

Fisica

Tutela e Benessere Animale 2026

Prof. Francesco de Pasquale

29/10/2026 - Lezione 4

I Legge di Newton — Principio di Inerzia

Enunciato

Se la risultante delle forze agenti su un sistema è nulla, $\vec{F}^{Ris} = \vec{0}$, allora $\vec{v}$ non può cambiare.

In particolare, se il corpo è fermo ($\vec{v} = \vec{0}$), rimane fermo.

Nota fondamentale

La condizione $\vec{a} \neq \vec{0}$ implica necessariamente la presenza di una forza risultante non nulla.

L'inerzia è la tendenza naturale di ogni corpo a mantenere il proprio stato di moto.





II Legge di Newton

Enunciato:

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

La forza risultante applicata a un corpo è proporzionale all'accelerazione che produce: $\vec{F} \propto \vec{a}$.

All'aumentare di F, aumenta a.

L'unità di misura della forza è il **Newton**: $[F] = N$.

Massa Inerziale

Definizione

La massa m è una **grandezza scalare** con unità $[m] = kg$.

Significato fisico

La **massa inerziale** è la proprietà intrinseca del sistema che misura la sua resistenza alla variazione del moto.

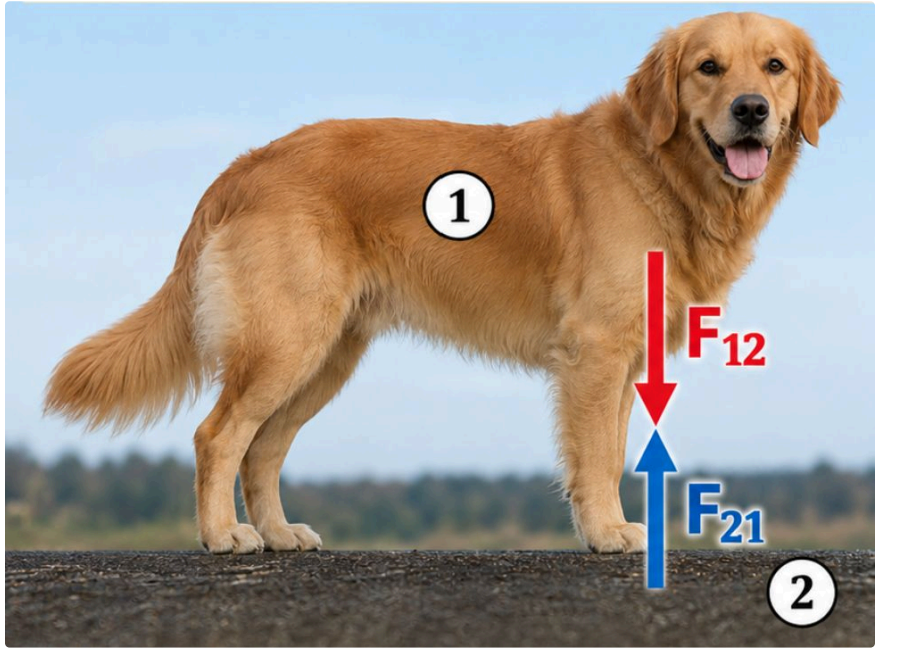
Relazione F–a

A parità di forza, una massa maggiore produce un'accelerazione minore: $a = F/m$.

III Legge di Newton — Pr. di azione-reazione

Se due sistemi si scambiano forze di contatto, queste sono **uguali in modulo e direzione** ma di **verso opposto**.

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



Applicazioni Biologiche della III Legge

La III legge di Newton è alla base del movimento di tutti gli animali: terrestri, acquatici e volanti. Ogni spinta genera una reazione uguale e contraria che produce propulsione.



Animali acquatici

Il pesce spinge l'acqua indietro; l'acqua reagisce spingendo il pesce in avanti.



Animali volanti

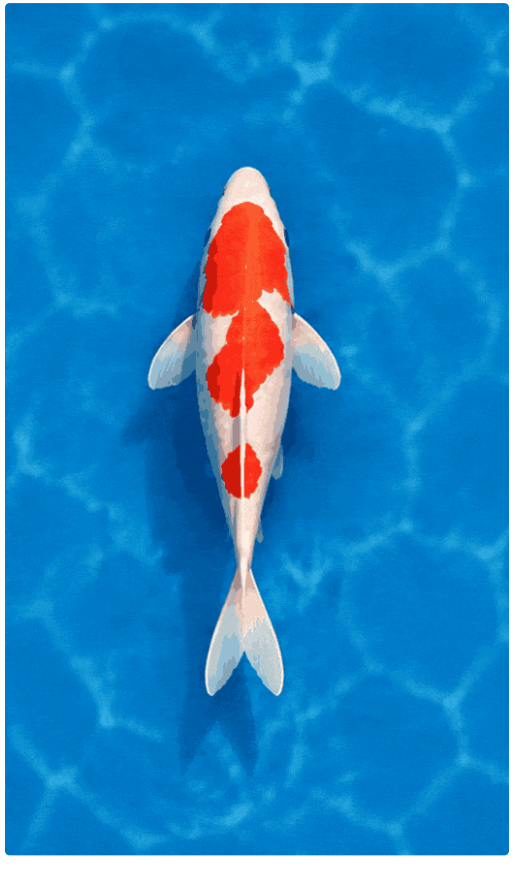
Le ali spingono l'aria verso il basso; la reazione genera portanza e propulsione.



Animali terrestri

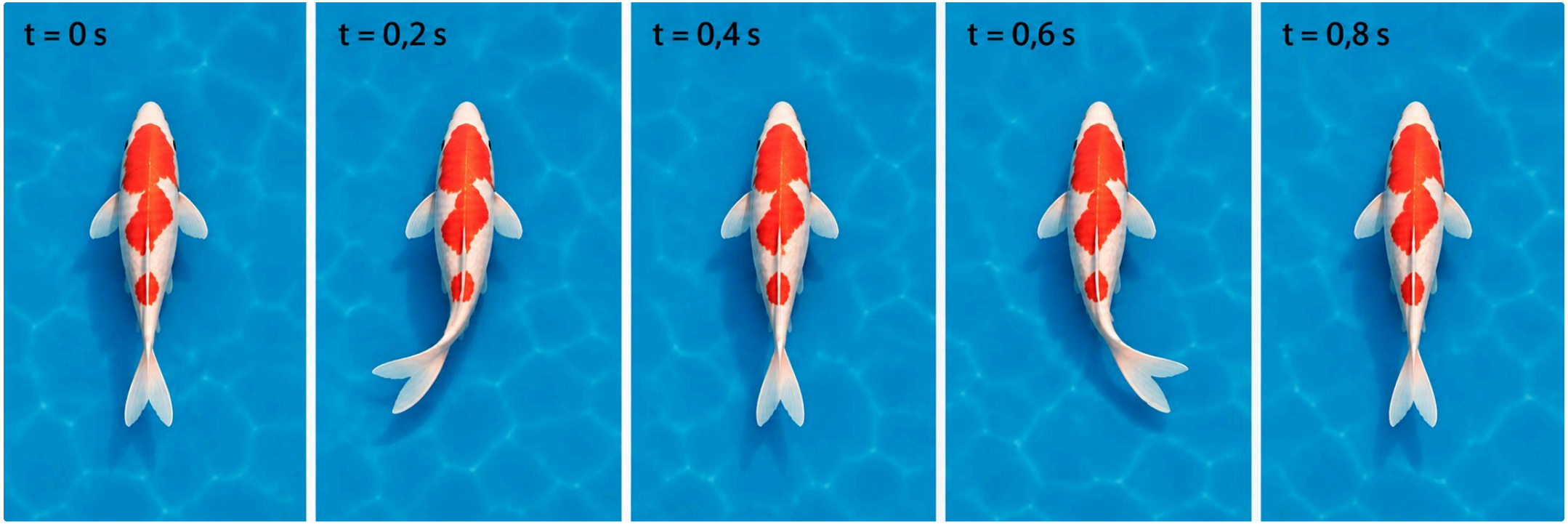
Il piede spinge il suolo; la reazione del suolo genera la propulsione in avanti.

