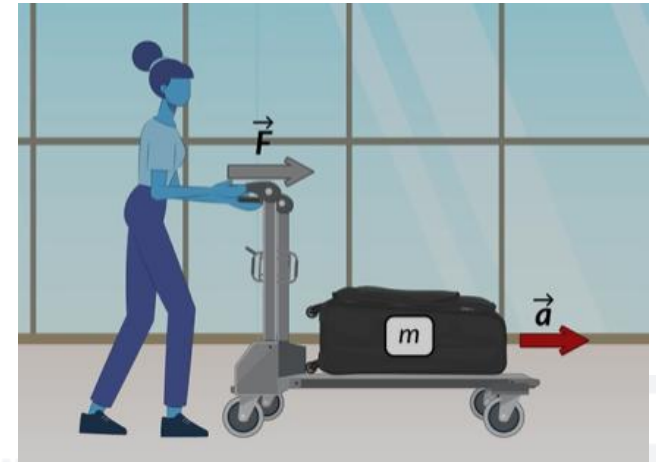
Seconda legge della dinamica (2/3)

- La costante di proporzionalità che lega forza ed accelerazione è una caratteristica intrinseca dell'oggetto su cui la forza agisce e prende il nome di massa inerziale (m)
- La massa (inerziale) è una grandezza scalare, positiva e indipendente dal metodo di misura.
- La seconda legge della dinamica è:

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

Nota: per $\vec{F}$ si intende la risultante delle forze, ovvero la somma vettoriale di tutte le forze applicate sull'oggetto. Un modo più formalmente corretto di indicare la seconda legge della dinamica è':

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



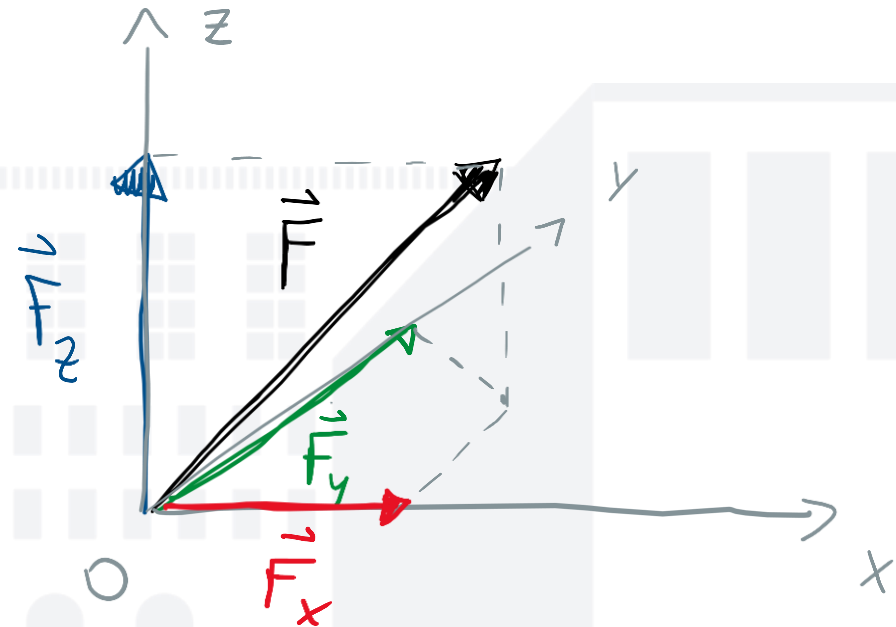
Seconda legge della dinamica (3/3)

- Poiché vale il principio di sovrapposizione, se abbiamo forze lungo diverse direzioni nello spazio, possiamo «scomporre» la seconda legge della dinamica nelle sue componenti cartesiane. Varrà quindi che:

$$\sum F_x = m a_x$$

$$\sum F_y = m a_y$$

$$\sum F_z = m a_z$$



Terza legge della dinamica

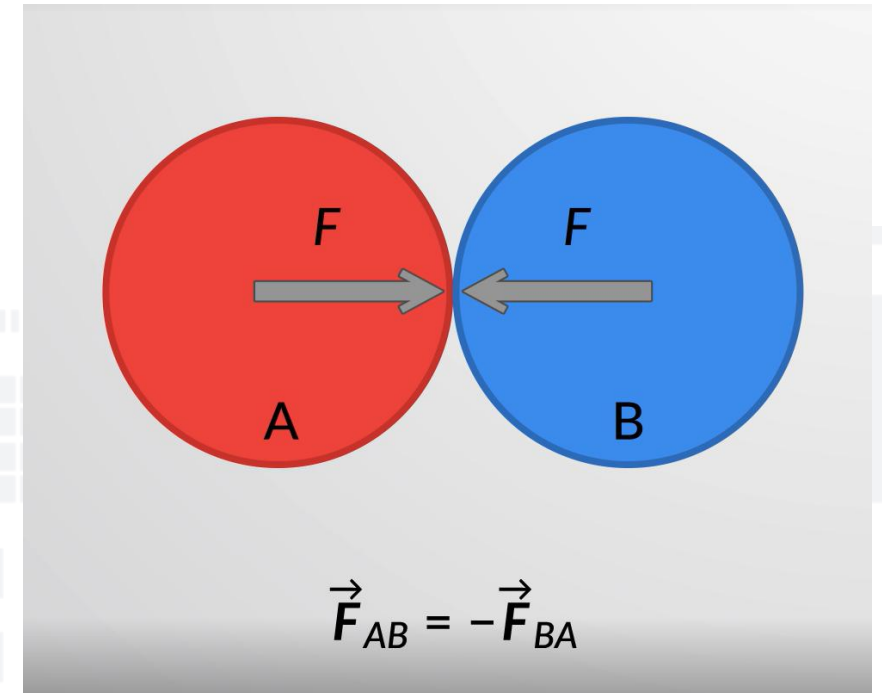
- Le forze agenti sui corpi traggono sempre origine da altri corpi, *ovvero i corpi interagiscono tra loro.*
- Se prendiamo in esame due corpi A e B, si trova sempre che se A esercita una forza ($\vec{F}_{AB} = \text{azione}$) su B, allora a sua volta B esercita una forza ($\vec{F}_{BA} = \text{reazione}$) su A che ha uguali modulo, direzione ma verso opposto.

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

- Nota: le forze di **azione e reazione agiscono sempre su corpi diversi:**

x Non si combinano in una forza risultante
→ non si annullano a vicenda!

