

I principi della dinamica

Unità di apprendimento · Fisica · classe terza (secondo biennio)

Codice colore della serie:



posizione



velocità



accelerazione



forza

Fonti citate al punto d'uso: Indicazioni Nazionali (D.M. 211/2010) · Il nuovo L'Amaldi.blu vol. 1 · fonti primarie (Newton, Galilei, Huygens, Hooke, Amontons, Coulomb) · letteratura PER

Che cosa determina il moto?

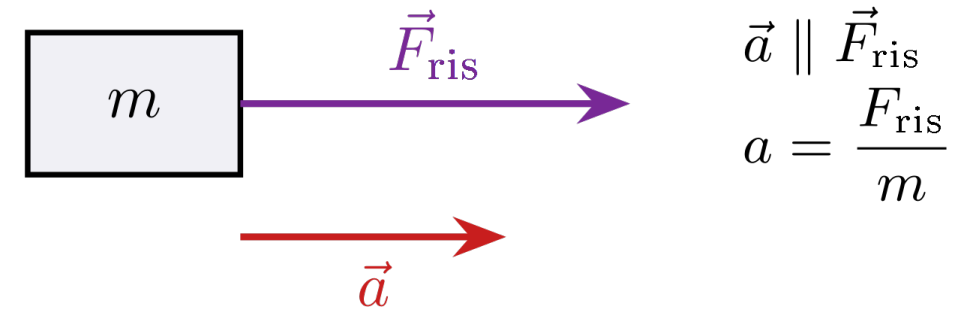
- **La cinematica risponde a «come si muove»; la dinamica a «perché si muove così».**
- Prerequisiti: vettori posizione/velocità/accelerazione, scomposizione lungo assi, moto uniformemente accelerato.
- Il riferimento inerziale non è un prerequisito: lo introduce il primo principio.
- Obiettivi (Indicazioni Nazionali, D.M. 211/2010): enunciare e applicare i tre principi; distinguere massa e peso; usare il diagramma di corpo libero; saldare dinamica e cinematica.
- Manuale in adozione: Il nuovo L'Amaldi.blu, vol. 1 — con enfasi esplicita sui misconcetti documentati dalla ricerca.

I nodi concettuali da smontare

Idea spontanea (misconcetto)	Idea fisica corretta (fonte PER)
«Il moto richiede una forza che lo sostenga»	La forza cambia il moto; a mantenerlo non serve forza (Viennot; Clement)
«Se un corpo si muove, c'è una forza nel verso del moto»	La forza ha il verso dell'accelerazione, non della velocità (Halloun & Hestenes)
«Un corpo fermo non ha forze applicate»	Su un corpo fermo le forze sono in equilibrio, non assenti (Minstrell)
«Nell'urto il corpo più grande spinge di più»	Le forze azione–reazione hanno sempre lo stesso modulo (Maloney; Brown)

La forza

- **Forza = interazione tra due corpi (spinta, trazione, attrazione).**
- Doppio effetto: deforma un corpo, oppure ne cambia il moto (lo accelera).
- È una grandezza vettoriale: modulo, direzione, verso.
- **Più forze si compongono con la regola del parallelogramma: conta la risultante.**



La risultante determina l'accelerazione (2° principio).

Le quattro interazioni fondamentali

Interazione	Raggio d'azione
gravitazionale	illimitato (∞)
elettromagnetica	illimitato (∞)
nucleare forte	$\approx 10^{-15}$ m
nucleare debole	$\approx 10^{-18}$ m

- **Classificazione operativa (scala macroscopica):**
 - A distanza: gravitazionale, elettromagnetica (senza contatto).
 - Di contatto: normale, attrito, tensione, compressione.
- Le forze di contatto sono, a livello microscopico, di origine elettromagnetica.

Scommettiamo?

Un disco da hockey scivola su ghiaccio quasi senza attrito e, dopo la spinta iniziale, prosegue dritto a velocità pressoché costante.

Mentre scivola libero, qual è la forza che lo spinge in avanti?

Scrivi la tua previsione prima di proseguire.

Principio d'inerzia

Enunciato

Un corpo non soggetto a forze, o con risultante nulla, conserva il proprio stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.

