

**Forze, momenti
e vettori**

FORZE E MOMENTI

Definizione di forza: il concetto di forza è intuitivo, come quella azione che si esercita su un corpo perché questo abbia uno spostamento.

Al concetto di forza resta quindi legata, una azione di una certa entità, la direzione in cui si indirizza il moto e una certa velocità che il corpo su cui si è esercitata la forza comincia ad assumere.

Questa intuizione è stata tradotta in termini matematici nel secondo principio della dinamica che afferma:

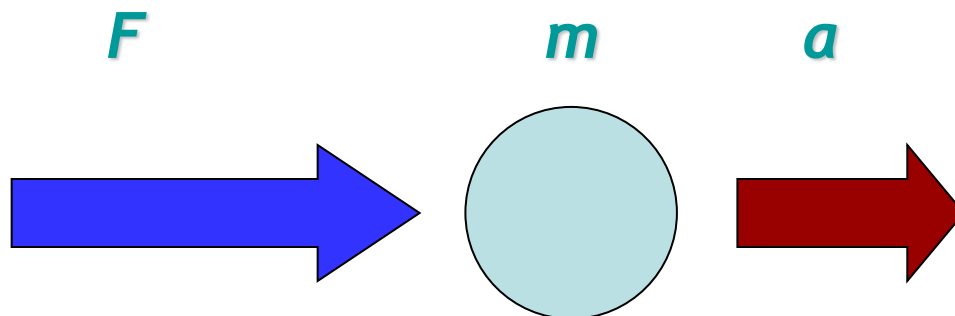
“un corpo soggetto a forze di risultante F si muove con una accelerazione proporzionale ad F nella direzione della forza stessa”.

FORZE E MOMENTI

Da questa definizione si ricavano alcune informazioni:

- la **forza è un vettore**, cioè è un'entità dotata di un modulo, l'intensità, una direzione ed un verso;
- c'è **proporzionalità** fra la forza applicata e l'accelerazione del corpo.

Il coefficiente di proporzionalità si identifica con la **massa** del corpo, o **inerzia**, che si può volgarmente definire come la resistenza che il corpo oppone al moto provocato dall'applicazione della forza.



FORZE E MOMENTI

Newton nella 2^a legge definisce la **forza** come il prodotto della massa “**m**” per l’accelerazione “**a**” subita dalla massa stessa, cioè:

$$F = m * a$$

L’unità di misura delle forze è il **Newton** (N) nel sistema SI (Sistema Internazionale).

Altre unità ancora molto usate sono:

- il **kilogrammo** forza (Kgf) $1 \text{ Kg}_f = 9,81 \text{ N}$;
- la **libbra** (lb) $1 \text{ lb} = 0,453 \text{ Kg}_f$

TERZO PRINCIPIO DELLA DINAMICA

ENUNCIATO: Ad ogni azione corrisponde una reazione uguale e contraria

Esempio: il cannone esercita un'azione sul proiettile sparandolo fuori dalla canna. Il proiettile esercita una reazione sul cannone facendolo balzare all'indietro.

E' l'effetto *rinculo*.

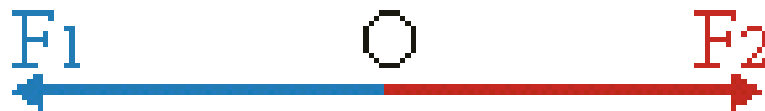
SISTEMI DI FORZE

Equilibrio delle forze

Due o più forze applicate ad un corpo, costituiscono un *sistema di forze*.

Le singole forze sono definite componenti; la forza risultante del sistema di forze, è la forza unica che produce lo stesso effetto delle forze componenti.

Se un corpo soggetto ad un sistema di forze non cambia il suo stato di *quiete*, si dice che il sistema di forze è *in equilibrio*.



SISTEMI DI FORZE

Equilibrio delle forze

Il sistema di forze è pure in equilibrio, se le forze applicate ad un corpo in movimento non ne varia la velocità.