[video](#)



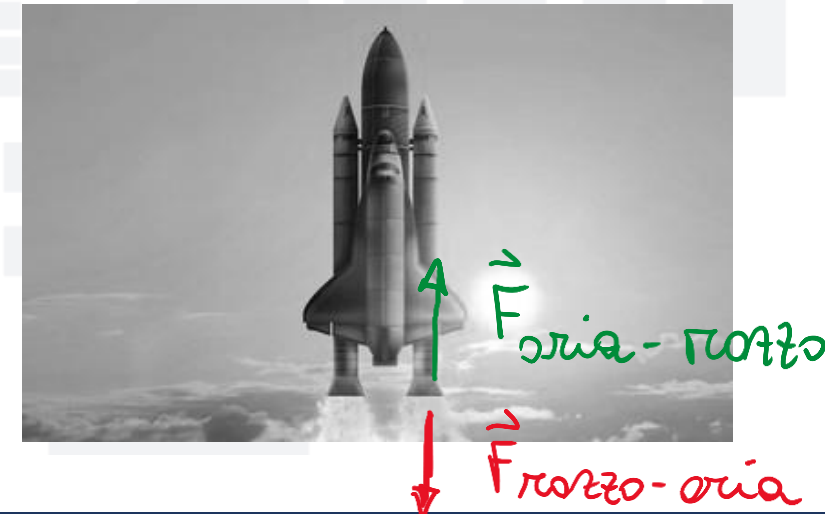
Terza legge della dinamica: esempi

Il terzo principio della dinamica è alla base di tutti i sistemi di propulsione

1. Alla forza che lo sprinter applica ai blocchetti di partenza (azione) corrisponde la forza che i blocchetti applicano sullo sprinter (reazione).

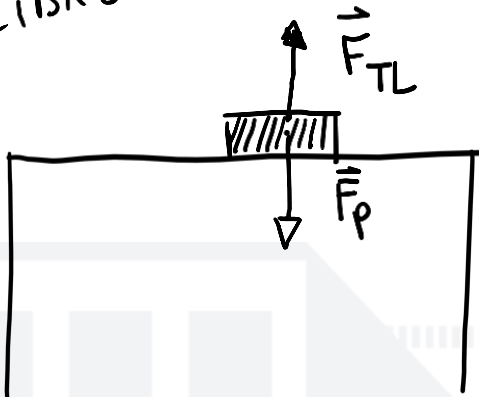


2. Alla forza che esercita il razzo sul gas (grazie alla combustione) corrisponde la reazione che il gas esercita sul razzo



Attenzione: non confondere i principi

FORZE AGENTI
SUL LIBRO



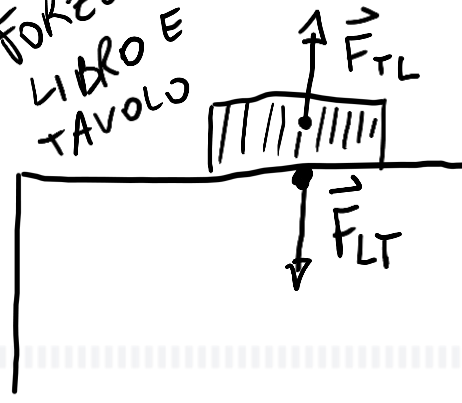
II principio

$$\vec{F}_{TL} + \vec{F}_p = m\vec{a} = 0$$

$$\Rightarrow \vec{F}_{TL} = -\vec{F}_p$$

il libro sta
fermo!

FORZE TRA
LIBRO E
TAVOLO



III principio

$$\vec{F}_{LT} = -\vec{F}_{TL}, \text{ ma, poich\acute{e } } \vec{F}_{TL} = -\vec{F}_p$$

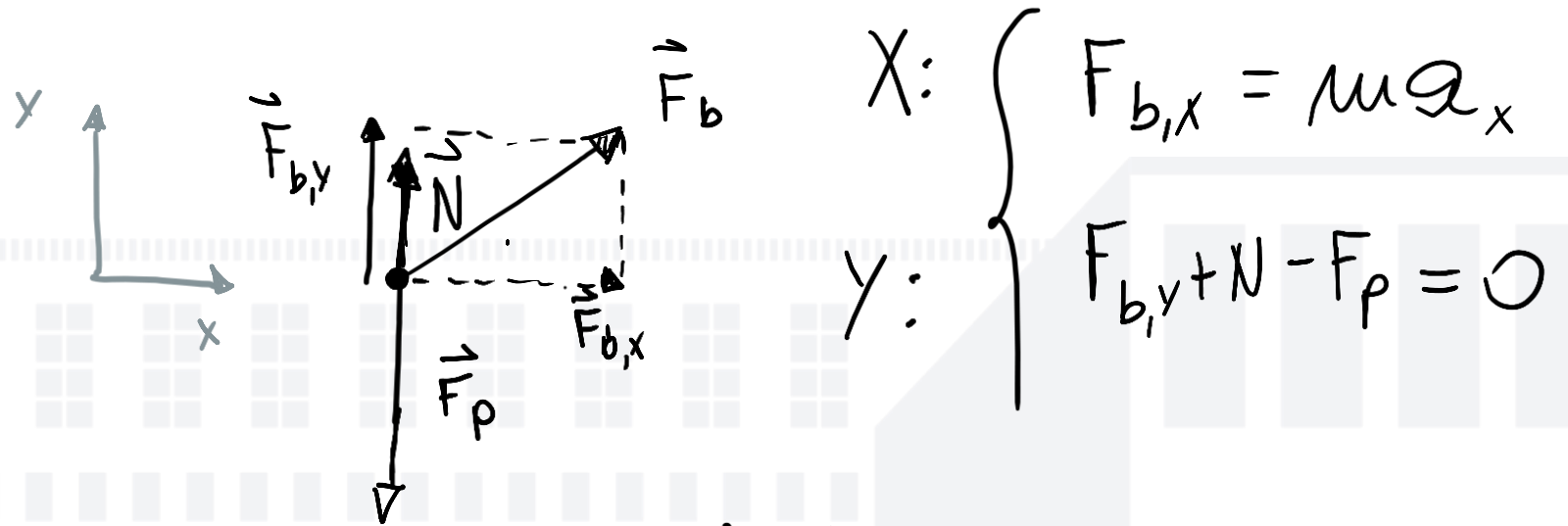
$$\Rightarrow \vec{F}_{LT} = -(-\vec{F}_p) = \vec{F}_p$$

la forza libro-tavolo \u00e9 pari alla forza peso!

$\vec{F}_p :=$ forza peso
 $\vec{F}_{TL} :=$ forza tavolo
 sul libro
 $\vec{F}_{LT} :=$ forza libro
 sul tavolo

Rappresentare le forze: diagramma del corpo libero

Sistema di interesse = sprinter



$$\begin{aligned} X: & \left\{ \begin{aligned} F_{b,x} &= m a_x \end{aligned} \right. \\ Y: & \left\{ \begin{aligned} F_{b,y} + N - F_p &= 0 \end{aligned} \right. \end{aligned}$$

- R: reazione del blocchetto di partenza alla spinta dello sprinter
- P: forza peso
- N: forza normale del suolo

$\vec{F}_b$:= reazione dei blocchetti alla spinta
 $\vec{F}_p$:= forza peso
 N := forza normale del suolo

Unità di misura nel S.I.