Esempio: Il movimento nei pesci



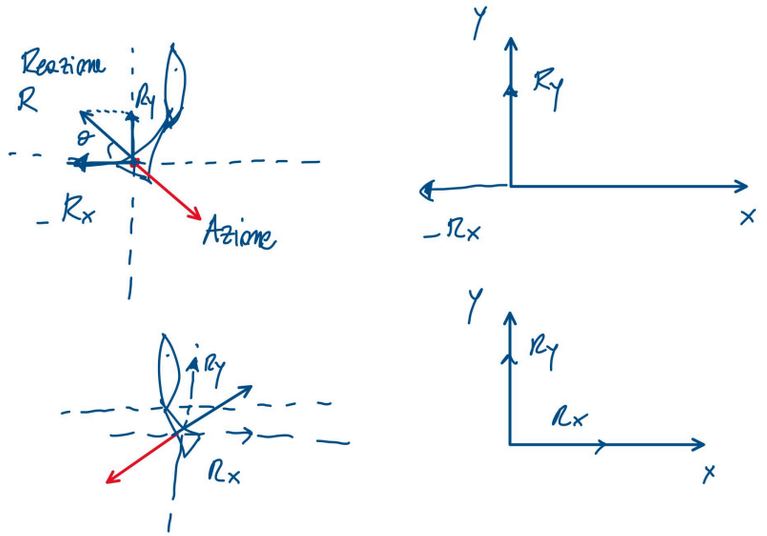
Il moto dei pesci è un esempio classico di applicazione della III legge. Spingendo l'acqua con le pinne, ricevono una reazione che li propelle in avanti. Perchè?

Esempio: Il movimento nei pesci



Il moto dei pesci è un esempio classico di applicazione della III legge. Spingendo l'acqua con le pinne, ricevono una reazione che li propelle in avanti. Perchè?

Appunti: Scomposizione Vettoriale delle Forze per la propulsione



La forza di propulsione = $2R_y$ è data dalla somma vettoriale delle componenti $\vec{R}$ dovute alla III legge di Newton

$$\begin{cases} R_{TOT,x} = -R_x + R_x = 0 \\ R_{TOT,y} = R_y + R_y = 2R_y \end{cases}$$



Componente orizzontale

$$R_x^{TOT} = R_x - R_x = 0$$

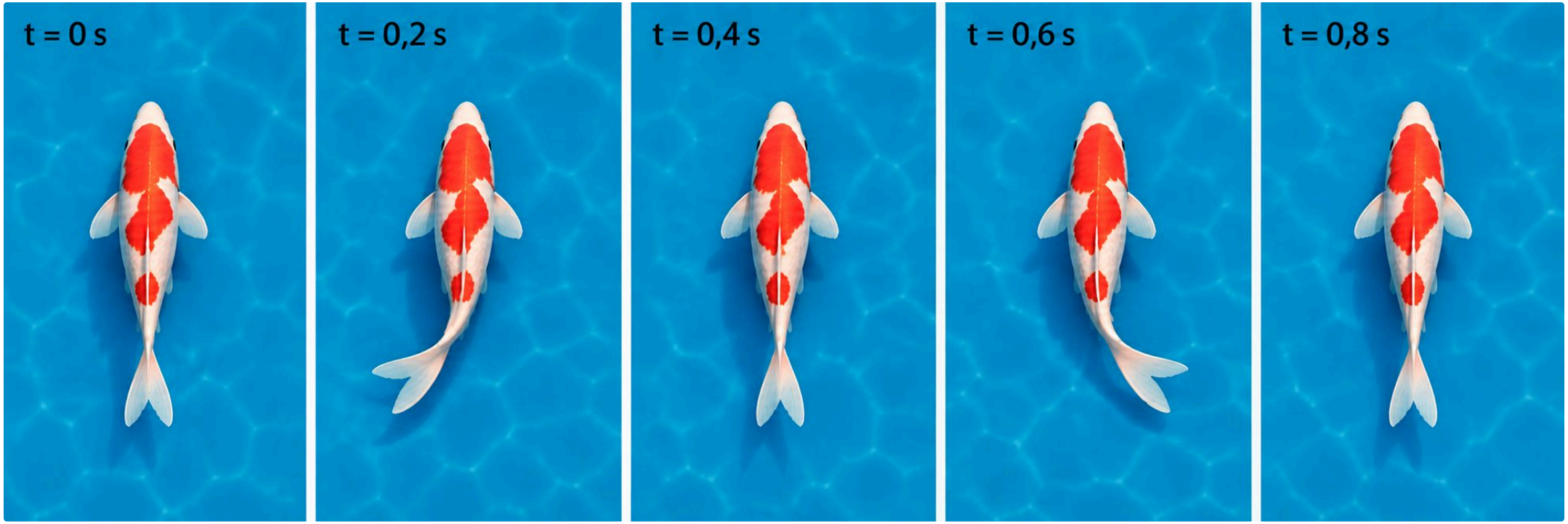
Le componenti orizzontali si annullano.

Componente verticale

$$R_y^{TOT} = R_y + R_y = 2R_y$$

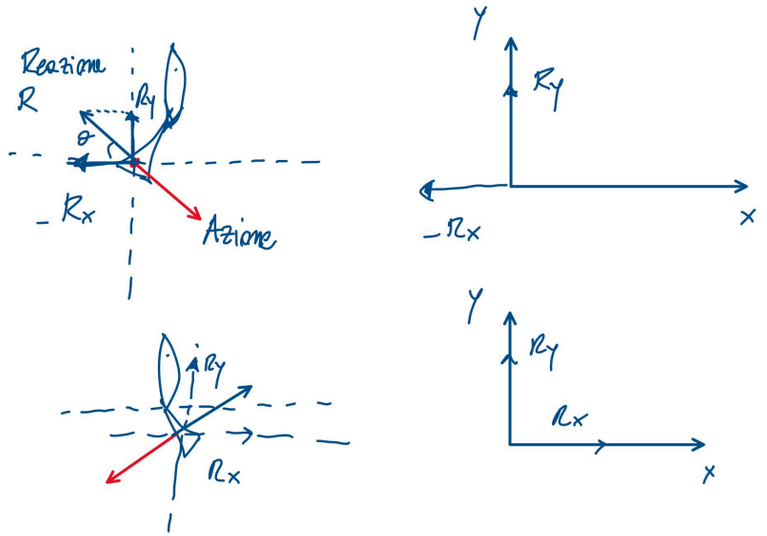
Le componenti verticali si sommano, generando una **spinta verso l'alto**.