- Controintuitivo: per tenere in moto un corpo sembra servire una spinta continua...
- **...ma quella spinta serve solo a bilanciare l'attrito. Tolto l'attrito, non serve più.**
- Galileo lo isola ragionando su piani via via più lisci (Discorsi, 1638).

Che cosa «tiene in moto» un corpo?

Attenzione al misconcetto

«Il moto ha bisogno di una forza.» No: la forza NON mantiene il moto, lo CAMBIA. A moto rettilineo uniforme corrisponde risultante nulla.

- **Il primo principio seleziona anche gli osservatori:**
 - Riferimenti inerziali: il principio vale (es. solidale con le stelle fisse).
 - Riferimenti non inerziali: accelerati (es. autobus che frena) — l'inerzia sembra violata.
- La Terra è inerziale solo in buona approssimazione (rotazione e rivoluzione).
- Da qui si innesterà lo studio dei cambiamenti di riferimento (moti relativi).

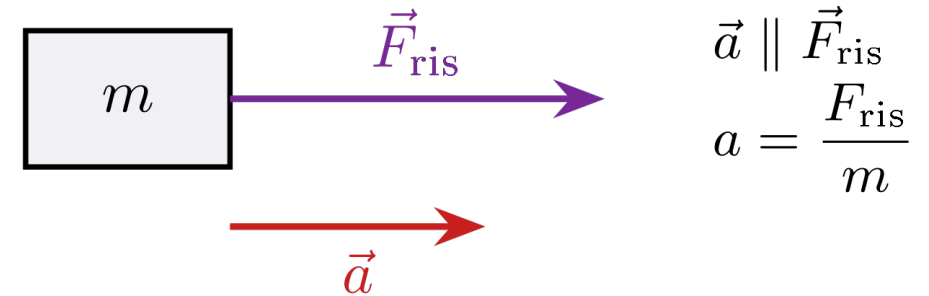
Quanta accelerazione produce una forza

Enunciato

La forza risultante è uguale al prodotto della massa per l'accelerazione prodotta.

$$\vec{F}_{\text{ris}} = m \vec{a}$$

- È vettoriale: a è parallela a F , non alla velocità.
- Definisce la massa inerziale: a parità di F , più massa $\Rightarrow$ meno accelerazione.
- Contiene il 1° principio: se $F = 0$ allora $a = 0$.



$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2$$

Unità: il newton

Esempio guidato · massa e peso

Esempio

Cassa $m = 4,0$ kg su piano liscio. Forze orizzontali opposte: 18 N e 6,0 N.
Risultante = 12 N $\Rightarrow a = 12/4,0 = 3,0$ m/s², verso destra.

Poi la cinematica ricostruisce velocità e spostamento.

Massa $\neq$ peso

Massa (kg): misura dell'inerzia, non cambia col luogo.

Peso (N): forza con cui un pianeta attira il corpo.
Sulla Luna il peso è $\sim 1/6$, la massa è la stessa.

$$\vec{F}_P = m \vec{g}, \quad g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

Il legame quantitativo tra peso e massa (introdotto tra poco).

Azione e reazione

Enunciato

Se A esercita una forza su B, allora B ne esercita una su A: stesso modulo, verso opposto, stessa retta d'azione.

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

- Le forze sono sempre a coppie: ogni forza è un'interazione tra due corpi.
- **I due membri agiscono su corpi DIVERSI: non si elidono.**
- Stessa retta d'azione $\Rightarrow$ braccio nullo (nessun momento).



stesso modulo, versi opposti, *corpi diversi*;
stessa retta d'azione $\Rightarrow$ braccio nullo

Due errori frequenti

Attenzione al misconcetto

(1) «Le forze si annullano, nulla si muove»: agirebbero solo se sullo stesso corpo — ma sono su corpi diversi.

Attenzione al misconcetto

(2) «Il più grande spinge di più»: i moduli sono uguali. Camion e zanzara si scambiano la stessa forza; cambia l'accelerazione.

Scommettiamo?

Un cavallo tira un carro, e il carro (3° principio) tira il cavallo con forza uguale e contraria. Perché il sistema avanza?