○ Massa

$$[m] = \text{kg}$$

○ Forza

$$[F] = [m][a] = [M] \frac{[L]}{[T^2]} = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \equiv \text{N} \text{ newton}$$

Tipi di forza

Le forze si possono raggruppare in due tipologie principali

- **Forze di contatto**

Si esercitano solo tra corpi che si toccano e cessa di esistere nell'istante in cui i corpi si staccano

- **Forze a distanza**

Si esercitano anche se i corpi non si toccano e sono il frutto di un «campo di forze»

[video](#)

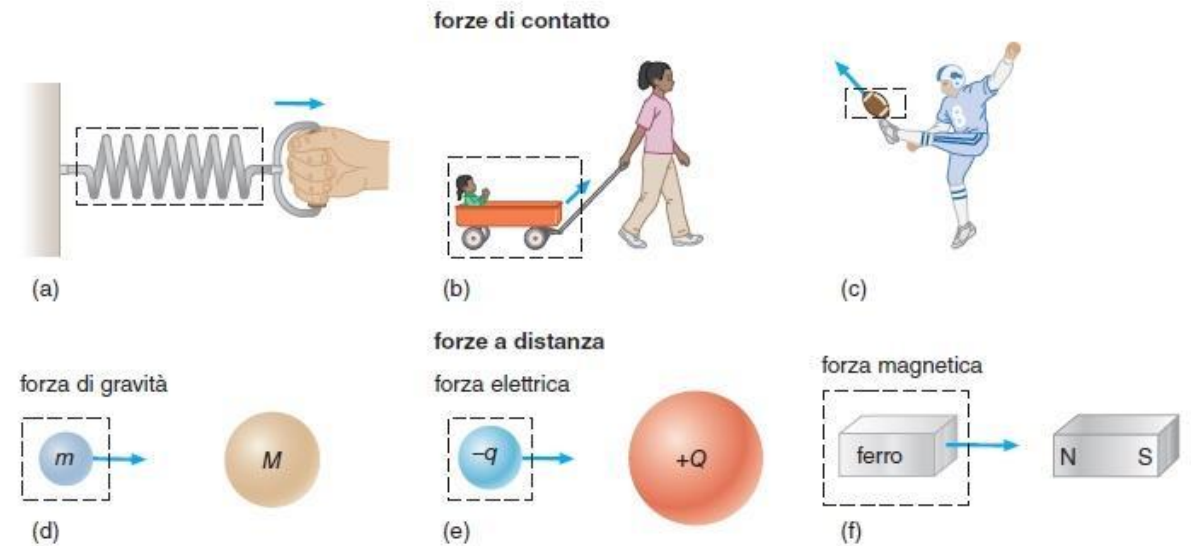
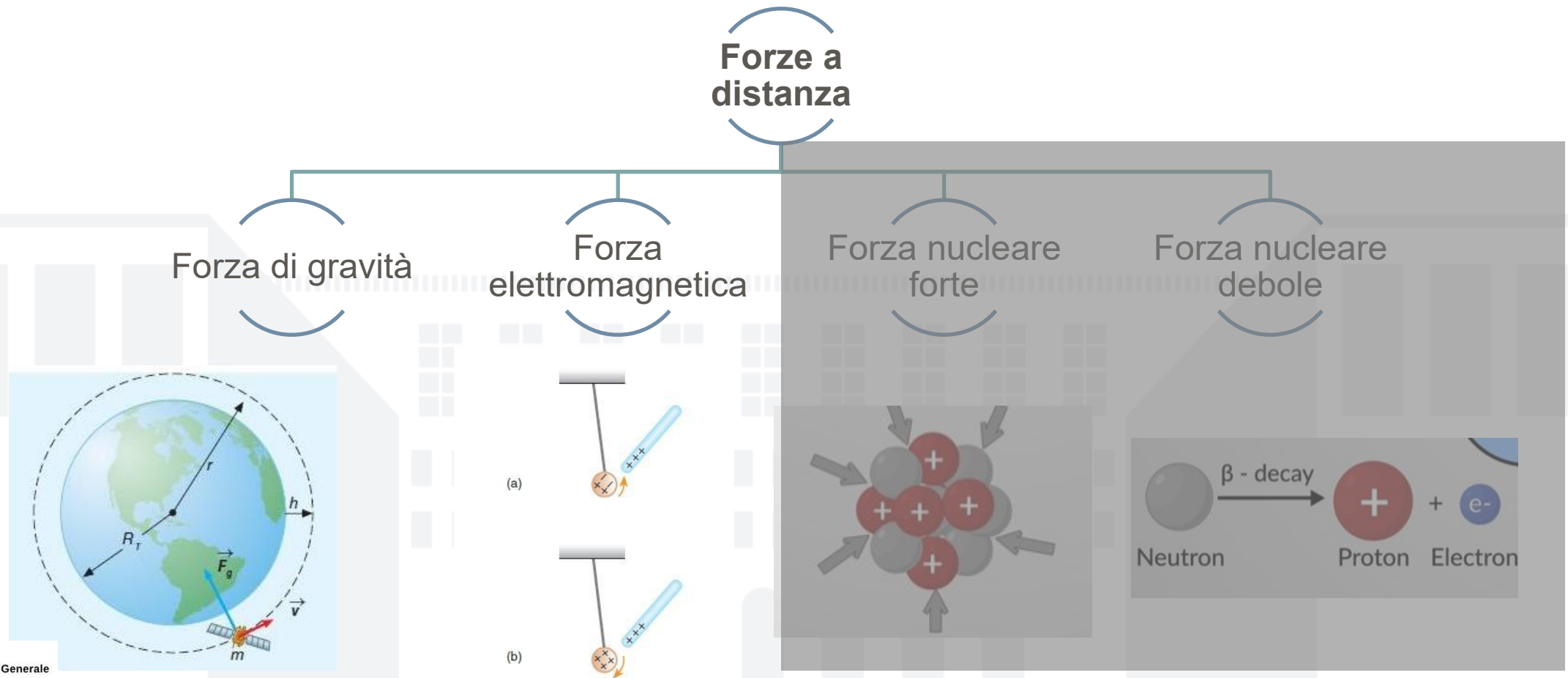


Figura 5.1 Esempi di vari tipi di forze applicate al corpo nel riquadro dai corpi all'esterno.



R. Velotta
Manuale di Fisica Generale
per il semestre filtro, I Ed.
EdiSES Edizioni

Tipi di forza: forze a distanza



La forza di gravità e il campo gravitazionale

Ogni massa genera un campo di forze *attrattive* detto campo gravitazionale.

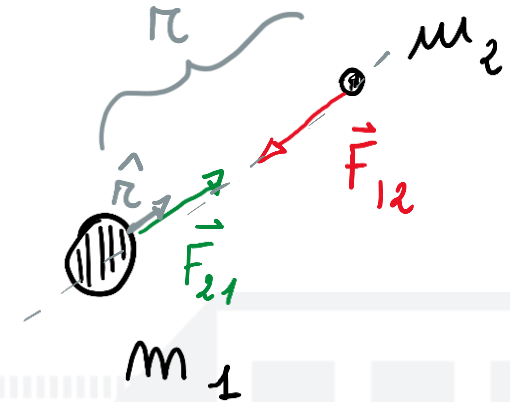
$$\vec{F}_{12} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} (\hat{r})$$

il segno «-» ci dice che la forza è attrattiva

- $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2}$ è la **costante di gravitazione universale**
- $\hat{r}$ è il versore (vettore di lunghezza unitaria e adimensionale) che rappresenta la direzione e verso della congiungente da m_1 a m_2
- Il segno «-» è rappresentativo del fatto che la forza è di tipo attrattivo, ovvero m_2 è «tirata» verso m_1 .

