

I.P.S.I.A. "A.M. Barlacchi"

Crotone

Appunti di Fisica

Capitolo II

Le forze e l'equilibrio

Ugo Carvelli

Capitolo II – Le forze e l'equilibrio

Introduzione ai vettori

Per esprimere la quantificazione di talune grandezze è sufficiente indicare un valore, ovvero un numero (o scalare), come ad esempio se dobbiamo indicare la massa di un corpo o la larghezza di una porta.

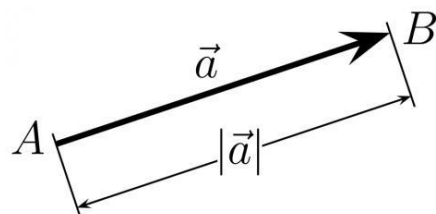
L'esperienza quotidiana ci insegna però che esistono altri tipi di grandezze fisiche per le quali non è più sufficiente esprimere un valore numerico ma si rende necessario definire altri aspetti.

Ciò che può aiutarci a descrivere cosa accade è il concetto di vettore.

Un vettore è un elemento geometrico rappresentato da un segmento orientato, munito cioè di una freccia in una delle sue estremità, e caratterizzato da **quattro** elementi:

- **modulo**: rappresenta la lunghezza del vettore (indicata da un valore e un'unità di misura);
- **direzione**: è individuata dal fascio di rette parallele alla retta su cui giace il vettore; quindi non solo la retta su cui agisce ma anche le rette ad essa parallela;
- **verso**: il *verso* è descritto dalla punta del vettore stesso, rappresentato da un segmento orientato;
- **punto di applicazione**: il punto antecedente a tutti gli altri, ossia il punto iniziale.

I vettori vengono indicati nel seguente modo: \vec{a}



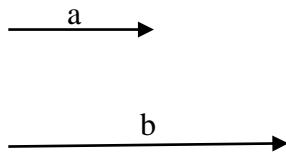
Composizione di vettori

Appare evidente che, nei fenomeni che ci troveremo a studiare, molte volte dovremo affrontare problemi in cui, per esempio, su un corpo agiscono più forze (più vettori) quindi si rende necessario chiarire come tali composizioni avvengano nei diversi casi.

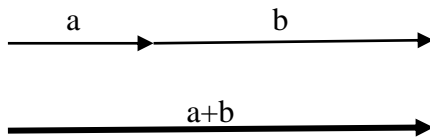
1° caso: vettori paralleli (stessa direzione) e concordi (stesso verso)

in questa situazione avremo a che fare con vettori che hanno stessa direzione e stesso verso.

La somma dei due vettori, sarà rappresentata dal vettore risultante, che avrà stessa direzione e stesso verso di entrambi e come modulo la somma dei moduli.

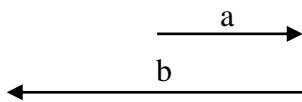


il vettore somma sarà indicato come $a+b$ e rappresentato come:

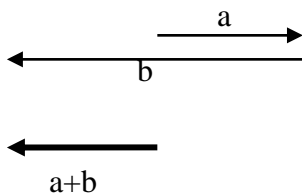


2° caso: vettori paralleli (stessa direzione) e discordi (verso opposto)

in questa situazione avremo a che fare con vettori che hanno stessa direzione ma verso opposto. La somma dei due vettori, sarà rappresentato dal vettore risultante (indicato in rosso), che avrà stessa direzione, verso del vettore con modulo maggiore e modulo la differenza tra i moduli ($b-a$). Avremo quindi:

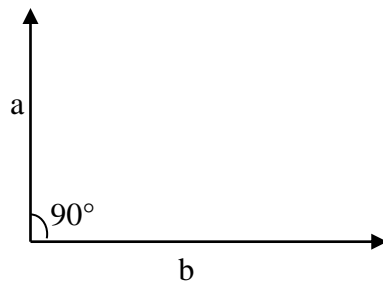


il vettore somma sarà indicato come $a+b$ (è sempre una somma algebrica) e rappresentato come:

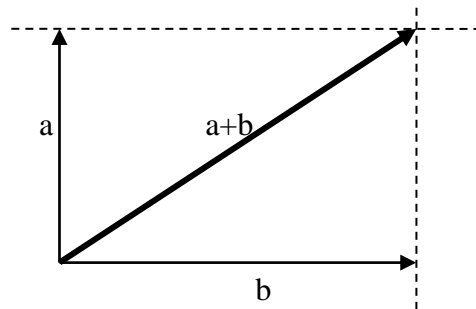


3° caso: vettori ortogonali tra di loro

in questo caso i vettori formano, tra di loro, un angolo di 90° , come rappresentati in figura:



il vettore somma $a+b$ sarà rappresentato dal vettore che ha come modulo la diagonale del rettangolo formato dai due vettori:

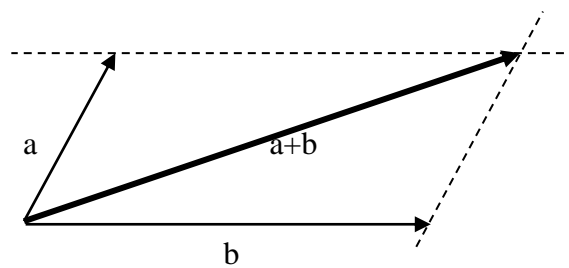


e il modulo del vettore , che indichiamo con R, avrà valore:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2} \quad (\text{per applicazione del teorema di Pitagora})$$

4° caso: vettori che formano un angolo α tra di loro

La **somma** di due vettori **a** e **b** è definita come il vettore **a + b**, diagonale del **parallelogramma** formato dai vettori **a** e **b**



Si tracciano le rette parallele ai due vettori a e b (linee tratteggiate) e si congiunge il punto comune dei vettori con l'intersezione delle due nuove rette. Tale congiungente sarà il vettore risultante $R=a+b$.

Le forze

Da un punto di vista puramente meccanico il concetto primitivo di forza è insito nello sforzo muscolare che si compie ogni qualvolta vogliamo spingere, tirare, impedire il moto, deformare un corpo. Così, per esempio, quando si alza un bilanciere, quando si spinge una cassa sopra un pavimento, si applica una forza; un ciclista esercita una forza sui pedali per far muovere la bicicletta. Un'automobile si muove sotto la spinta della forza sviluppata dal motore; un razzo si muove sotto l'azione di una forza che si sviluppa in seguito alla combustione dei gas.

In generale una forza applicata a un corpo, libero di muoversi, lo mette in movimento; diciamo per questo che le forze producono effetti dinamici.

Un altro effetto della forza è ad esempio la deformazione di una molla, In questo caso diciamo che la forza è in grado di deformare il corpo momentaneamente, cioè finché agisce la forza. Le forze possono anche arrestare il movimento di un corpo, come avviene, per esempio, quando si preme sul pedale dei freni di un'automobile in movimento. Se il corpo al quale è applicata la forza non è libero di muoversi, ma, come si suol dire, è vincolato, la forza produce in generale una deformazione sia del corpo che del vincolo.

Vincoli e reazioni vincolari

Esistono corpi che possono muoversi nelle tre direzioni dello spazio, altri, come un treno sui binari, che sono invece vincolati a stare su una superficie o su una linea. Posando un oggetto su un tavolo, il tavolo si deforma, sia pur impercettibilmente, per contrastare il peso dell'oggetto. Poiché l'oggetto rimane fermo, la forza vincolare sarà pari al peso dell'oggetto e sarà perciò tanto maggiore quanto maggiore è il peso dell'oggetto. Un **vincolo** è qualsiasi condizione che limita il moto di un corpo o lo mantiene in stato di equilibrio. In meccanica, essendo solo le forze capaci di modificare lo stato di quiete o di moto di un sistema, l'azione dei vincoli si esplica attraverso un insieme di forze dette **forze vincolari** o **reazioni vincolari** che agiscono sui punti del sistema, limitandone il moto.

Unità di misura di una forza

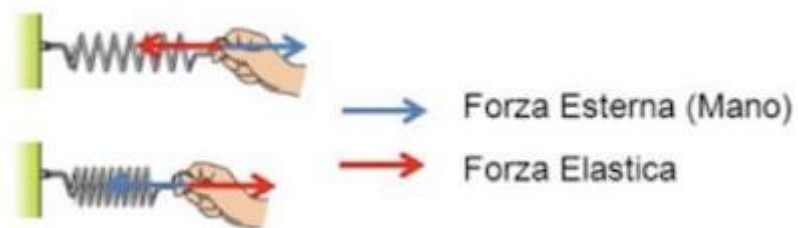
Il **newton** (simbolo: **N**) è un'unità di misura della forza; fa parte delle unità di misura derivate del Sistema internazionale di unità di misura. Il newton prende il nome da Isaac Newton come riconoscimento per il suo lavoro nella meccanica classica.