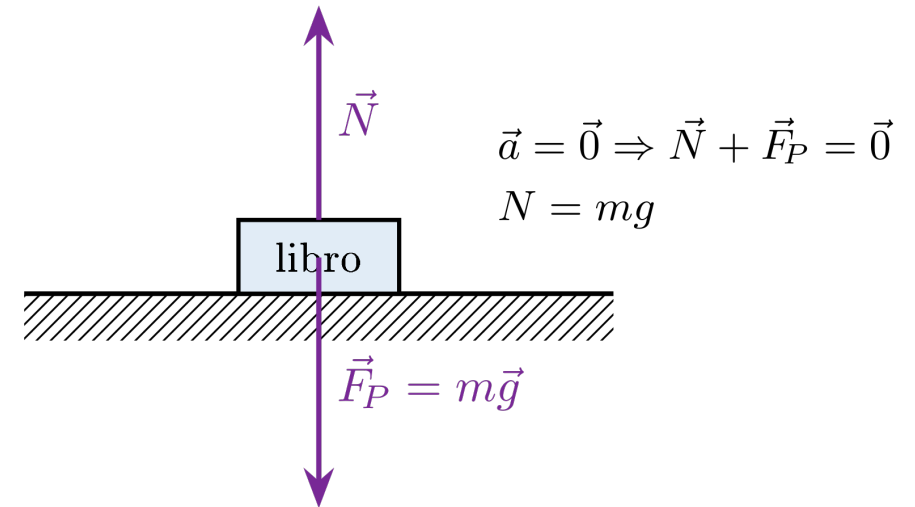
Suggerimento: guarda solo le forze sul carro, e solo quelle sul cavallo (inclusa la spinta del terreno).

Il terzo principio spiega la locomozione (piede–suolo) e la propulsione (razzo–gas).

Diagramma di corpo libero - peso e normale

- Isolare il corpo e disegnare tutte e sole le forze che agiscono su di esso, poi imporre $\vec{F} = m \vec{a}$.
- Forza-peso: verso il basso, proporzionale alla massa.
- Forza normale N : il vincolo reagisce perpendicolarmente; in equilibrio bilancia il peso.

$$\vec{F}_P = m \vec{g}, \quad g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$



N non è la reazione del peso

Attenzione al misconcetto

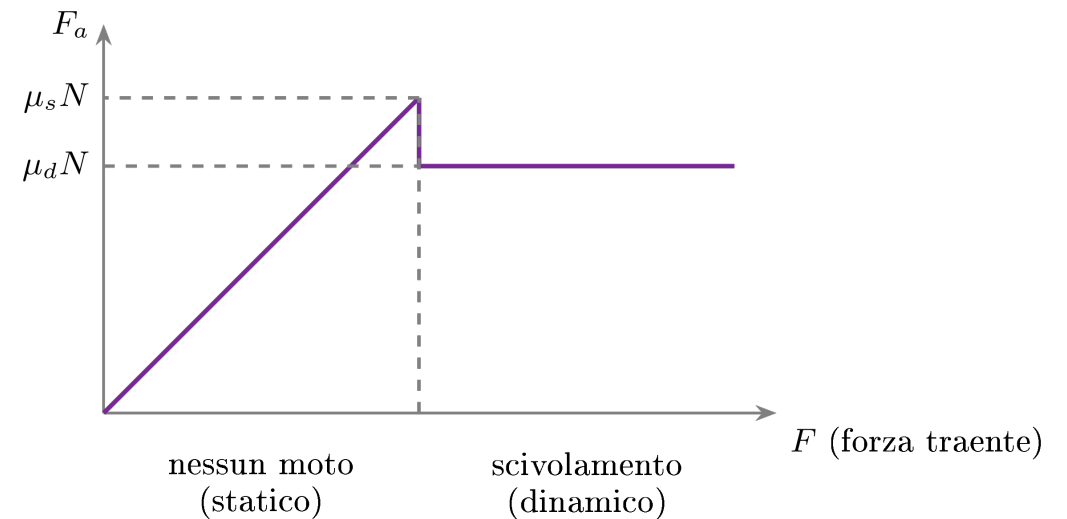
Peso e normale agiscono sullo STESSO corpo (il libro): non sono una coppia azione–reazione, ma due forze diverse che qui si equilibrano.