Esempio: Il movimento nei pesci



Il moto dei pesci è un esempio classico di applicazione della III legge. Spingendo l'acqua con le pinne, ricevono una reazione che li propelle in avanti. Perchè?

Appunti: Scomposizione Vettoriale delle Forze per la propulsione



La forza di propulsione = $2R_y$ è data dalla somma vettoriale delle componenti $\vec{R}$ dovute alla III legge di Newton

$$\begin{cases} R_{TOT,x} = -R_x + R_x = 0 \\ R_{TOT,y} = R_y + R_y = 2R_y \end{cases}$$



Componente orizzontale

$$R_x^{TOT} = R_x - R_x = 0$$

Le componenti orizzontali si annullano.

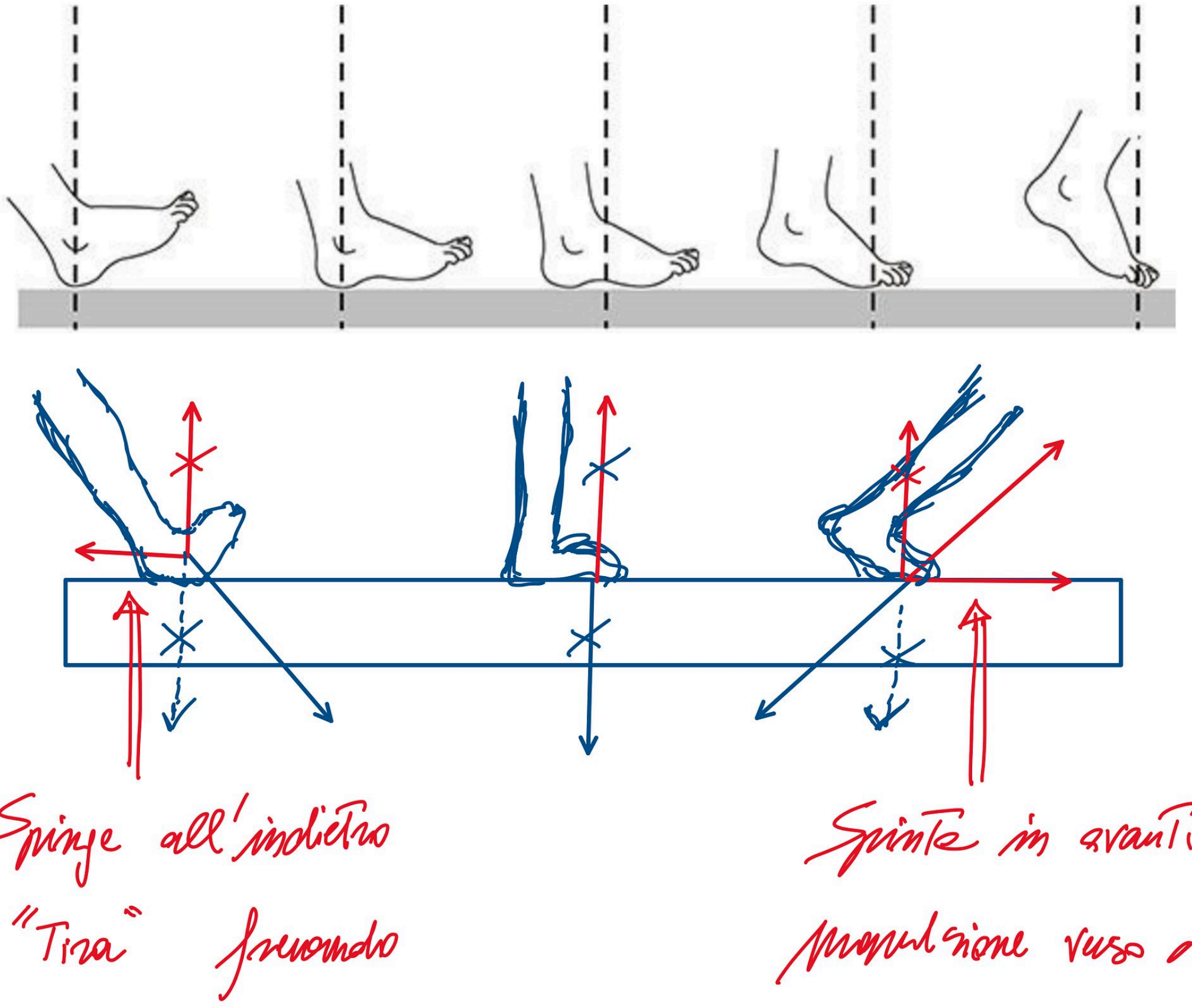
Componente verticale

$$R_y^{TOT} = R_y + R_y = 2R_y$$

Le componenti verticali si sommano, generando una **spinta verso l'alto**.

Esempio biomedico: Biomeccanica della deambulazione

Ad ogni istante, all'azione del piede corrisponde una reazione del suolo. Nelle fasi finali del passo, questa reazione determina una **spinta in avanti** (propulsione).



La reazione determina una frenata nella fase iniziale e una spinta in avanti nelle fasi finali della deambulazione