Per il terzo principio della dinamica, anche m_1 risente della forza di gravità di m_2 , che è uguale e contraria

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



La forza peso

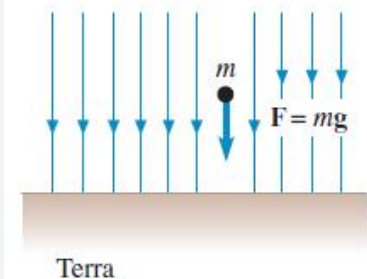
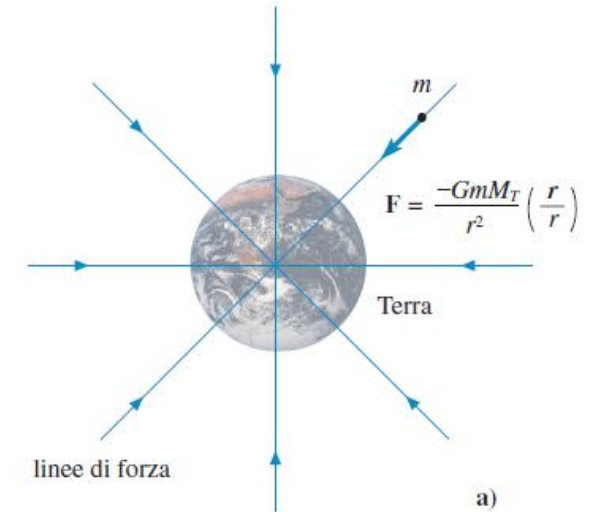
Sia un oggetto di massa m sulla superficie terrestre. La forza di gravità che risente è:

$$|\vec{F}| = G \frac{M_T m}{R_T^2} \quad \xrightarrow{\text{sono costanti}} \quad \frac{G M_T}{R_T^2} = g \approx 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

dove $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$ è la massa della terra

$R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$ è il raggio della terra

$$P = G \frac{M_T m}{R_T^2} = m g \quad \text{FORZA PESO}$$



Meccanica – Dinamica del punto materiale

$\vec{r}$ $\dot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}} = \vec{a}$



Forza peso $\neq$ massa

Colloquialmente si intende per “peso” la misura della massa di un oggetto, ma è sbagliato!

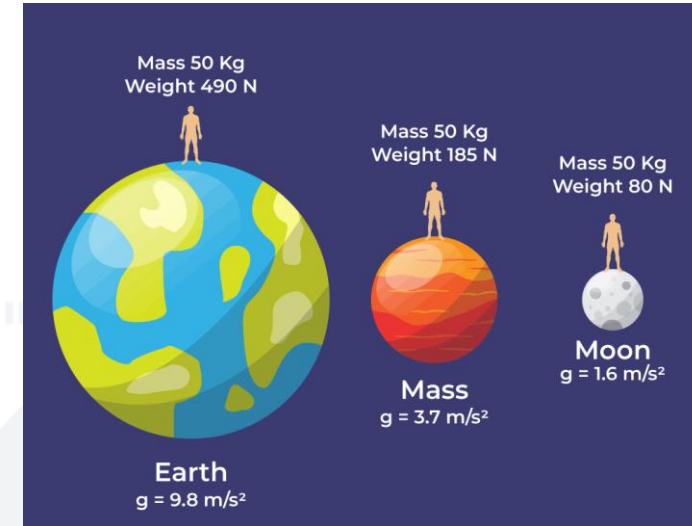
Mentre il peso (P), è una forza che dipende dall’accelerazione di gravità

$$P = m g$$

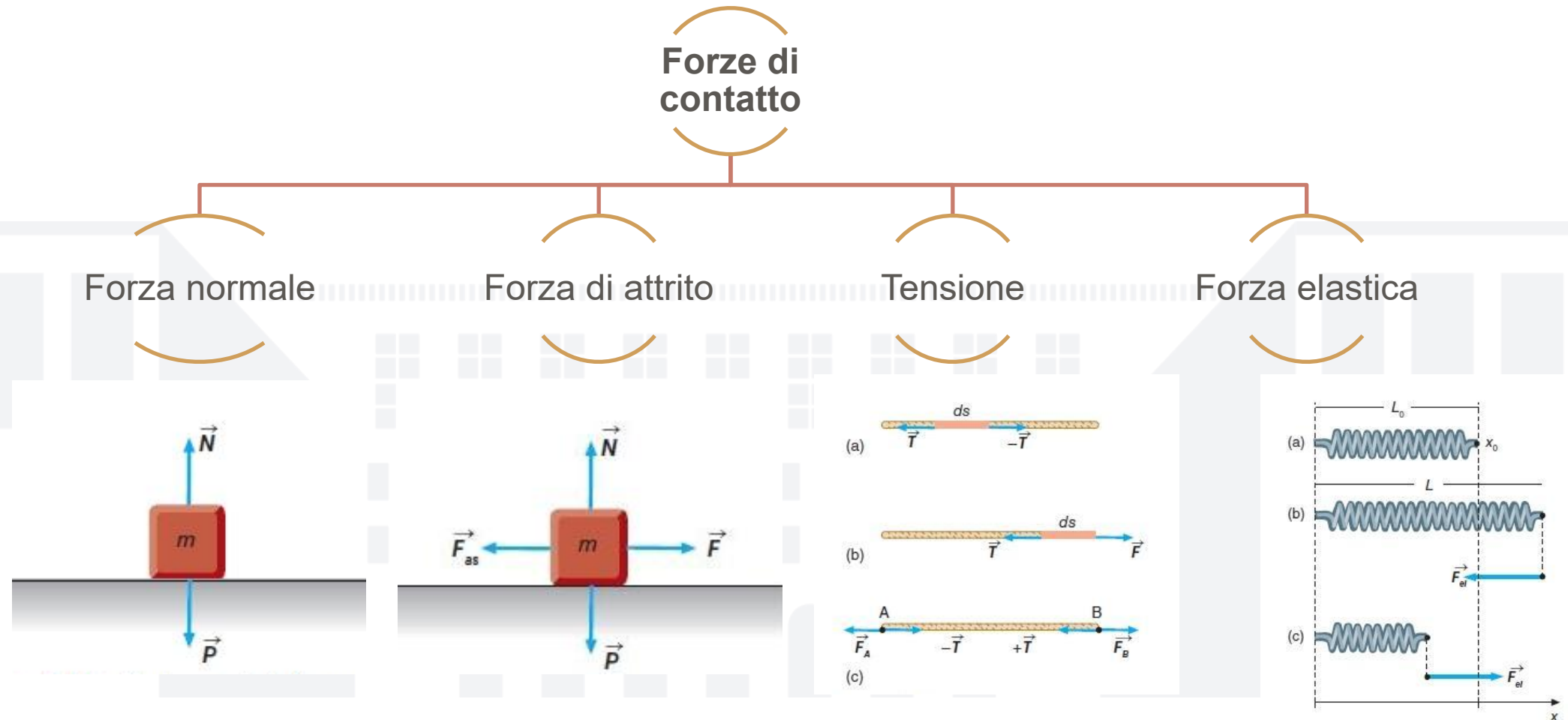
La massa è una proprietà intrinseca dell’oggetto.