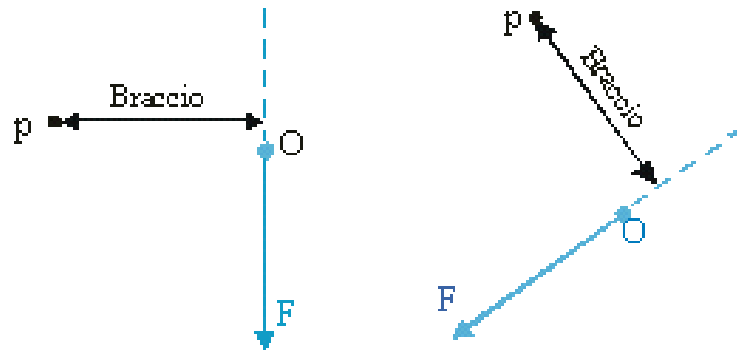
La forza equilibrante del sistema di forze è la forza uguale e contraria alla forza risultante.

Perciò, in un sistema di forze in equilibrio la risultante è nulla.

MOMENTO DI UNA FORZA

Momento di una forza rispetto ad un punto

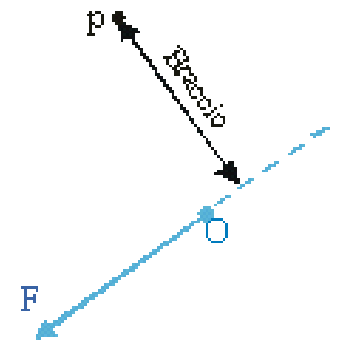
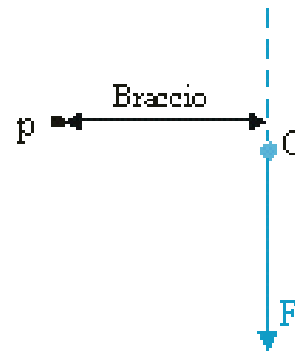
Data una forza $\vec{F}$ e un punto P si definisce il **braccio** (b) della forza rispetto ad un punto P tracciando la perpendicolare dal punto P alla linea d'azione della forza:



MOMENTO DI UNA FORZA

Momento di una forza rispetto ad un punto

Il **momento** M è il prodotto dell'intensità della forza per la sua distanza dal punto:



$$M = F \times b \Rightarrow F = \frac{M}{b} \Rightarrow b = \frac{M}{F}$$

MOMENTO DI UNA FORZA

Momento di una forza rispetto ad un punto

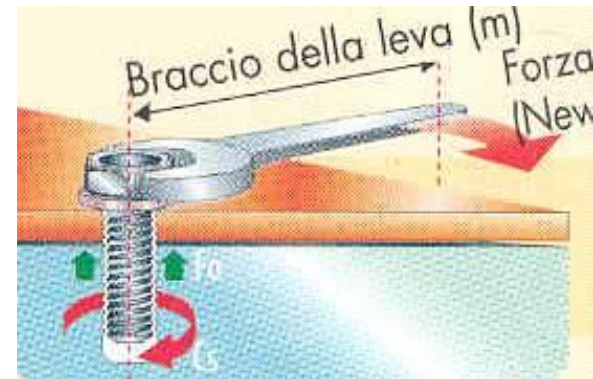
$$M = F \times b \Rightarrow F = \frac{M}{b} \Rightarrow b = \frac{M}{F}$$

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** (Nm), essendo il prodotto di una forza per una distanza.

FORZE E MOMENTI

Un esempio di **momento torcente** considerando è dato dalla chiave inglese che agisce stringendo un bullone. Se la chiave è lunga 1 m e si applica una forza di 1 N, il momento torcente risultante sul bullone sarà di 1 Nm.



Lo stesso risultato può essere ottenuto anche con una chiave lunga mezzo metro applicando una forza di 2 N, o con una chiave lunga 2 m ed una forza di 0,5 N.

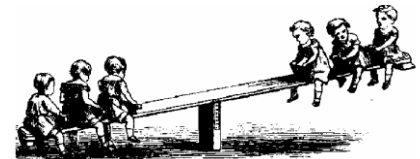
LEVA

La leva è una *macchina semplice* costituita da una asta rigida incernierata ad un fulcro. La parte dell'asta che unisce il fulcro ad ognuna delle due forze si chiama *braccio* (la leva ha quindi due bracci). Con la leva è possibile applicare una forza di modulo F_A ed equilibrare un carico $F_C \neq F_A$. Il Guadagno Meccanico G è il rapporto tra carico e forza applicata: $G = F_C / F_A$.