- La reazione al peso del libro è la forza con cui il libro attira la Terra.
- La reazione alla normale è la forza con cui il libro preme sul tavolo.
- **Le coppie del terzo principio stanno sempre su corpi diversi.**

Le forze d'attrito

- Forza parallela alla superficie, si oppone allo scorrimento (origine microscopica: EM).
- Statico: bilancia la forza traente fino alla soglia $\mu_s N$.
- Dinamico: appena c'è moto scende a $\mu_d N$, con $\mu_d < \mu_s$.
- μ adimensionali, dipendono dalle superfici, **NON** dall'area di contatto.

$$F_{a,s}^{\max} = \mu_s N \quad F_{a,d} = \mu_d N \quad (\mu_d < \mu_s)$$

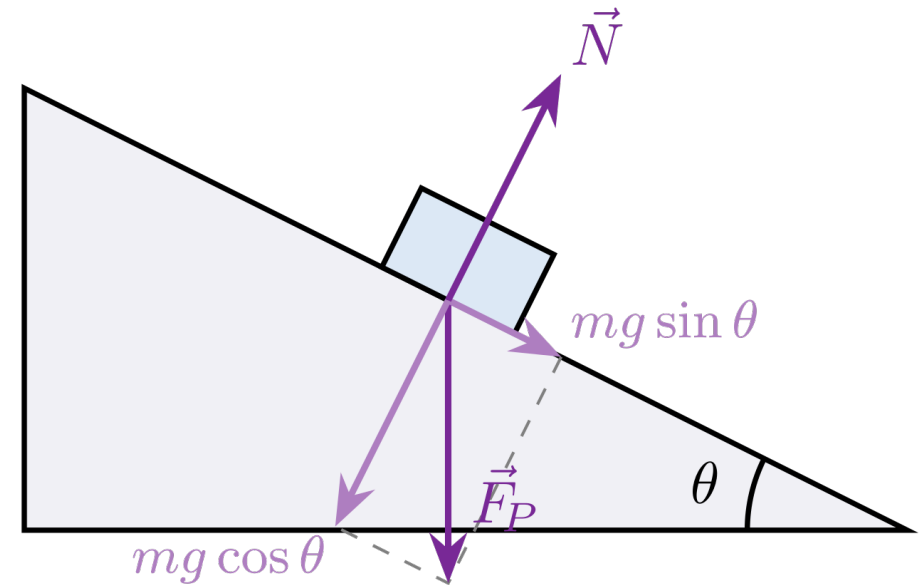


Fonti: Amontons (1699), Coulomb (1785); Amaldi.

Il piano inclinato liscio

- Assi paralleli e perpendicolari al piano: l'accelerazione è tutta lungo il piano.
- Peso scomposto: $mg \cdot \sin \theta$ (lungo il piano) e $mg \cdot \cos \theta$ (bilanciata da N).
- **Accelerazione indipendente dalla massa (Galileo «diluisce» la caduta).**

$$a = g \sin \theta$$



Piano inclinato scabro

- All'attrito si oppone alla componente motrice: $F_a = \mu N = \mu \cdot mg \cdot \cos\theta$.
- Lungo il piano: $mg \cdot \sin\theta - \mu \cdot mg \cdot \cos\theta = m \cdot a$.

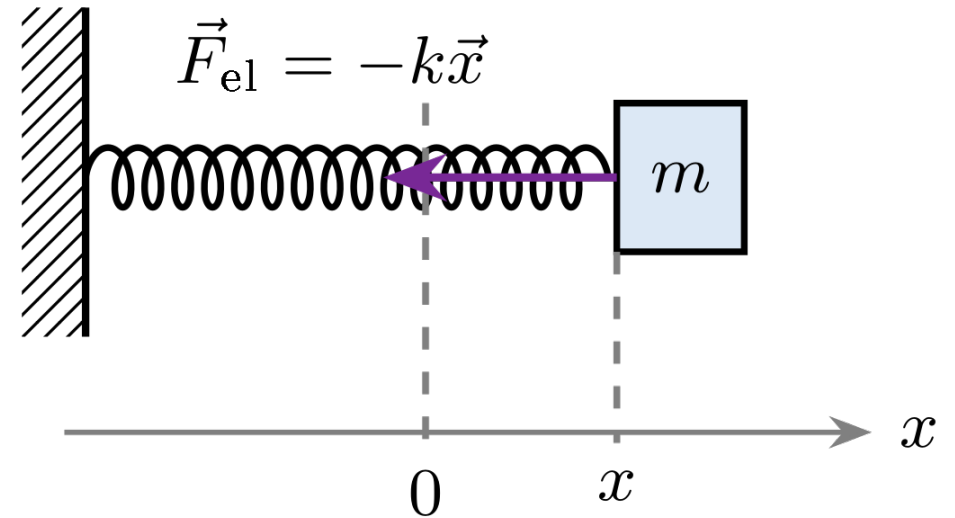
$$a = g (\sin \theta - \mu \cos \theta)$$