Venne adottato dalla “Conferenza generale dei pesi e delle misure” nel 1960. Viene definita come la quantità di forza necessaria per imprimere ad un chilogrammo di massa una accelerazione di un metro al secondo quadrato. Le sue dimensioni in termini di unità base SI sono:

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

Il dinamometro (dal greco dynamis "forza" e metron "misura") è lo strumento utilizzato per la misurazione della forza. La sua struttura è molto semplice poiché è costituito da una molla con una scala graduata.

La forza elastica



Per corpi elastici intendiamo quei corpi che sottoposti ad una sollecitazione tramite una forza, una volta deformatosi, finita l’azione della forza, ritornano nelle condizioni iniziali.

La forza elastica è quella forza che si evidenzia ogni volta che noi proviamo a sollecitare un corpo elastico tentando di allungarlo, comprimerlo o deformarlo.

In tal caso il corpo reagisce con una forza interna che si oppone alla nostra sollecitazione, che vale:

$$F_{el} = -k \cdot \Delta s \quad (\text{Legge di Hooke})$$

Dove F_{el} è la forza elastica, k è il coefficiente elastico della molla, misurata in N/m e Δs è l’allungamento della molla rispetto alla posizione iniziale, il segno meno sta ad indicare che la forza si oppone alla sollecitazione, cioè la forza elastica è una forza di richiamo.

La forza di attrito



La forza d'attrito è una forza che nasce ogni volta che un corpo si muove, o cerca di muoversi, a contatto con un altro corpo. L'attrito può essere dannoso o utile. E' dannoso, e perciò si cerca di limitarlo, quando si vuol far muovere un corpo: le forme aerodinamiche sono studiate per ridurre l'attrito, come pure la lubrificazione di organi di macchine). Invece, quando vogliamo fermare o rallentare un corpo, sfruttiamo proprio l'effetto dell'attrito (i freni delle macchine, il paracadute). Inoltre, senza l'attrito non potremmo camminare, almeno nel modo in cui siamo abituati (le suole delle nostre scarpe scivolerebbero sul terreno e noi resteremmo sempre fermi nello stesso punto). La forza d'attrito si oppone al movimento del corpo, quindi ha sempre la stessa direzione del movimento (o del tentativo di movimento) del corpo e verso opposto.

L'attrito si divide in:

- Attrito statico: è quello che bisogna vincere per far muovere l'oggetto quando è ancora fermo (es. quando si vuole mettere in moto un'auto)
- Attrito dinamico: a sua volta può distinguersi in:
 - Attrito radente: si ha quando un corpo si muove, o cerca di muoversi, traslando (strisciando) su una superficie.
 - Attrito volvente: si ha quando un corpo si muove rotolando su una superficie.
 - Attrito viscoso: quando un corpo solido si muove in un fluido (es. nell'aria o in acqua).

L'attrito dipende da:

- La **natura** delle superfici a contatto (cioè i materiali di cui sono costituite e lo stato fisico: lisce, ruvide, asciutte, bagnate).
- La **forza premente** (determina la profondità dei micro-incastri responsabili dell'attrito).

$$F_a = \mu \cdot F_p$$

F_p è la **forza premente** cioè la forza che agisce normale o verticale alla superficie di contatto,

mentre F_a è la **forza d'attrito** cioè la forza che si oppone al movimento del corpo.

Il **coefficiente di attrito radente** μ è un numero puro, il cui valore dipende dalla natura delle superfici a contatto.

Alcuni valori del coefficiente di attrito radente

Superfici	μ_s (statico)	μ_a (dinamico)
Legno - legno	0,50	0,30
Acciaio - acciaio 0,78	0,78	0,42
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	1,05	0,29
Rame - vetro	0,68	0,53
Gomma - asfalto (asciutto)	1,0	0,8
Gomma - asfalto (bagnato)	0,7	0,6

La forza di gravità



Il modulo della forza con cui interagiscono due corpi qualsiasi dotati di massa è direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della reciproca distanza (o, più precisamente, dalla distanza tra i centri di massa dei due corpi). La direzione lungo cui agisce la forza è quella della retta congiungente i centri di massa. La forza gravitazionale è

sempre attrattiva. La *costante di gravitazione universale*, indicata con G , esprime la proporzionalità tra le suddette grandezze ed ha lo stesso valore per qualsiasi coppia di corpi dotati di massa, ovunque si trovino nell'universo.