Ad esempio, un guadagno $G > 1$ indica che la leva permette di equilibrare un dato carico applicando una forza di intensità inferiore.

Per studiare una leva, è necessario:

- 1) isolare la sbarra dagli altri corpi;
- 2) evidenziare le forze applicate (queste sono la forza applicata F_A e il carico F_C , oltre alla reazione vincolare del fulcro R);



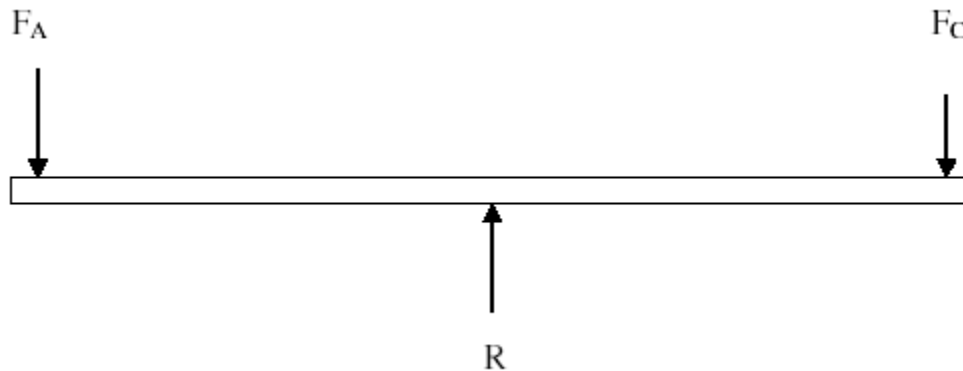
LEVA

3) **calcolare il momento risultante rispetto al fulcro** (notare che per questo calcolo non è necessario conoscere il valore di R , dato che il momento di R rispetto al fulcro è sempre 0!)

Imponendo che la somma di tutti i momenti rispetto al fulcro sia $=0$, troviamo la condizione di equilibrio, quando cioè la forza applicata equilibra il carico.

Da questa condizione, si ricava il guadagno G .

Le leve si differenziano in tre tipi a seconda della posizione del fulcro e delle forze F_A e F_C .



LEVA

Leva di Primo Tipo

Se la leva è in equilibrio, la somma dei momenti rispetto al fulcro è nulla:

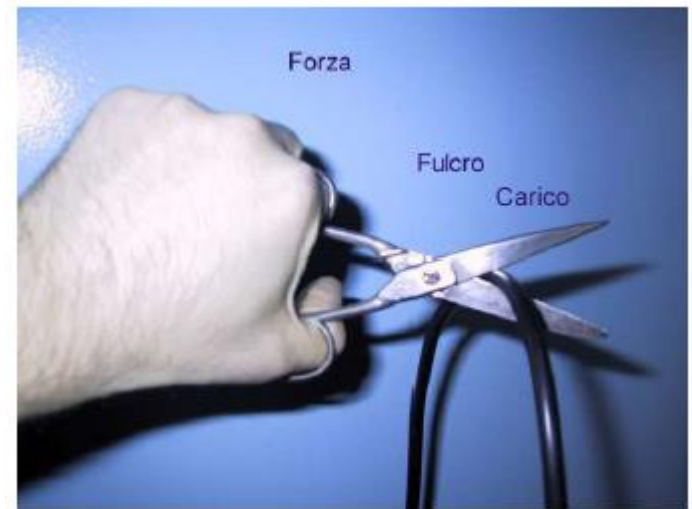
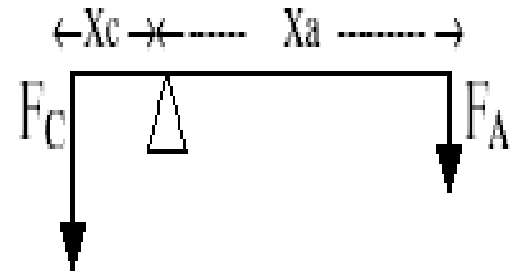
$$MR = FCXC - FAXA = 0$$

$$FC/FA = XA/XC$$

Quindi

$$G = XA/XC$$

Il guadagno sarà $> 0 < 1$ a seconda della lunghezza dei bracci XA e XC .