Equilibrio Traslazionale

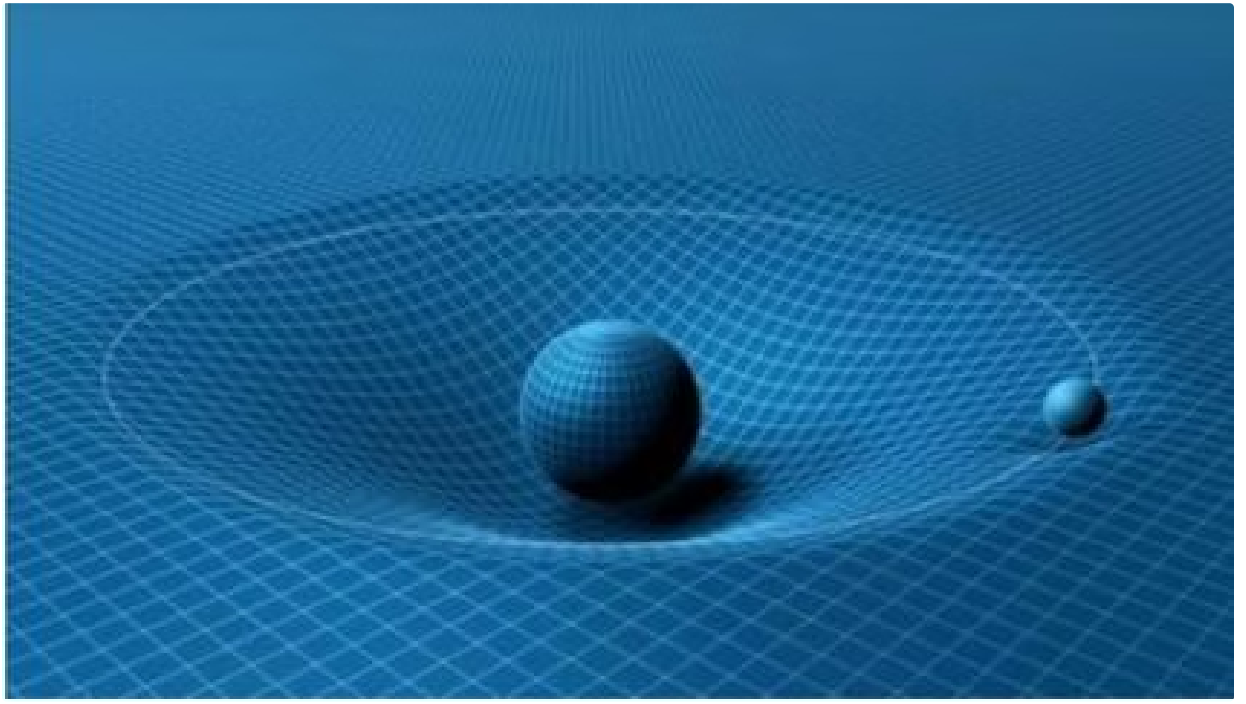
Condizione di equilibrio

$$\vec{F}^{Ris} = \vec{0} \Rightarrow m\vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{a} = \vec{0} \Rightarrow \vec{v} = const$$

Conseguenza

In equilibrio statico, la reazione vincolare $\vec{N}$ bilancia esattamente la risultante delle Forze perpendicolari alla superficie, non semplicemente la Forza Peso

Il Campo Gravitazionale



Il campo gravitazionale è una **perturbazione dello spazio e del tempo** generata dalla presenza di una massa. Questa perturbazione produce una forza attrattiva su qualunque altra massa a una determinata distanza.

Legge di Gravitazione Universale

$$\vec{F}_g = -G\frac{M_T\, m}{r^2}\,\hat{r}$$

Proporzionale a

$F_g \propto M_T \cdot m$ — al prodotto delle masse

Inversamente proporzionale a

$F_g \propto \frac{1}{r^2}$ — al quadrato della distanza

Direzione

$\hat{r}$ è il versore diretto lungo la congiungente delle due masse

Dalla gravitazione universale alle Forza Peso

$$F_G = -G \frac{M_T \cdot m}{r^2}$$

costante

$h \approx$ cost.

g = accelerazione di gravità

$= 9{,}81\ m/s^2$

$$F_P = mg$$

Forza peso

Y

$$F_P = (0; -mg)$$

Per la seconda Legge di Newton:

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

$$\begin{cases} m a_x = 0 \\ m a_y = -mg \end{cases}$$

$$\boxed{a = -g}$$

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} \\ v_y = v_{0y} - g t \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x} t \\ y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2 \end{cases}$$

g e la sua variazione con la distanza

Distanze $\ll R$	Distanze confrontabili con R
g è **costante**: $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$. Valida per tutte le applicazioni terrestri ordinarie.	g **varia** significativamente. Occorre usare la formula completa della gravitazione universale.

Per distanze molto minori del raggio terrestre, l'approssimazione $g = \mathrm{cost}$ è eccellente.

La Forza Peso

$$F_P = mg$$

$$\vec{F}_P = mg\,\hat{n}$$

Poiché il raggio di curvatura terrestre è molto grande, consideriamo sempre $F_P \perp$ all'asse x, cioè diretta verticalmente verso il basso.

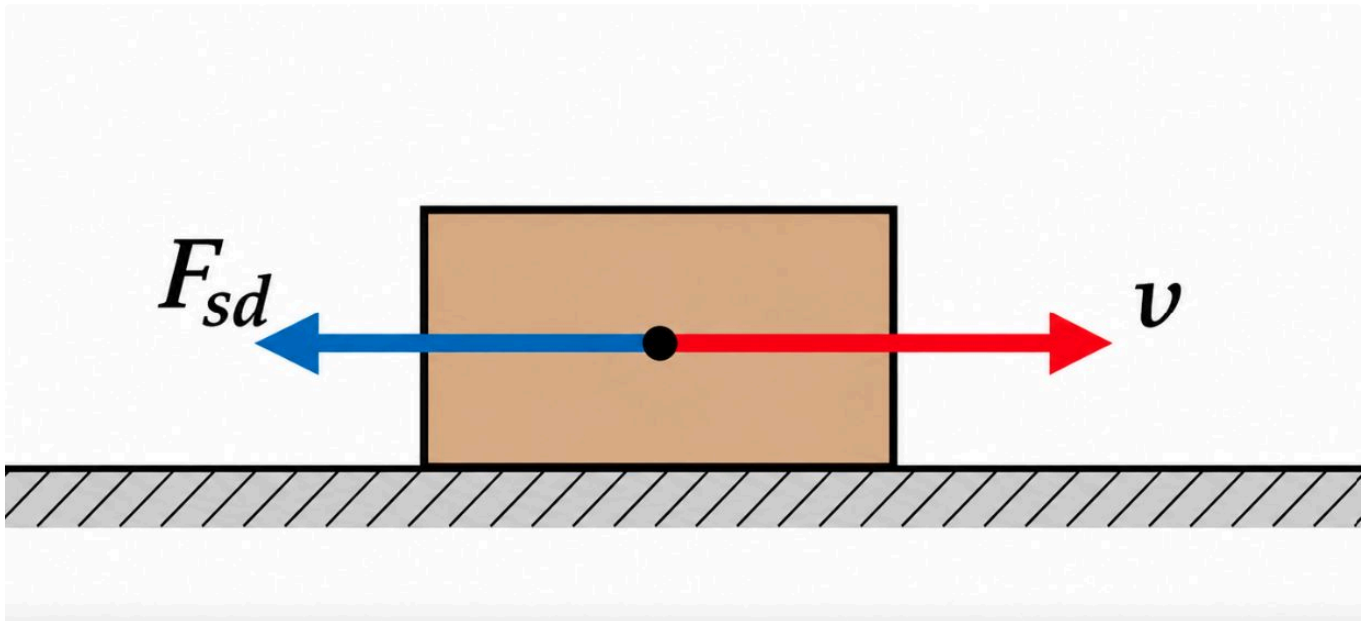
Ora possiamo capire le origini delle equazioni del moto in caduta libera!

$$\vec{F}_P = (0, -mg)$$

Applicando $\vec{F} = m\vec{a} = \vec{F}_P$, il sistema di equazioni del moto diventa:

$$\begin{cases} ma_x = 0 \Rightarrow x = x_0 + v_{0x}t \\ ma_y = -mg \Rightarrow a_y = -g \Rightarrow y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \end{cases}$$

La prima legge di Newton prevede che un corpo lasciato scivolare su un a superfice dovrebbe andare avanti all'infinito, ma questo non succede come mai?