Avremo quindi:

$$F = G \frac{m \cdot M}{r^2}$$

con $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$

m , M sono le masse dei due corpi che interagiscono e r la loro distanza reciproca.

Forza peso e massa

Spesso usiamo indistintamente le parole **peso** e **massa**, a volte confondendoli tra loro, ma questi termini non sono equivalenti dal punto di vista fisico.

In fisica forza peso e massa sono grandezze sostanzialmente diverse: la massa di un corpo è una sua proprietà *intrinseca*, indipendente dalla sua posizione nello spazio e da ogni altra grandezza fisica, il peso, invece, è l'effetto prodotto su tale massa dalla presenza di un campo gravitazionale.

Di conseguenza la massa di un corpo è costante, mentre il suo peso varia a seconda del luogo in cui viene misurato. Sulla Luna, un uomo pesa meno che sulla Terra: sui due corpi celesti, una bilancia a torsione o a molla restituirà quindi valori diversi, in quanto si basa sulla misurazione della forza peso; una bilancia a contrappeso, invece, restituirà lo stesso valore, in quanto si basa sul confronto di masse (ciò vuol dire che anche su pianeti diversi uno stesso corpo mantiene la sua massa, mentre la forza peso varia in base all'accelerazione di gravità).

La **forza peso** (o più semplicemente **peso**) agente su un corpo è la forza che il campo gravitazionale esercita su una massa, questa forza è diretta verso il centro della Terra.

Come ogni altra forza, nel Sistema Internazionale la forza peso si misura in newton (**N**).

Relazione tra peso e massa

Se consideriamo un corpo di massa m attratto dalla terra di massa $M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, sapendo che il raggio della terra è $r = 6,38 \cdot 10^6 \text{ m}$, sostituendo a G , M , r i valori definiti troveremo la forza con la quale la terra attira il corpo di massa m , cioè il “peso” del corpo

$$F = G \frac{m \cdot M}{r^2}$$

In pratica i tre termini noti moltiplicati tra loro daranno un numero sempre uguale che indichiamo con g (accelerazione di gravità)

$$g = G \cdot M / r^2$$

La forza peso indicata solitamente con la lettera **P**, è direttamente proporzionale alla massa del corpo che la subisce con fattore di proporzionalità g , detto anche accelerazione gravitazionale, che varia da pianeta a pianeta.

Sulla Terra l'accelerazione gravitazionale mediamente vale:

$$g = 9,81 \text{ N/m (Newton su metro)}$$

Per cui si ha: $P = m \cdot g$

Pur essendo una forza, spesso la forza peso viene semplicemente indicata con la lettera **P** e non come vettore \vec{P} .

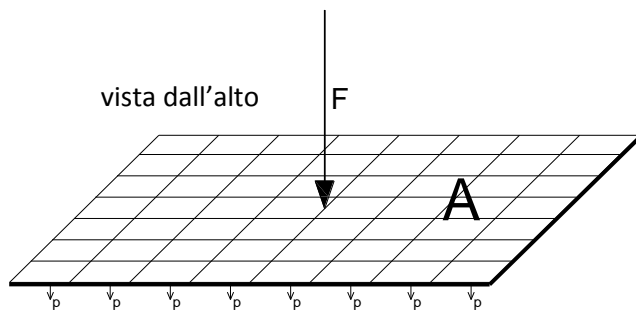
Questo è dovuto al fatto che tale vettore, sul corpo celeste su cui agisce, nel nostro caso la Terra, è comunque diretto sempre in modo radiale (come fosse un raggio) e verso quello entrante. In poche parole direzione e verso in ogni punto intorno alla Terra è sempre lo stesso e non può variare.