- Su pianeti diversi l’accelerazione di gravità è diversa, e quindi il peso è diverso.
- Anche sulla terra la l’accelerazione di gravità non è costante ovunque
→ pesiamo di meno all’Equatore ($g_{eq} = 9.78 \frac{m}{s^2}$) che ai poli ($g_p = 9.83 \frac{m}{s^2}$) ma la nostra massa e’ sempre la stessa!

<https://www.geeksforgeeks.org/physics/mass-and-weight/>



Tipi di forza: forze di contatto



La forza normale

- Intuitivamente la forza normale è quella forza che impedisce a un oggetto di «sprofondare» dentro un altro oggetto.
- La forza normale è una forza che un oggetto esercita su un altro oggetto in reazione alla pressione di quest'ultimo.
- La forza esercitata è perpendicolare rispetto alla superficie di contatto

Nota: l'origine della forza normale sono le interazioni elettromagnetiche tra gli atomi e molecole delle due superfici a contatto

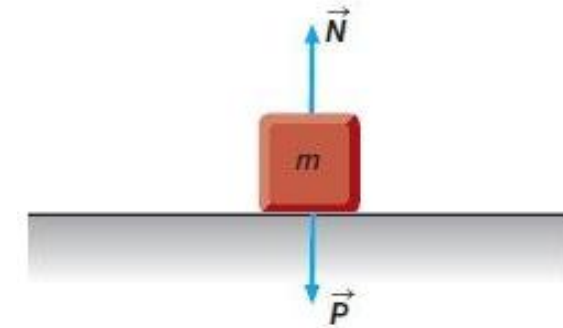


Figura 5.10 Punto materiale appoggiato su un piano orizzontale liscio. Sul punto agiscono sia una forza di contatto, la reazione normale $\vec{N}$ esercitata dal piano, sia una forza a distanza, la forza peso $\vec{P}$.

In questo sketch la forza normale (o reazione normale) è esercitata dal piano su cui poggia la massa m in reazione alla forza peso su di esso applicata

La forza di attrito

- Se tentiamo di spingere una cassa su un piano scabro, cioè con attrito, notiamo che essa oppone resistenza al moto. La forza che resiste è la forza di attrito.

«Le forze di attrito tra i corpi hanno l'effetto di impedire o ostacolare il loro moto reciproco»

- Le forze di attrito hanno sempre verso opposto rispetto al moto dell'oggetto.
Nota: se l'oggetto è fermo per moto si intende la direzione dello spostamento che avrebbe se l'attrito non ci fosse
- L'intensità dell'attrito dipende, in generale, dal materiale dei due oggetti a contatto. Esistono quindi dei coefficienti di attrito μ che dipendono dai materiali in esame.

Nota: l'origine delle forze di attrito sono le numerosissime interazioni tra atomi e molecole delle due superfici a contatto

[video](#)

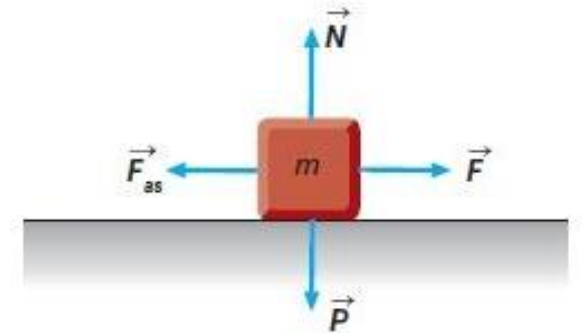
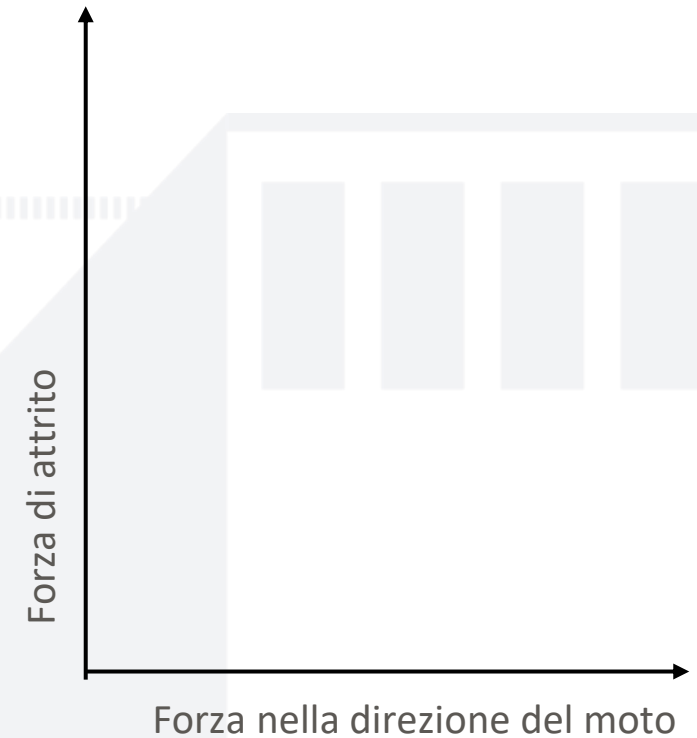
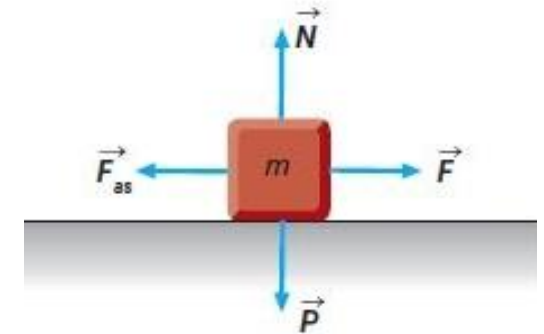