- **Il blocco parte solo se $\tan \theta > \mu_s$ (attrito statico massimo superato).**
- Una volta in moto vale la relazione con $\mu = \mu_d$. Per $\mu = 0$ si ritrova il caso liscio.

La forza elastica

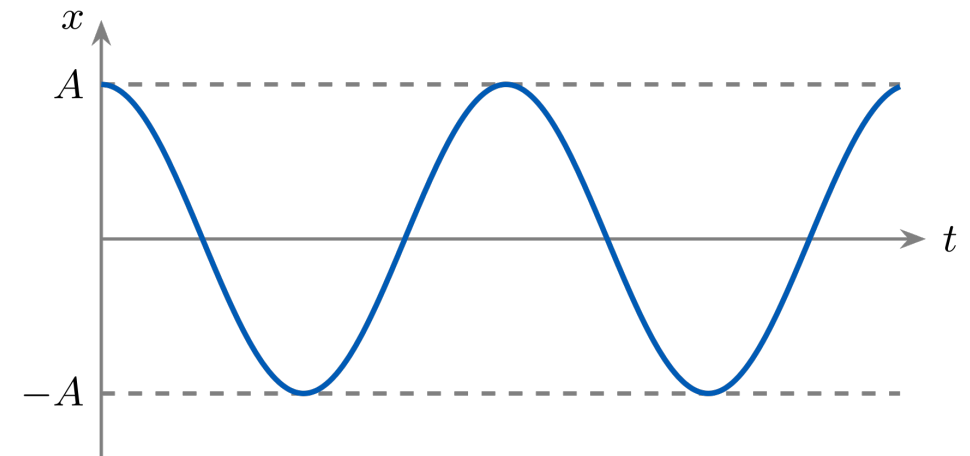
- Forza di richiamo verso l'equilibrio, proporzionale alla deformazione (Hooke, 1678).
- k = costante elastica (N/m): più dura la molla, più grande k .
- Vale entro il limite elastico; oltre, la legge non vale più.

$$\vec{F}_{el} = -k \vec{x}$$



Il moto armonico

- Con la sola forza elastica: $a = -(k/m) \cdot x$ — accelerazione proporzionale e opposta allo spostamento.
- **È la condizione del moto armonico semplice: oscillazione cosinusoidale.**
- Il periodo dipende da m e k , **NON** dall'ampiezza.

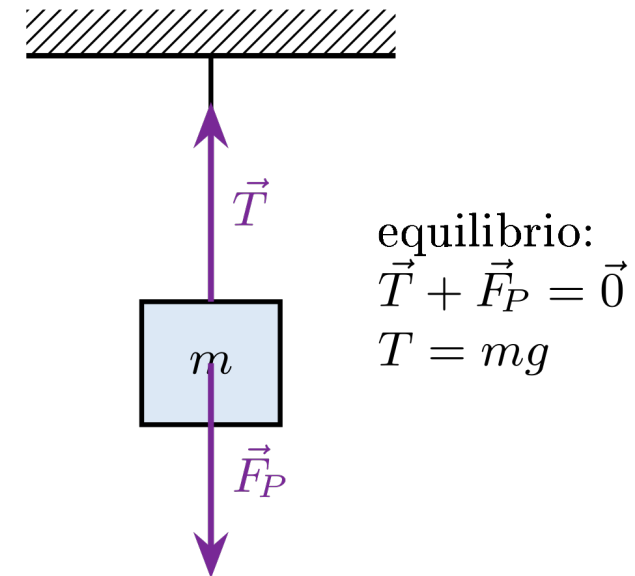


$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi), \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}, \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