La pressione



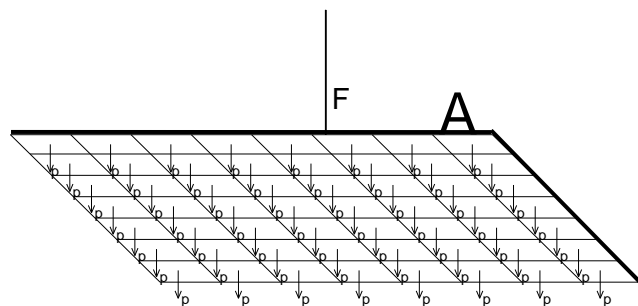
Finora abbiamo sempre applicato le forze ad un unico punto, in generale coincidente con il baricentro, ossia con il punto nel quale possiamo pensare concentrata tutta la massa del corpo. Quando però abbiamo a che fare con corpi estesi omogenei la forza-peso è distribuita in maniera uniforme e l'estensione della **superficie d'appoggio** può giocare un ruolo importante nel definire le condizioni di equilibrio.

Partiamo ad esempio dalla seguente domanda: perché uno sciatore sprofonda nella neve se indossa solamente gli scarponi mentre non sprofonda con le racchette da neve o gli sci? È chiaro che in entrambi i casi la forza-peso dello sciatore è la stessa. La differenza sta nel fatto che, nel caso delle racchette o degli sci, la forza-peso dello sciatore viene distribuita su tutta la superficie d'appoggio delle racchette o degli sci e questa superficie ha un'area molto più grande di quella degli scarponi. La grandezza che quantifica quanto una forza è distribuita su una superficie è detta **pressione**. La pressione p è una grandezza scalare e si definisce come il rapporto tra l'intensità della forza F che preme su una superficie e l'area A della superficie premuta.



La forza F si scarica su una superficie di $A \text{ m}^2$, cioè una superficie costituita da A quadrati di $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ ciascuno

La forza F sarà ripartita sulla superficie A dando origine a tante piccole "forzette", una per ogni m^2 , che chiameremo pressione p



vista dal basso

Quindi la pressione non è altro che la forza per ogni unità di superficie, cioè:

$$p = F/A$$

Al contrario la forza F sarà data dalla somma di tutte le p , cioè:

$$F = \underbrace{p+p+p+p+\dots+p}_{A \text{ volte}} = p \cdot A$$

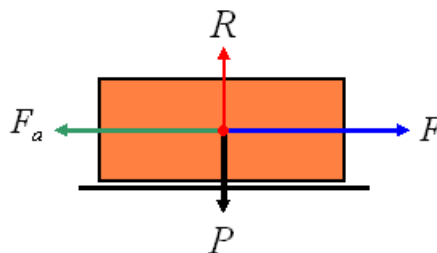
Nel Sistema Internazionale la forza si misura in newton, l'area in metri quadri. Pertanto, l'unità di misura della pressione è il newton su metro quadro, N / m^2 . Questa unità di misura prende anche il nome di **pascal** (simbolo **Pa**). Dimensionalmente abbiamo pertanto che:

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

Equilibrio di un corpo sul piano orizzontale

Un corpo è in equilibrio quando è in quiete e vi rimane nel tempo. Determinare le condizioni di equilibrio di un corpo è problema importante, che può diventare complesso: un ponte deve essere in equilibrio anche se è attraversato da migliaia di vetture, un grattacielo deve resistere alle scosse sismiche.

Per un punto materiale l'unica condizione che deve essere soddisfatta affinché esso resti fermo è che la somma, o risultante, delle forze sia nulla.



Nel caso rappresentato in figura, il corpo è soggetto ad una forza esterna F , alla forza peso P e alla forza di attrito statico F_a , oltre che alla reazione vincolare R .

Per ottenere l'equilibrio (cioè il corpo rimane fermo) devono verificarsi le seguenti condizioni:

$$F_a = F \quad \text{e} \quad P = R$$

ma ricordando che $F_a = \mu \cdot F_p$ (*forze di attrito*) ed essendo F_p in questo caso coincidente con la forza peso P , si ottiene:

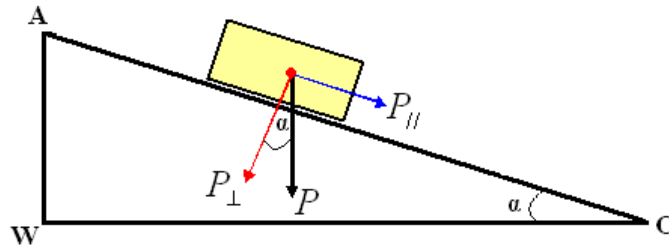
$$F_a = \mu \cdot mg$$

Piano inclinato

Quello del piano inclinato è uno dei classici problemi della fisica in cui, in presenza di attrito, è possibile studiarne l'equilibrio.