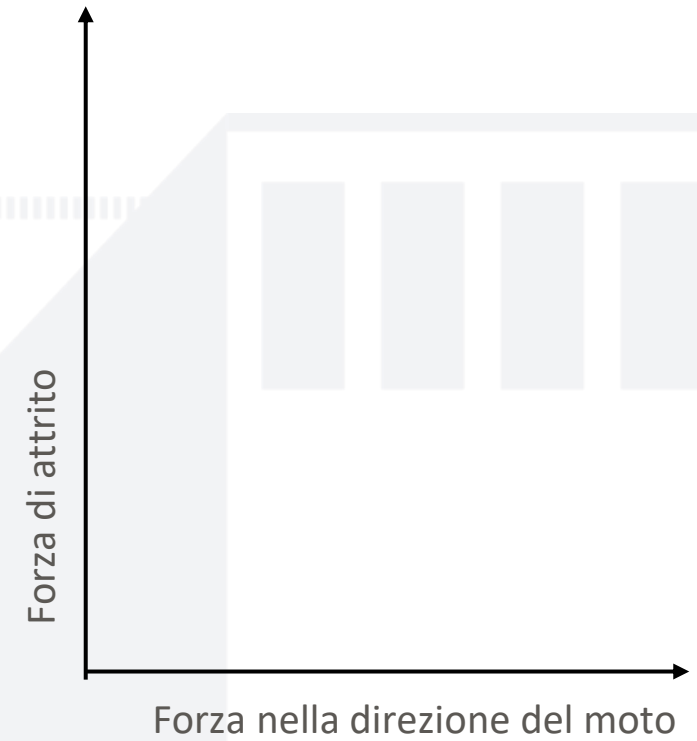
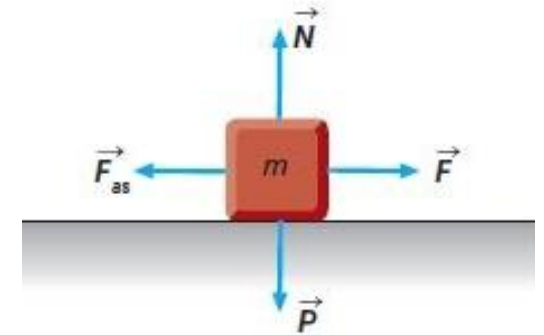
Figura 5.11 Punto materiale appoggiato su un piano orizzontale scabro. La forza di contatto esercitata dal piano ha sia una componente normale $\vec{N}$ che una componente parallela al piano dovuta all'attrito e orientata in modo tale da opporsi al moto. Se il punto di contatto tra il corpo e il piano è fermo, si parla di attrito statico $\vec{F}_{as}$; in caso contrario, si parla di attrito dinamico $\vec{F}_{ad}$. Sul punto agiscono anche una forza $\vec{F}$ e la forza peso $\vec{P}$.

L'attrito statico

- Se l'oggetto è fermo, la forza in opposizione alla forza che tenderebbe a far muovere l'oggetto ($\vec{F}$) è definita forza di attrito statico ($\vec{F}_{as}$).

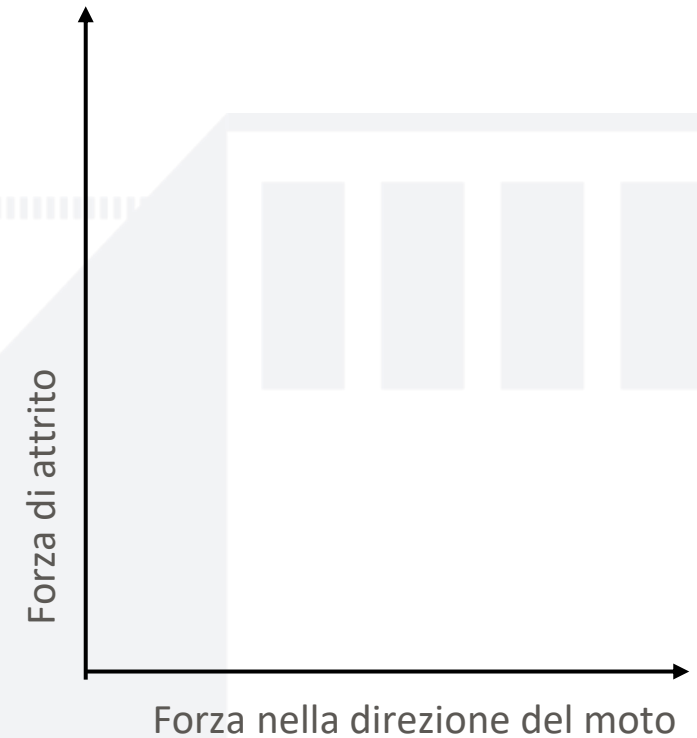
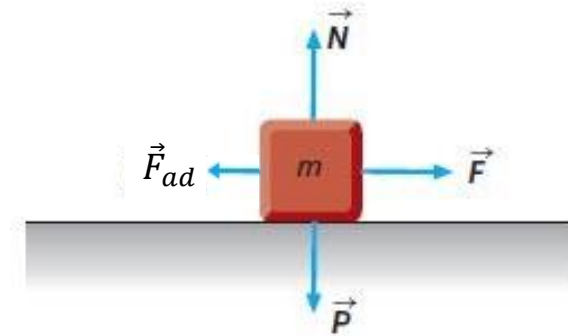


L'attrito statico



L'attrito dinamico

- Quando la forza motrice supera la massima forza di attrito statico ($F > F_{as}^{max}$) il corpo risente di un'accelerazione e si mette in moto.



Coefficienti di attrito

Note:

- I coefficienti di attrito sono delle grandezze adimensionali.
- I coefficienti di attrito sono numeri reali positivi minori o uguali a 1.
(perché avere dei coefficienti di attrito >1 sarebbe un'assurdità?)

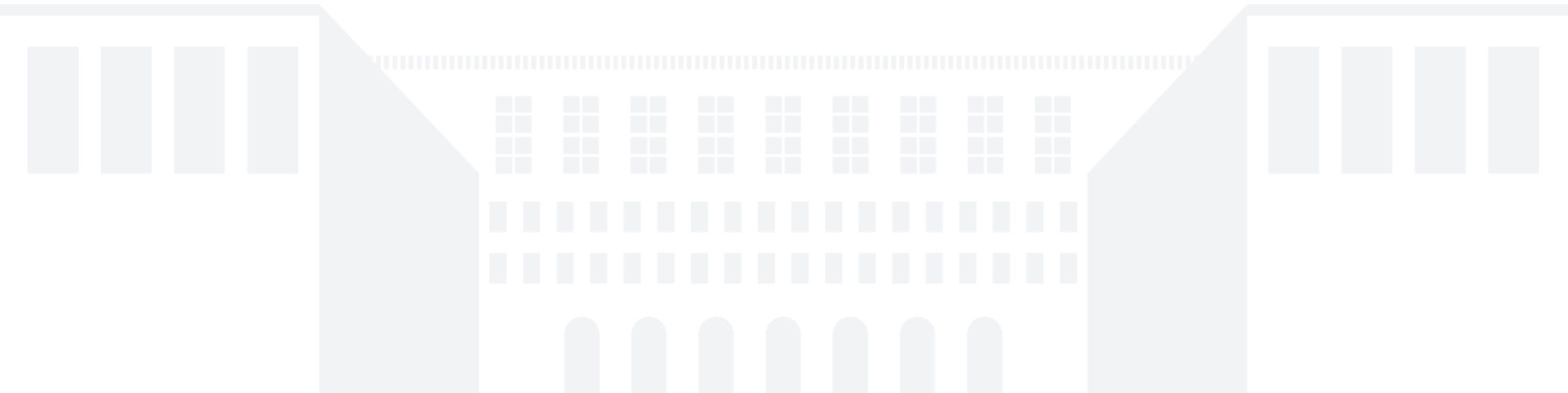
Il fatto che $\mu_d < \mu_s$ spiega come mai è più «facile» trascinare uno scatolone quando è già in movimento rispetto a quando parte da fermo

Alcuni valori del coefficiente di attrito radente.^[4]