LEVA

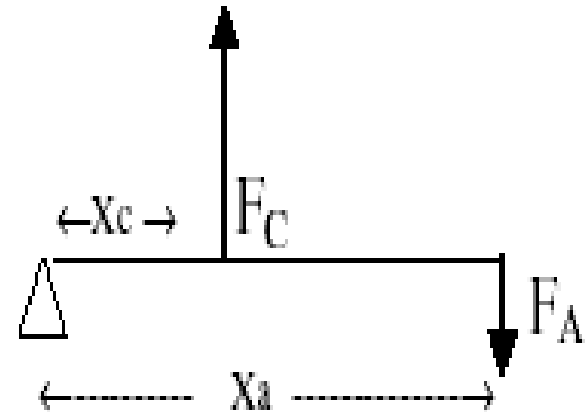
Leva di Secondo Tipo

Uguagliando a 0 la somma dei momenti

rispetto al fulcro otteniamo ancora che:

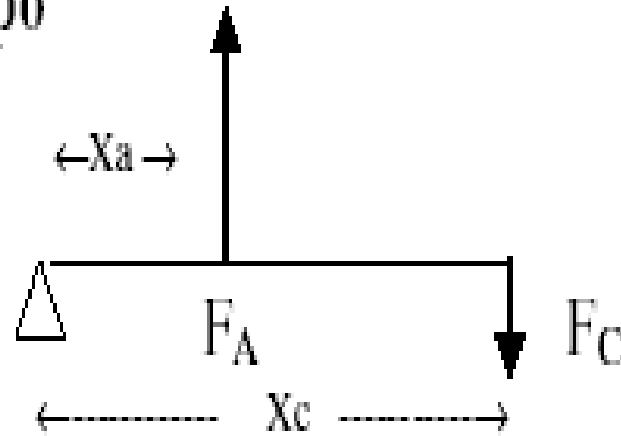
$$G = X_A / X_C$$

In questo caso G è sempre > 1



LEVA

Leva di Terzo Tipo



$$G = X_A / X_C$$

In questo caso **G** è sempre **<1**. Questo tipo di leva è utile per regolare con precisione la forza applicata.

ELEMENTI DI CALCOLO VETTORIALE

Grandezze vettoriali e grandezze scalari

Le grandezze fisiche si distinguono essenzialmente in due grandi classi:

GRANDEZZE SCALARI - che risultano completamente definite quando se ne conosce la sola misura (Es. la lunghezza, l'area, il volume, il tempo, la temperatura, la pressione, il calore specifico, l'energia)

GRANDEZZE VETTORIALI - esempi tipici delle grandezze vettoriali sono invece lo spostamento, la velocità, l'accelerazione, la forza, l'impulso,

Baricentro

BARICENTRO

DEFINIZIONE

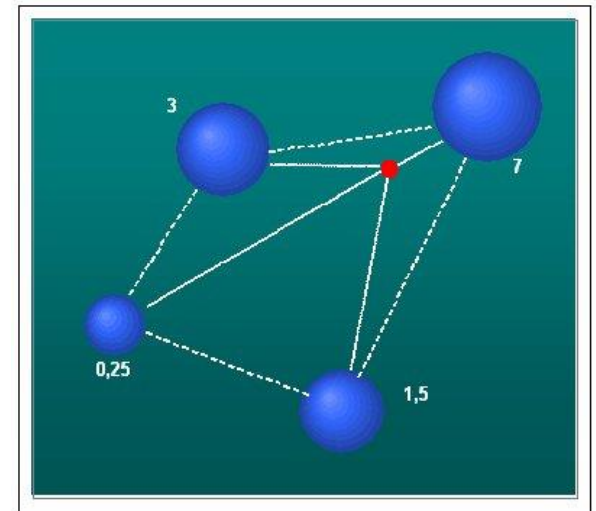
Il baricentro di un sistema di forze è il punto rispetto al quale è nulla la somma dei momenti delle singole forze.

Se il sistema è rappresentato dalla forza peso di una massa, la definizione diventa: il baricentro è il punto rispetto al quale è nulla la somma dei momenti dei pesi delle singole porzioni che costituiscono la massa in esame.

BARICENTRO

DEFINIZIONE

È detto *baricentro* il punto di applicazione della risultante (detta peso o forza peso) di tutte le forze dovute all'azione di gravità su un sistema discreto o continuo di punti materiali.