Forza d'Attrito

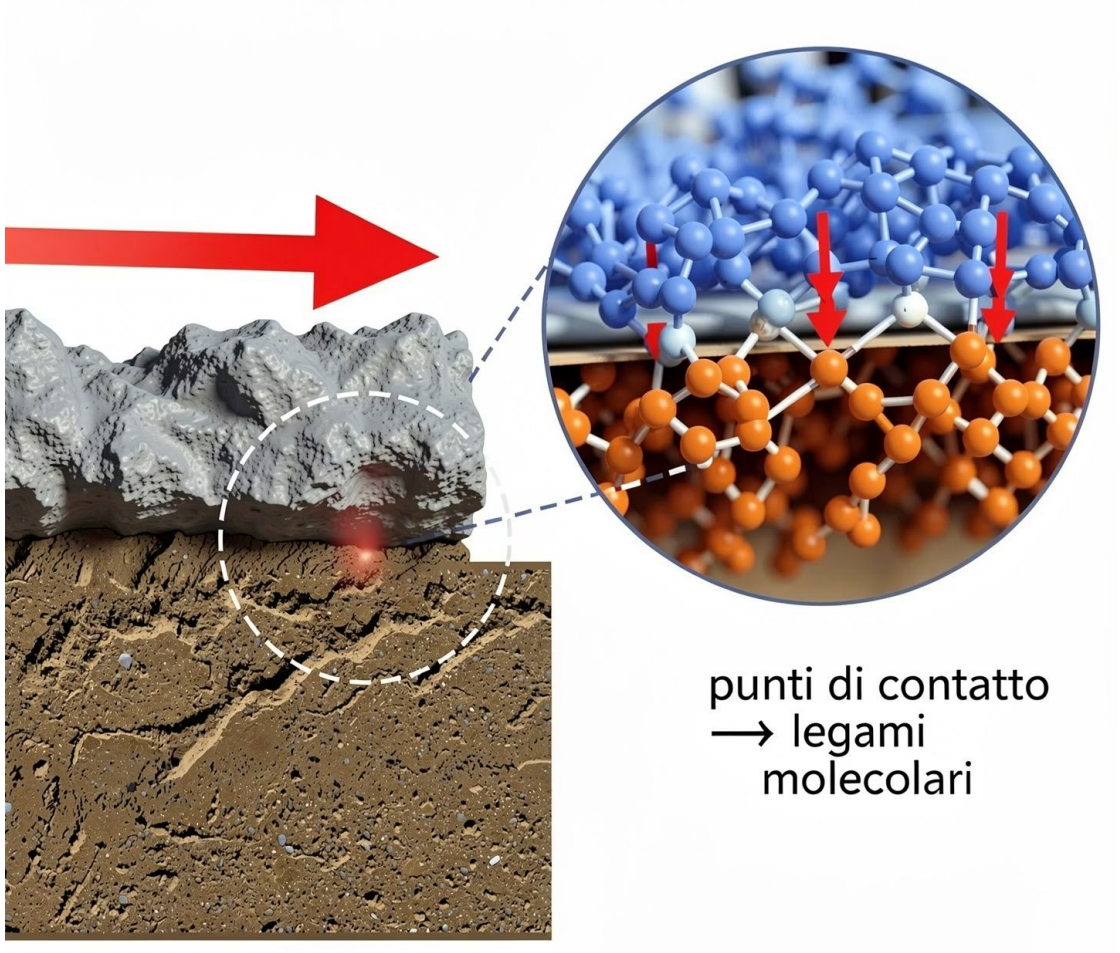
Le forze d'attrito sono **forze dissipative** che si oppongono al movimento. Microscopicamente nascono dai **punti di contatto** tra le superfici, dove si formano legami molecolari che devono essere "rotti" durante lo scivolamento.

Attrito Statico F_s

Agisce quando l'oggetto è fermo. Impedisce l'inizio del movimento.

Attrito Dinamico F_D

Agisce quando l'oggetto è in moto. Rallenta il movimento.



Microscopicamente, l'attrito e' legato alla presenza di legami molecolari nei punti di contatto che e' necessario rompere per poter iniziare il movimento

Coefficiente di Attrito e Reazione Normale

La forza d'attrito e' definita da:

$$\vec{F}_{s,D} = \mu_{s,D}\vec{N}$$

dove $\mu_{s,D}$ è il **coefficiente di attrito** (adimensionale, $0 \leq \mu \leq 1$) e $\vec{N}$ è la **reazione normale**, perpendicolare alla superficie. In generale N è la risultante di tutte le forze perpendicolari alla superficie:

Forza di attrito

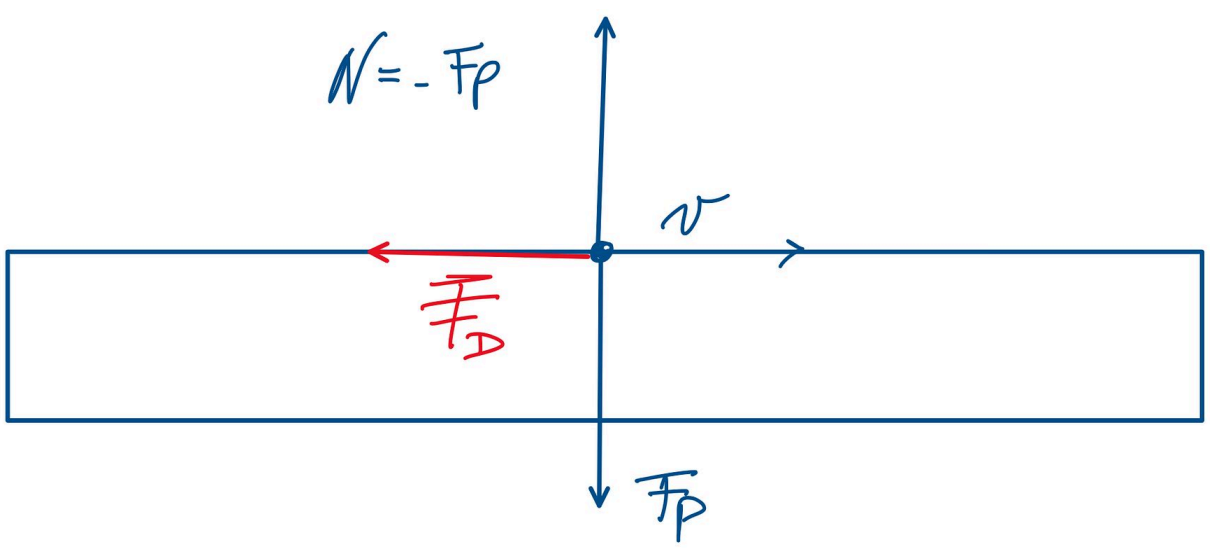
$$F_{s,D} = -\mu_{s,D} \cdot N$$

$\mu_{s,D}$ → coefficiente attrito

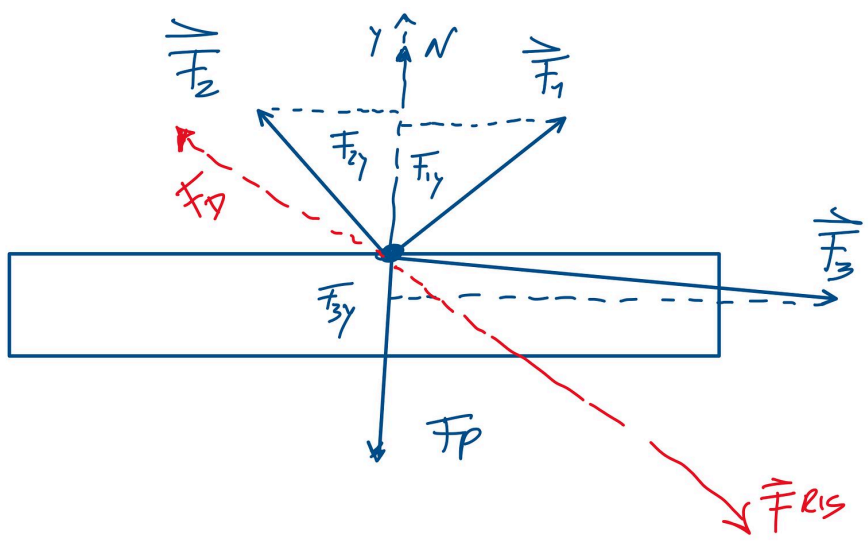
N → reazione normale alle sup.