Superfici	μ_{rs} (statico)	μ_{rd} (dinamico)
Legno - legno	0,25 - 0,50	0,20
Acciaio - acciaio	0,74	0,57
Acciaio - acciaio lubrificato	0,11	0,05
Acciaio - alluminio	0,61	0,47
Acciaio - ottone	0,51	0,44
Acciaio - teflon	0,04	0,04
Acciaio - ghiaccio	0,027	0,014
Acciaio - aria	0,001	0,001
Acciaio - piombo	0,90	n.d.
Acciaio - ghisa	0,40	n.d.
Acciaio - grafite	0,10	n.d.
Acciaio - plexiglas	0,80	n.d.
Acciaio - polistirene	0,50	n.d.
Rame - acciaio	0,53	0,36
Rame - vetro	0,68	0,53
Gomma - asfalto (asciutto)	1,0	0,8
Gomma - asfalto (bagnato)	0,7	0,6
Vetro - vetro	0,9 - 1,0	0,4
Legno sciolinato - neve	0,10	0,05
legno - cartone	0,32	0,23
Teflon - Teflon	0,04	0,04

<https://it.wikipedia.org/wiki/Attrito>

Tensione di una fune ideale



Forza elastica: la molla

- Una molla e' un oggetto che, sotto l'azione di una forza che ne determina una deformazione (allungamento/accorciamento) esercita una forza che si oppone alla deformazione di modulo proporzionale alla deformazione stessa

Meccanica – Dinamica del punto materiale

$\vec{r}$ $\dot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}} = \vec{a}$



Meccanica – Dinamica del punto materiale

$\vec{r}$ $\dot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}} = \vec{a}$



Meccanica – Dinamica del punto materiale

$\vec{r}$ $\dot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}}$ $\ddot{\vec{r}} = \vec{a}$

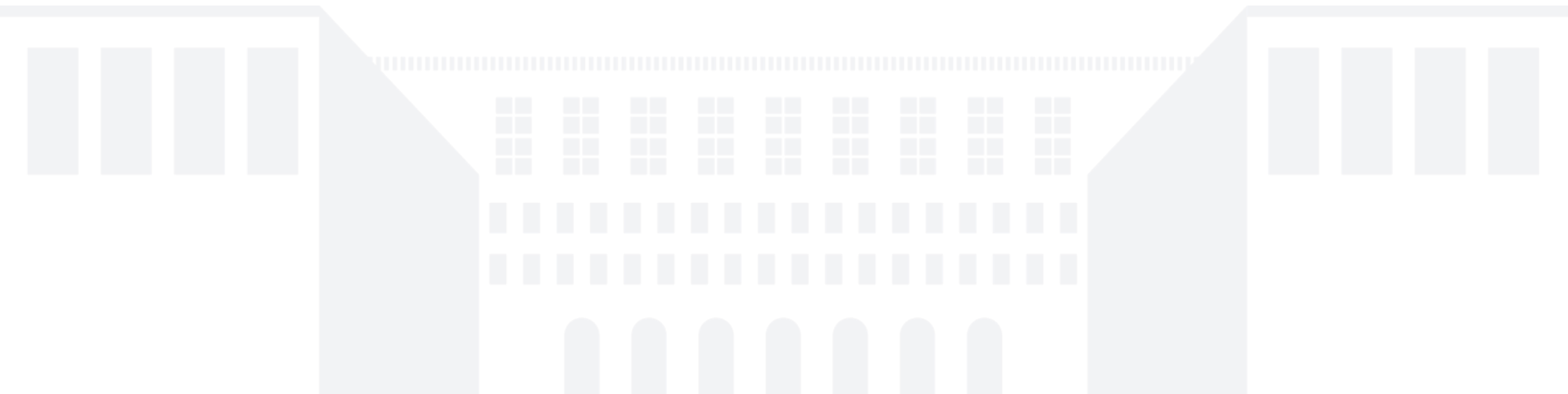


Esercizi applicativi 1

Curva parabolica

Un conducente di un'autovettura vuole affrontare su strada libera ghiacciata (attrito trascurabile) una curva circolare di raggio 200 m alla velocità di 70 km/h . Calcolare il valore dell'angolo di sopraelevazione necessario perché la curva possa essere descritta alla velocità desiderata.

Esercizi applicativi 1

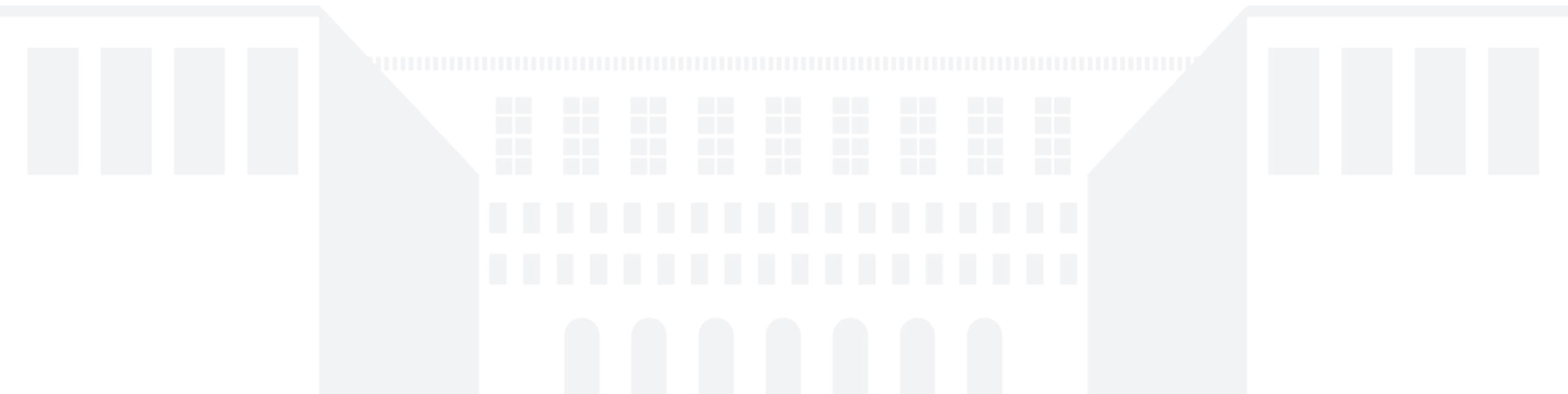


Esercizi applicativi 2

La puleggia

Un blocco di massa $9,00\text{ kg}$ è collegato tramite una fune inestensibile di massa trascurabile, che scorre su una puleggia priva di attrito, ad un blocco di massa $5,00\text{ kg}$, posto su un piano orizzontale come mostrato in figura. Assumendo che il coefficiente di attrito dinamico sia $0,200$, determinare la tensione della fune.