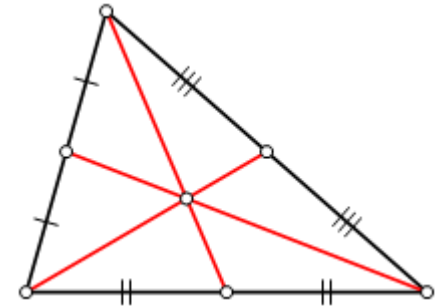


In fisica il baricentro può coincidere con il *centro di massa* di un corpo, e anche con il suo *centro di gravità*, il che porta spesso a ritenere questi tre termini intercambiabili.

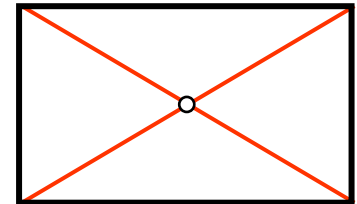
Perché il baricentro coincida con il centro di massa di un corpo, questo deve avere *densità uniforme*.

BARICENTRO

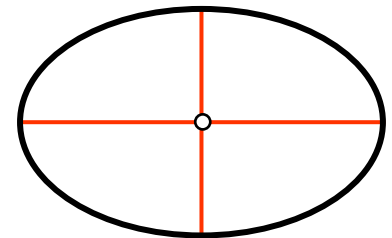
Il baricentro di un *triangolo* è il punto di intersezione delle sue *mediane*, cioè dei segmenti che uniscono ciascun vertice con il punto medio del lato opposto.



Il baricentro di un *quadrilatero* è il punto di intersezione delle sue *diagonali*.

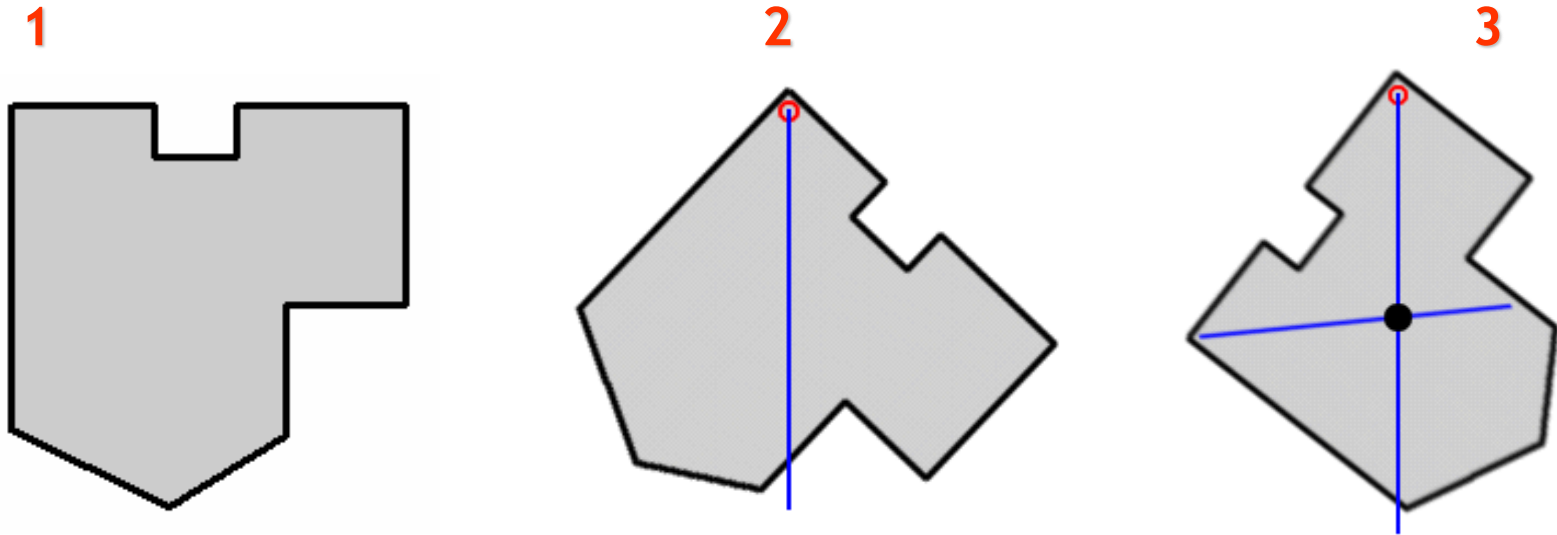


Il baricentro di un'*ellisse* è il punto di intersezione dei suoi *assi*.