$0 \leq \mu_{s,D} \leq 1$ $\quad$ $|\mu_{SD}|$ = adimensionale

$N = ?$ $\quad$ $N = F_{ris,y}$ = la risultante delle forze $\perp$ alle sup.



1) $N - F_p = 0 \Rightarrow \boxed{N = F_p}$



2) $N - F_p - F_{3y} + F_{1y} + F_{2y} = 0$

$$\boxed{N = F_p - F_{1y} - F_{2y} + F_{3y}}$$

Esempio Biomeccanico: Il Liquido Sinoviale

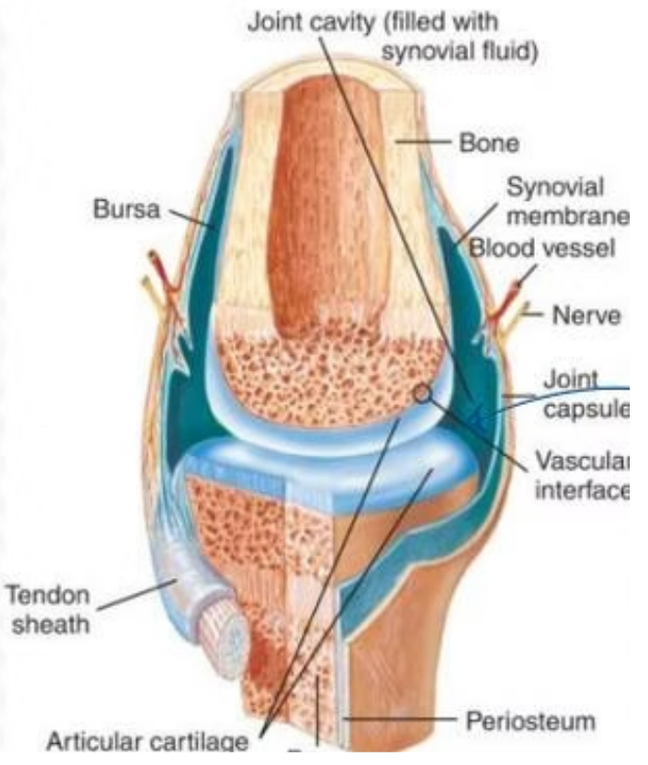
Il **liquido sinoviale** riduce il coefficiente di attrito dinamico μ_D tra le superfici ossee. Quando diminuisce, l'attrito nell'articolazione aumenta, causando dolore. Le **infiltrazioni di acido ialuronico** ripristinano il corretto valore di μ_D.



Ginocchio sano — spazio articolare ampio

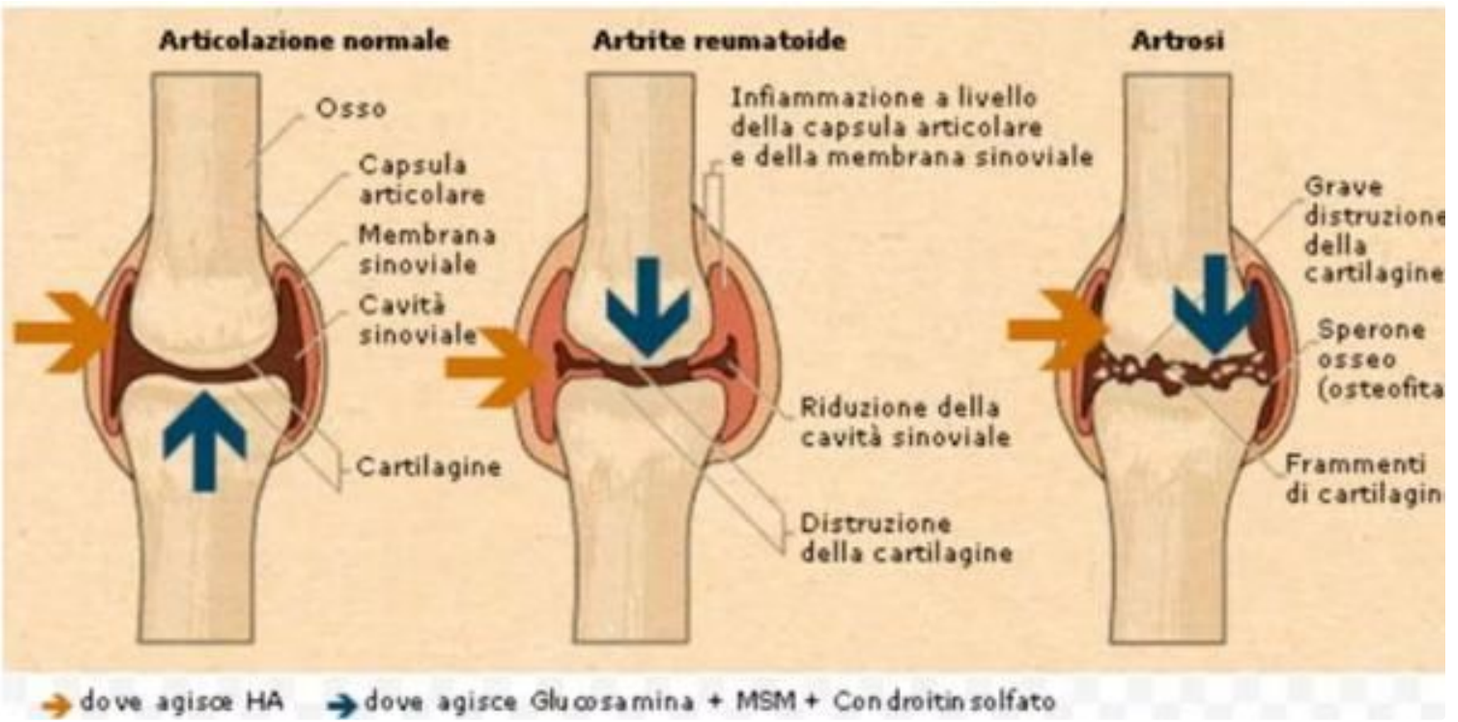


Ginocchio malato — spazio ridotto, sperone osseo



Anatomia — cavità sinoviale e cartilagine

Artrite vs Artrosi: Dove Agiscono i Farmaci



Articolazione Normale

Osso, capsula articolare, membrana sinoviale, cavità sinoviale e cartilagine integri.