Il piano inclinato è un piano che forma un angolo α con l'orizzontale.

Anche in assenza di altre forze, il corpo è soggetto almeno alla forza peso \mathbf{P} che però, per via dell'inclinazione dell'angolo, viene scomposta in due componenti: P_{\perp} e P_{\parallel}



P_{\perp} tende a comprimere il corpo sul piano inclinato, permettendogli di rimanervi appoggiato, P_{\parallel} tende a far scendere il corpo verso il basso.

Osservando attentamente la figura, possiamo notare che l'angolo formato tra il piano inclinato e l'orizzontale coincide con l'angolo formato tra la forza peso \mathbf{P} e la sua componente perpendicolare, per costruzione (in quanto angoli compresi tra rette perpendicolari tra loro).

Utilizzando le formule trigonometriche otteniamo:

$$P_{\perp} = P \cdot \cos\alpha \quad \text{e} \quad P_{\parallel} = P \cdot \sin\alpha$$

ricordando la relazione tra peso e massa:

$$P_{\perp} = mg \cdot \cos\alpha \quad \text{e} \quad P_{\parallel} = mg \cdot \sin\alpha$$

L'attrito statico F_a , invece, tende ad opporsi al moto, cercando di mantenere fermo il corpo stesso (**equilibrio**) almeno fino a quando è soddisfatta la relazione:

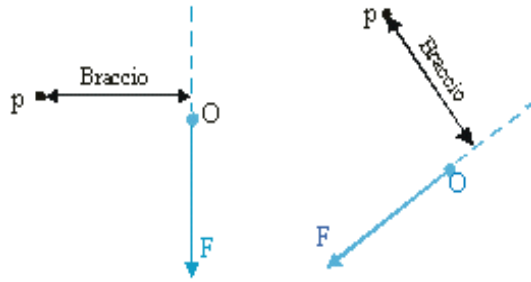
$$F_a \geq P_{\parallel}$$

Per completare la quantificazione delle diverse forze in gioco, è utile richiamare la formula (2) di questo capitolo che ci consente di calcolare la forza di attrito statico, ove, essendo pF , la forza premente, coincidente con P_{\perp} , otteniamo:

$$F_a = \mu \cdot P_{\perp} = \mu mg \cdot \cos\alpha$$

Momento di una forza rispetto a un punto

Per introdurre il concetto di momento M di una forza rispetto ad un punto P , bisogna introdurre il concetto di braccio (b) della forza, inteso come la distanza della forza da un punto P :



Il momento è quindi il prodotto dell'intensità della forza per il braccio:

$$M = F \cdot b$$

Dove per braccio si intende la minima distanza di P dalla retta che contiene la forza F (b perpendicolare a F).

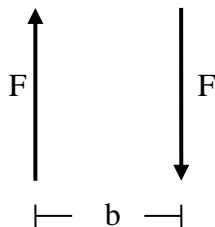
Forza e braccio sono inversamente proporzionali, perciò più lungo è il braccio meno intensa sarà la forza da applicare per avere lo stesso momento.

L'unità di misura del momento è il Newton per metro ($N \cdot m$), essendo il prodotto di una forza per una distanza.

L'effetto del momento è di produrre una rotazione attorno al punto di riferimento. Per convenzione, il momento si definisce positivo se la rotazione si compie in senso orario; negativo se la rotazione si compie in senso antiorario.

Coppia di forze

Un sistema di forze formato da due forze di uguale intensità ma di verso contrario, costituisce una coppia di forze. Il braccio di una coppia di forze corrisponde alla distanza fra le linee di azione delle forze.



Il momento della coppia sarà: $M = F \cdot b$

Equilibrio del corpo rigido

un corpo rigido può essere soggetto a due tipi di moti: traslatorio e rotatorio.

Per ottenere l'equilibrio nel caso di moto traslatorio è necessario contrastare la forza **F** con un'altra posta sulla stessa retta di F, di uguale intensità e di verso opposto (-F).