BARICENTRO

Per individuare in pratica il baricentro di un oggetto 2D qualsiasi si può agire come segue:



1. prendere l'oggetto qualsiasi; **2.** appenderlo per un'estremità da cui si sospende un filo a piombo in corrispondenza a cui si traccia una linea; **3.** appendere l'oggetto per un'altra estremità e rieseguire l'operazione 2, *l'intersezione delle due linee è il baricentro.*

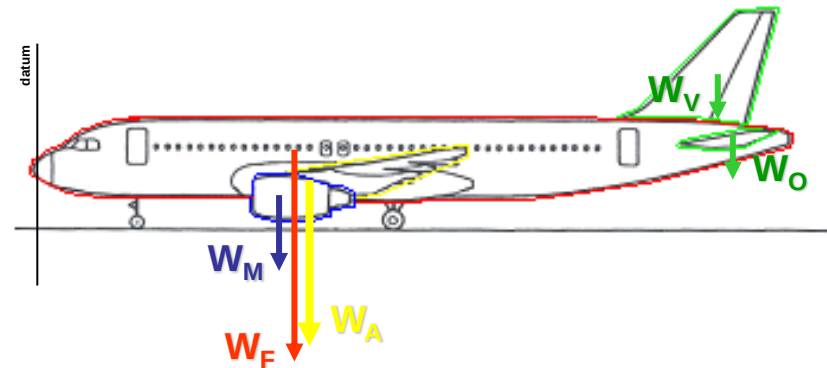
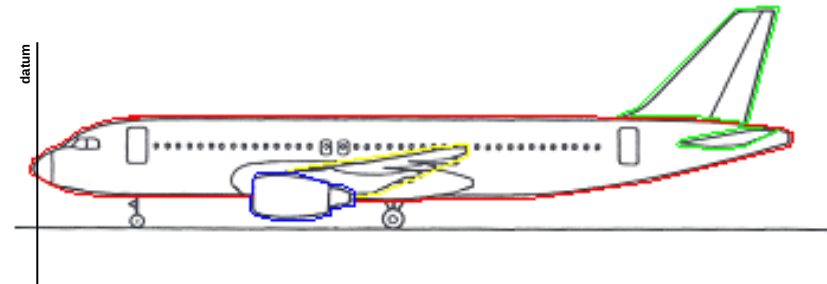
Esempio di calcolo

Si supponga il velivolo a lato, ridotto nei suoi componenti:

- *ala + piloni motori*
- *fusoliera allestita*
- *piano di coda verticale*
- *piano di coda orizzontale*
- *motori*

I singoli pesi, posti nei rispettivi baricentri dei componenti, distano dal piano di riferimento (datum) come in tabella:

Componente	Peso (Ton.)	Distanza (m.)
Ala + piloni motori	14,76	14,20
Fusoliera allestita	18,08	13,10
Piano Verticale	2,58	22,90
Piano Orizzontale	1,48	34,70
Motori	5,50	12,60

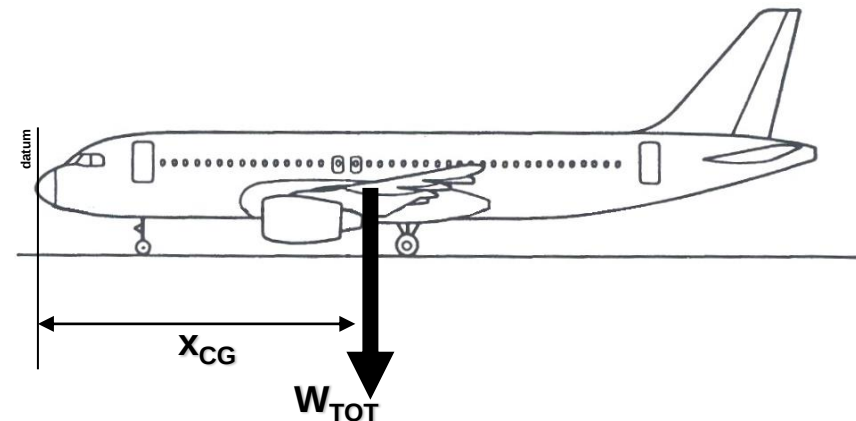
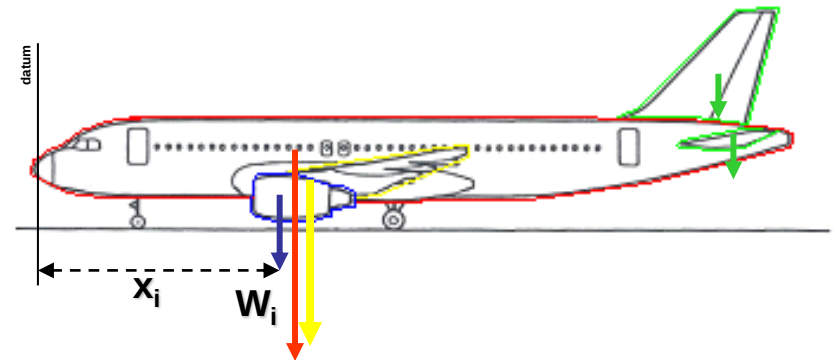