La tensione

- Un filo teso trasmette una forza lungo la propria direzione.
- Fune ideale (inestensibile, massa trascurabile): stessa tensione in ogni punto; la carrucola cambia solo la direzione.
- **Corpo appeso in equilibrio: la tensione bilancia il peso.**

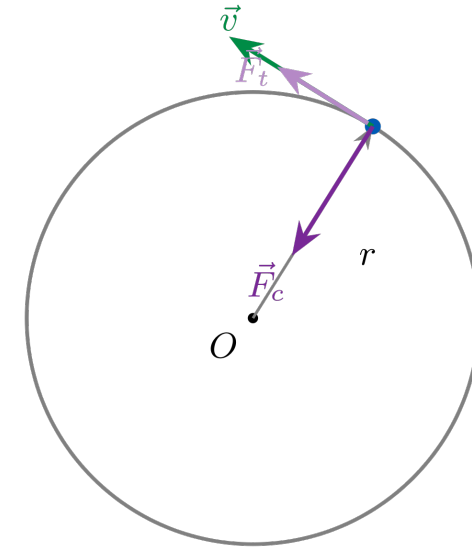
$$\vec{T} + \vec{F}_P = \vec{0} \Rightarrow T = mg$$



Le forze nel moto circolare

- In curva l'accelerazione c'è anche a velocità costante in modulo (cambia direzione).
- Uniforme: risultante centripeta, verso il centro.
- **La forza centripeta NON è una forza nuova: è il ruolo della risultante (tensione, attrito, gravità...).**

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



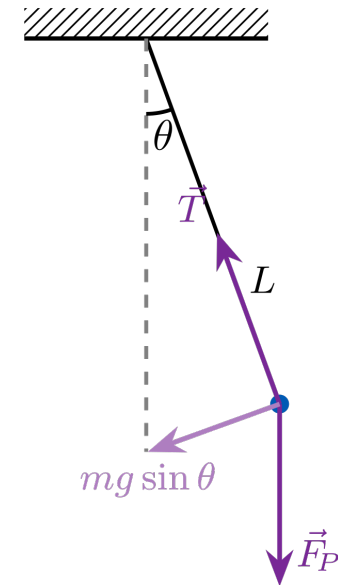
Attenzione al misconcetto

In un riferimento inerziale non esiste «forza centrifuga»: la sensazione nasce dall'inerzia. La centrifuga è apparente (moti relativi).

Il pendolo semplice

- Lungo la tangente resta la componente $mg \cdot \sin\theta$, che richiama verso la verticale.
- **Piccole oscillazioni:** $\sin\theta \approx \theta \Rightarrow \text{forza di richiamo} \propto \text{spostamento}$ ($k = mg/L$).
- È un moto armonico: periodo indipendente da massa e ampiezza (isocronismo, Galileo).

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$



Rubrica e definizione di massa

- **Rubrica su tre livelli (base / intermedio / avanzato):**
 - inerzia e ruolo della forza · secondo principio · terzo principio · diagramma di corpo libero (con attrito).
- Uso formativo e sommativo; verifica pre/post con Force Concept Inventory (Hake).

$$F = m_1 a_1 = m_2 a_2 \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

Appendice · definizione di massa

Massa inerziale (dal 2° principio) e definizione operativa di Mach (rapporto delle accelerazioni).
L'unità di massa dal SI 2019 (costante di Planck).
Massa inerziale vs gravitazionale: uguaglianza sperimentale
⇒ rimando alla gravitazione universale.

Riferimenti citati al punto d'uso

- Istituzionali: Indicazioni Nazionali (D.M. 211/2010) · Il nuovo L'Amaldi.blu, vol. 1 (ISBN 9788808999399).
- Fonti primarie: Newton (Principia, 1687) · Galilei (Discorsi, 1638; Dialogo, 1632) · Huygens (1673) · Hooke (1678) · Amontons (1699) · Coulomb (1785).
- Ricerca didattica (PER): Viennot (1979) · Clement (1982) · Halloun & Hestenes (1985) · Minstrell (1982) · Maloney (1984) · Brown (1989) · Hestenes et al. FCI (1992) · Hake (1998).
- Definizione di massa: Mach (1883) · Hecht (2006) · BIPM, SI (2019).