Per ottenere l'equilibrio nel caso di rotazione, supposto che il corpo sia vincolato nel suo centro, bisognerà applicare dal lato opposto una forza di pari modulo, direzione e verso in modo che sia nullo il momento risultante:

$$\sum M_i = 0$$

dove il simbolo \sum indica la *sommatoria* (o somma), mentre gli M_i sono i singoli momenti delle forze agenti sul corpo rigido.

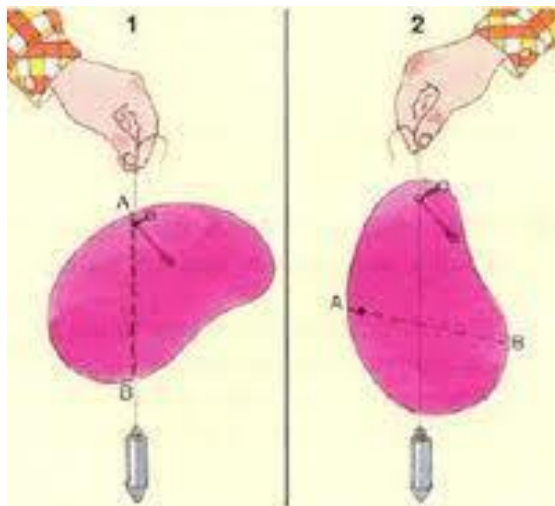
Il baricentro

Un corpo può essere visto come costituito da porzioni infinitesime ciascuna delle quali è soggetta alla forza peso. Il peso complessivo può proprio considerarsi applicato nel baricentro del corpo, come se ivi si fosse concentrata tutta la sua massa.

Dunque il **baricentro**, o *centro di gravità*, del corpo è il punto di applicazione della forza peso.

Nel caso particolare in cui il corpo possieda una simmetria, il centro di gravità coincide proprio con il centro di simmetria.

Se si sospende un corpo rigido ad un suo punto qualsiasi **A**, il baricentro si colloca proprio lungo la verticale per **A**. Se così non fosse, il corpo sarebbe soggetto a due forze (peso e reazione vincolare) opposte ma non aventi la stessa retta d'azione e la coppia che ne deriverebbe procurerebbe rotazione.



Le macchine semplici

una macchina è un dispositivo che consente di equilibrare una forza (**resistente**) per mezzo di un'altra forza (**motrice**).

Una **macchina semplice** è chiamata così perché non si può scomporre in macchine ancora più elementari.

Dal punto di vista storico, rappresentano le tecnologie più antiche per applicare una forza maggiore della sola forza muscolare, attraverso il principio del guadagno meccanico.

Le leve

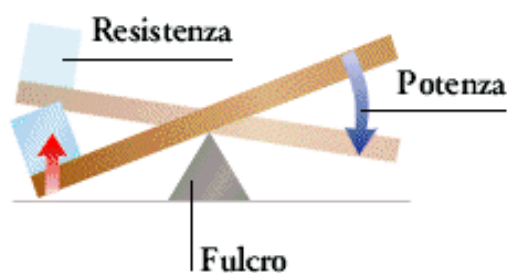
Le leve sono macchine semplici che consentono di svolgere lavoro con minore energia.

Composte da una sbarra appoggiata su un **fulcro**, si distinguono in tre classi, a seconda della posizione di resistenza, potenza e fulcro.

Il piede di porco che si usa per sollevare oggetti pesanti è una leva semplice, ma le leve sono impiegate anche in macchine complesse. La potenza è amplificata se il suo punto di applicazione è più lontano dal fulcro del punto di applicazione della resistenza.

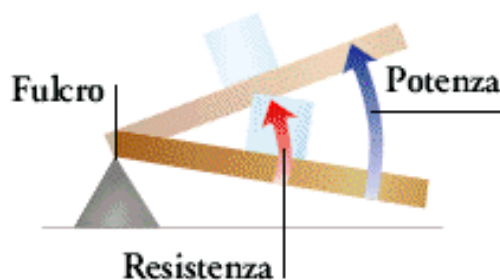
Le leve sono classificate in base alla posizione relativa di **resistenza**, **potenza** e **fulcro**.

Nelle leve di **primo genere** (le pinze, le forbici, l'altalena) il fulcro sta tra resistenza e potenza e può essere vantaggiosa, svantaggiosa o indifferente in base alla posizione del fulcro.