Esercizi applicativi 2



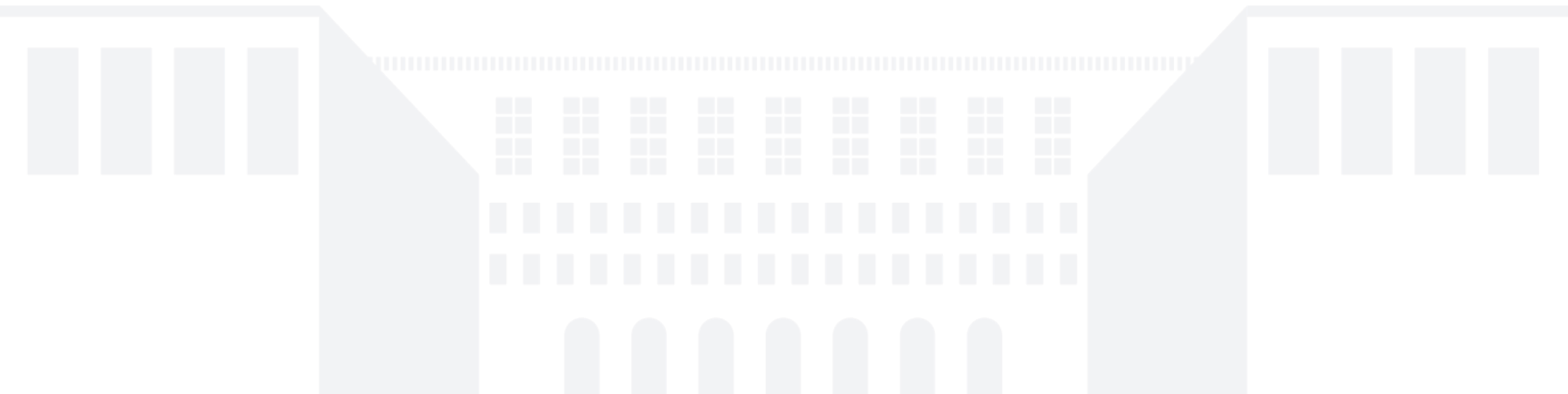
Esercizi applicativi 3

Gamba rotta

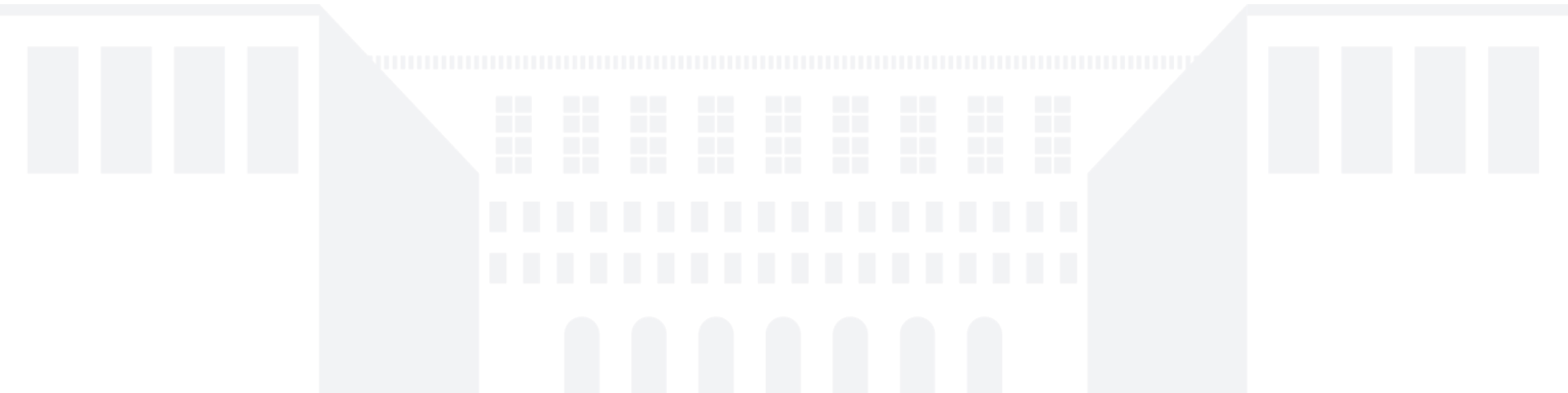
La persona in figura pesa 170 lb . Come si nota dalla vista frontale, ogni gruccia (leggera) forma un angolo di 22° con la verticale. Le grucce sopportano metà del peso della persona, mentre l'altra metà è sopportata dalle forze verticali del suolo sul piede sano della persona. Determinare il più piccolo coefficiente di attrito possibile fra le grucce il suolo affinché la persona non scivoli e, cadendo, si rompa l'altra gamba.



Esercizi applicativi 3



Esercizi applicativi 3

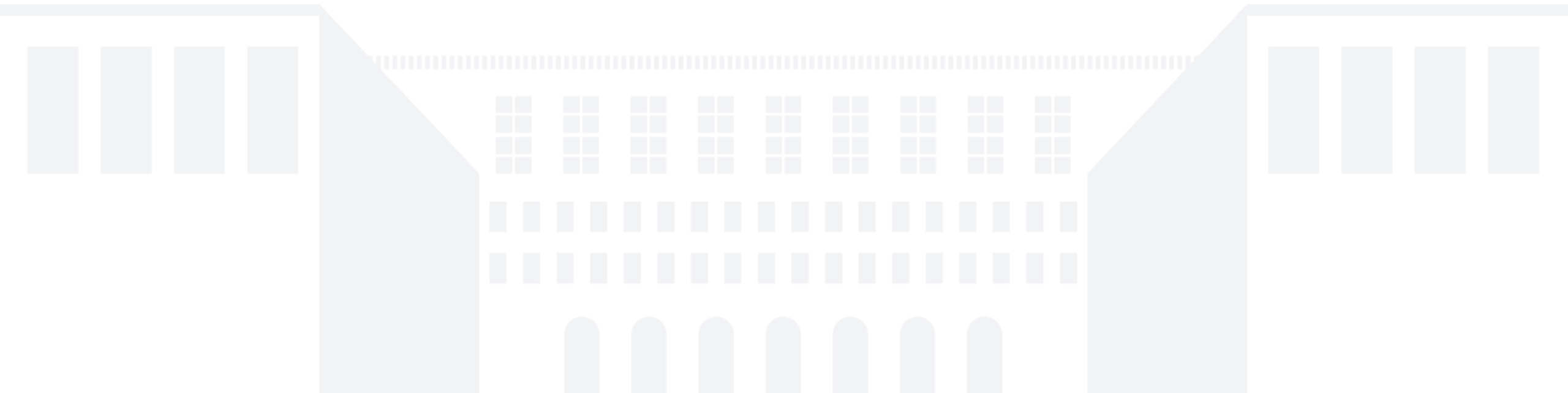


Esercizi applicativi 4

Spingo o tiro?

Durante un trasloco, una persona deve spostare un baule di 50 kg. Dato un angolo di 30° tra la direzione di applicazione della forza e il piano orizzontale su cui giace il baule e dato un coefficiente di attrito statico pari a 0,40, calcolare: (a) la forza necessaria per spostare il baule spingendolo e (b) la forza necessaria per spostare il baule tirandolo. (c) Conviene spingere o tirare?

Esercizi applicativi 4



Esercizi: soluzioni numeriche

1. Curva parabolica

a) 10.9°

2. La puleggia

a) 37.8 N

3. Gamba rotta

a) $0,40$

4. Spingo o tiro?

a) 295 N ; b) 184 N ; c) *tirare*



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE

Arrivederci

- lbrombal@units.it