Artrite Reumatoide

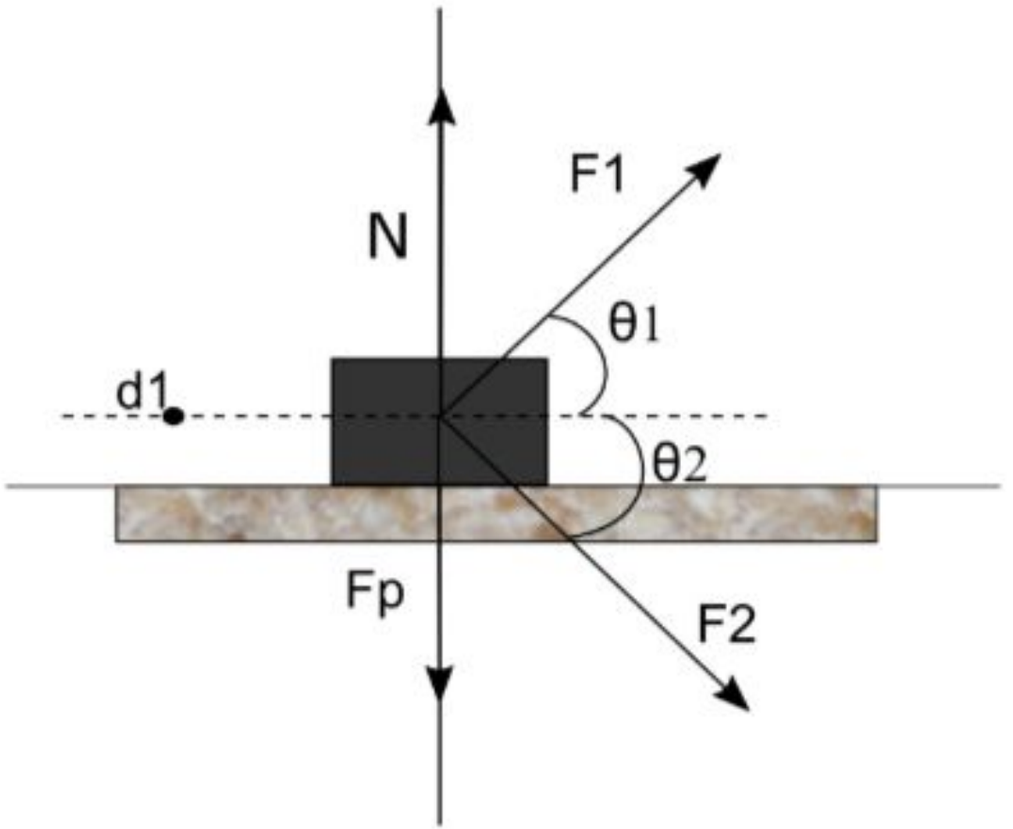
Infiammazione della capsula e membrana sinoviale. Riduzione cavità sinoviale. Distruzione cartilagine. → Agisce HA

Artrosi

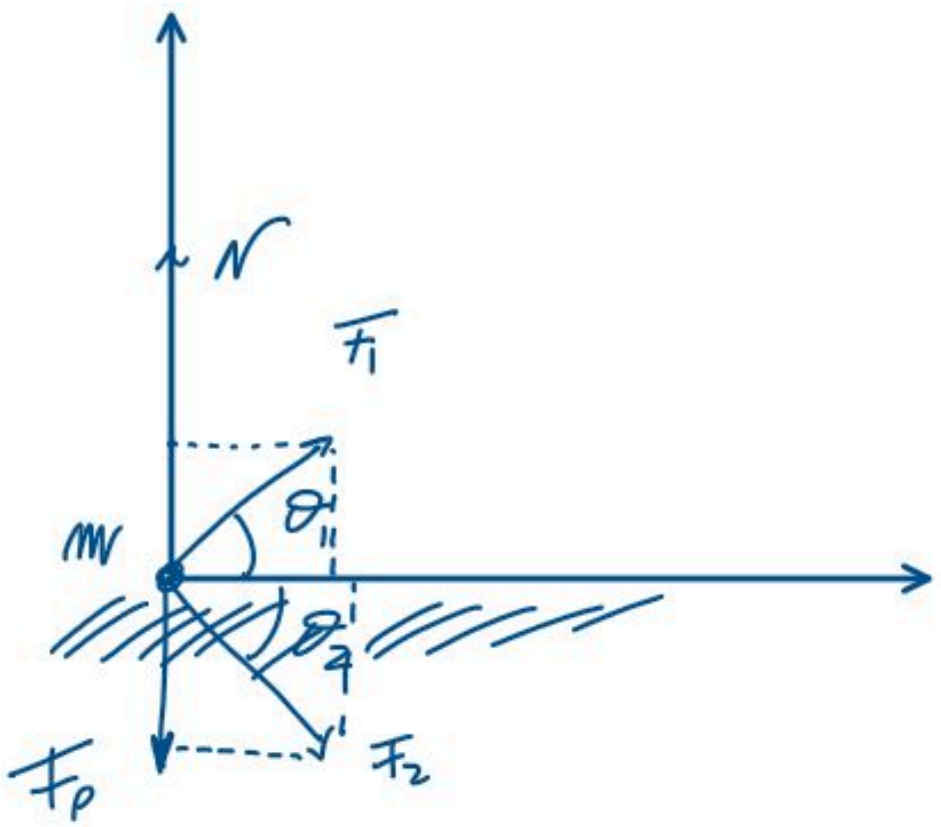
Grave distruzione cartilagine, sperone osseo (osteofita), frammenti cartilaginei. → Agisce Glucosamina + MSM + Condroitin solfato

Esercizio Primo Parziale

Un blocco di massa $m = 5\,\mathrm{kg}$ è sottoposto alla sua forza peso ($\vec{F}_P$), alla reazione normale del blocco ($\vec{N}$) e a due forze $\vec{F}_1$ ed $\vec{F}_2$ che lo spingono su un piano orizzontale (impenetrabile) privo di attrito. Sapendo che $F_1 = 10\,\mathrm{N}$, $\theta_1 = 45°$, $F_2 = 1{,}5\,\mathrm{N}$, $\theta_2 = 30°$, calcolare:



1. Modulo, direzione e verso della risultante delle forze e accelerazione complessiva;
2. Supponendo ora che ci sia un attrito dinamico con $\mu_D = 0{,}01$, quanto vale la forza di attrito dinamico $\vec{F}_D$;
3. Il momento di $\vec{F}_2$, $\vec{M}$, rispetto ad un asse perpendicolare al foglio e posto ad una distanza $d_1 = 5\,\mathrm{m}$ (indicato in figura)



$$\begin{cases} F_x = F_1 \cos\vartheta_1 + F_2 \cos\vartheta_2 = 10\sqrt{2}/2 + 1{,}5\sqrt{3}/2 = \\ F_y = -F_p + N + F_1 \sin\vartheta_1 - F_2 \sin\vartheta_2 = 0 \end{cases}$$