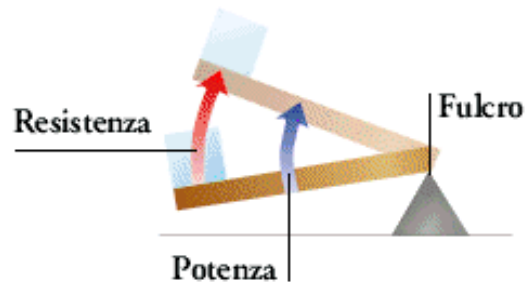
Leva di primo genere

Nelle leve di **secondo genere** (lo schiaccianoci, la carriola) la resistenza sta tra potenza e fulcro. È una leva sempre vantaggiosa.



Leva di secondo genere

In quelle di **terzo genere** (la pinza per l'insalata, la pinza per le sopracciglia) la potenza viene applicata tra fulcro resistenza. E' una leva che non amplifica la potenza, ma il movimento.
 È una leva sempre svantaggiosa.



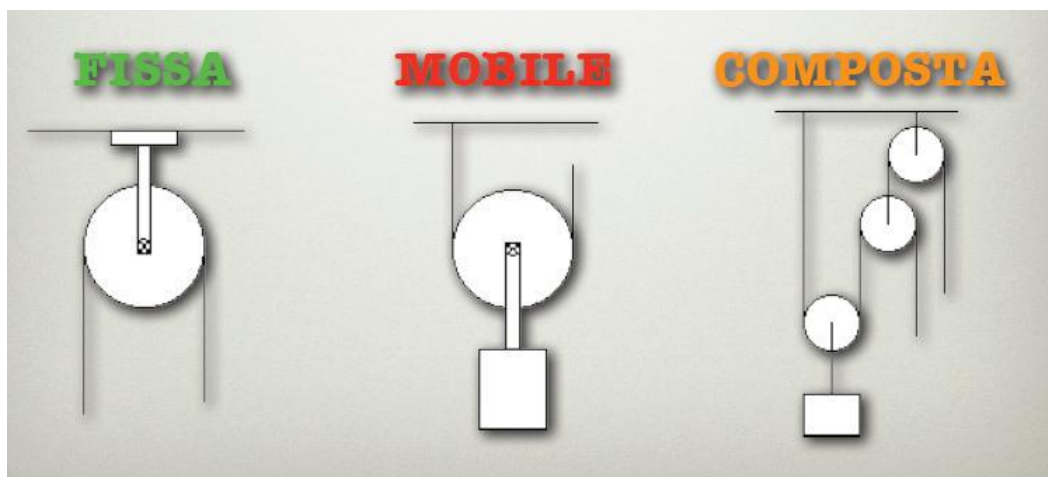
Leva di terzo genere

Quindi possiamo concludere che:

- A) se $b_p > b_r$ la leva è vantaggiosa;
- B) se $b_p < b_r$ la leva è svantaggiosa;
- C) se $b_p = b_r$ la leva è indifferente

La carrucola

In meccanica una **carrucola** o **puleggia** è una macchina semplice per sollevare pesi. E' una ruota girevole attorno ad un perno (asse) fissato ad una staffa e munita di una *scandalatura* entro cui scorre un organo flessibile di trasmissione, come una fune, una cinghia, ecc. Scopo della carrucola (fissa) è modificare la linea di azione di una forza. Possiamo distinguere tre tipologie di carrucole: fissa, mobile e composta.



Permette di esercitare lo sforzo muscolare per sollevare un peso nel verso in cui ci riesce più facile, (cioè dall'alto verso il basso, aiutati dalla gravità) e soprattutto ci consente di direzionare la linea di azione della forza nel modo a noi più comodo.

L'azione della carrucola **fissa** può essere rappresentata come una leva di 1° genere, in cui il perno centrale della carrucola raffigura il fulcro **f** e le estremità laterali sono rispettivamente la forza resistente F_r e la forza motrice F_m .

E' **mobile** quando il peso e' attaccato alla staffa, che quindi sale e scende con esso; In questo caso esiste un vantaggio meccanico pari al 50%, possiamo cioè sollevare un peso di 100 kg con una forza di soli 50 kg.

E' **composta** se costituita da carrucole fisse e mobili. E' il sistema senza dubbio più vantaggioso dal punto di vista dell'utilizzo della forza, ma è svantaggioso in termini di velocità del movimento.