↑ IMPENETRABILE

$$|\vec{F}_{ris}| = \sqrt{F_x^2 + \underbrace{F_y^2}_{=0}} = F_x$$

$$\begin{cases} F_x = 8{,}37\ N \\ F_y = 0\ N \end{cases}$$

$$\boxed{|\vec{F}_{ris}| = 8{,}37\ N \simeq 8\ N\ (1\ c.s.)}$$

$$\boxed{\vartheta = \operatorname{arctg}\left(F_y / F_x\right) = 0^\circ}$$

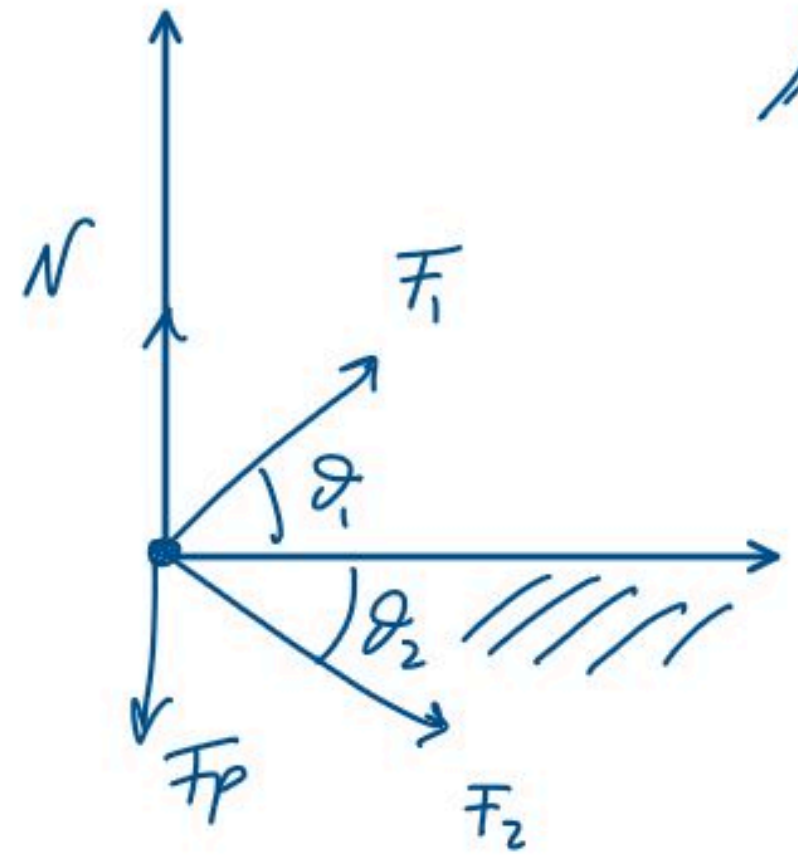


2)

$$F_D = -\mu_D N$$

↳ Reazione Normale

$\mu_D = 0{,}01$ $\quad N = ?$



Impenetrabile

$\Downarrow$

$F_y = 0$

$$F_y = N - F_p + F_{1y} - F_{2y} = 0$$

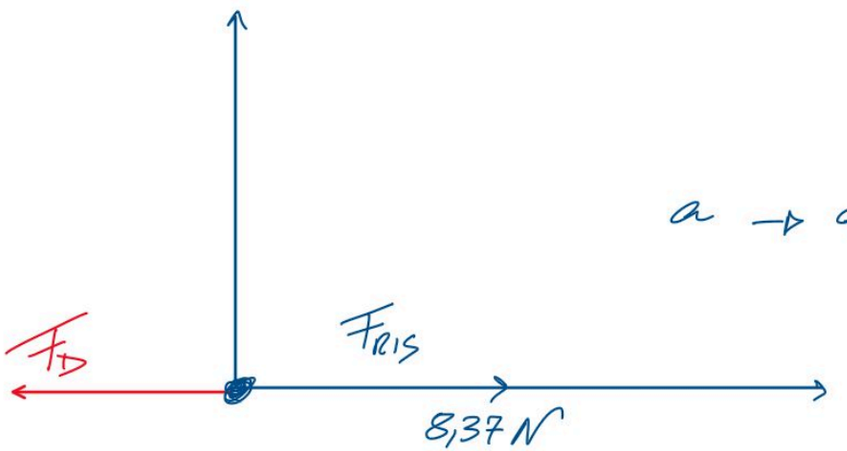
$$N = F_p - F_{1y} + F_{2y} = mg - F_1 \sin\vartheta_1 + F_2 \sin\vartheta_2$$

$$\boxed{N = 42{,}72893 \ N}$$

$$F_D = \mu_D N = 0{,}01 \cdot 42{,}72893 =$$

$$\boxed{F_D = 0{,}42728 \ N \simeq 0{,}4 \ N \ (1 \text{ c.s.})}$$

3) Di quanto varia la sua accelerazione in presenza delle forze di attrito



$a' = ?$ $\qquad \vec{F}'_{RIS} = \vec{F}_{RIS} + \vec{F}_D$

$$\Rightarrow \begin{cases} F'_{RIS,x} = F_{RIS} - F_D = m a'_x \\ F'_{RIS,y} = 0 = 0 \end{cases}$$

$$a'_x = \frac{F_{ris} - F_D}{m} = \frac{8{,}37 - 0{,}42728}{5}$$

$$a' = 1{,}5885 \ m/s^2$$

Quanto vale la variazione percentuale di a

$$\frac{\Delta a}{a} \Rightarrow \frac{a' - a}{a} = \left(\frac{1{,}5885 - 1{,}6738}{1{,}6738}\right)$$

$$\frac{\Delta a}{a} = -0{,}0509$$

$$\frac{\Delta e}{e} = -5\%$$

Riepilogo della lezione

Leggi di Newton

I: inerzia, Fris = 0 ⇒ v costante

II: Fris = m a

III: azione-reazione, F12 = -F21

Massa inerziale

Grandezza scalare, [m] = kg, misura la resistenza del corpo ad accelerare.

Equilibrio traslazionale

$F^{Ris} = 0 \Rightarrow a = 0 \Rightarrow v = \text{costante}$

Gravitazione e forza peso

$F_g = -G\frac{M_T m}{r^2}$, $F_P = mg$

$g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ costante per distanze $\ll$ R, decrescente con la distanza.

Forza d'attrito

Forza dissipativa: $F = \mu N$, con 0 ≤ μ ≤ 1.

Attrito statico e dinamico.

Applicazioni biomediche

Propulsione dei pesci e scomposizione vettoriale delle forze.

Biomeccanica della deambulazione.

Liquido sinoviale e artrosi/artrite.

Domande di autovalutazione

1

Enuncia il principio di inerzia: cosa accade a un corpo se la risultante delle forze è nulla?

2

Scrivi la II legge di Newton e spiega il significato di massa inerziale.

3

Perché, secondo la III legge, azione e reazione non si annullano a vicenda? (Suggerimento: su quali corpi agiscono?)

4

Come si spiega la propulsione di un pesce usando la III legge e la scomposizione vettoriale delle forze?

5

Cosa dice la legge di gravitazione universale e come si ricava la forza peso $F_P = mg$?

6

Come varia g con la distanza dalla Terra? Quando può essere considerata costante?

7

Perché un corpo che scivola su una superficie si ferma, nonostante la I legge di Newton? Da cosa dipende la forza d'attrito?

8

Che ruolo ha il liquido sinoviale nell'attrito articolare e che differenza c'è tra artrite e artrosi?