Esempio di calcolo

Utilizzando la formula:

$$W_{TOT} * X_{CG} = \sum w_i * x_{cgi}$$

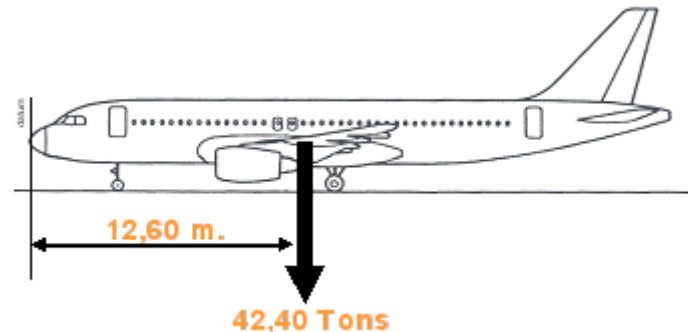
è possibile ricavare la posizione del baricentro del velivolo completo in cui supporre concentrato il peso totale dello stesso.



Esempio di calcolo

Che in forma tabellare diventa:

Componente	Peso (Ton.)	Distanza (m.)	Momento (Ton. * m.)
Ala + piloni motori	14,76	14,20	209,59
Fusoliera allestita	18,08	13,10	236,86
Piano Verticale	2,58	22,90	87,56
Piano Orizzontale	1,48	34,70	51,22
Motori	5,50	12,60	69,30
Peso e Momento Totale	42,40		654,53
Posizione baricentro $X_{CG} = M_{TOT} / W_{TOT}$		12,60	



**Elementi di teoria degli sforzi,
fatica ed elasticità:
tensione, compressione,
forza di taglio e torsione**

RESISTENZA DEI MATERIALI

Il comportamento dei materiali solidi sottoposti all'azione di una forza dipende:

- dalle *proprietà meccaniche* del materiale, e
- dall'*intensità, direzione e orientamento della forza* applicata.

Se l'azione della forza è tale che la *deformazione* (strain) del solido è momentanea e non compromette le sue caratteristiche originarie alla cessazione dell'azione della forza stessa, la deformazione è detta *elastica*.

In caso contrario, la deformazione è detta *plastica*.

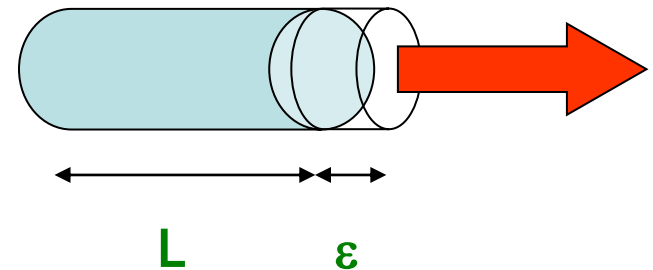
RESISTENZA DEI MATERIALI

Sforzo di trazione - Lo stato di **sforzo tensionale** è quello stato che sottopone il materiale ad una deformazione nel senso dell'allungamento nella direzione e nel verso della forza applicata.

Data una forza F di trazione applicata ad una sezione di area A lo **sforzo di trazione** vale:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Tutte le strutture che sopportano carichi di sforzo tensionale sono dette **tiranti** (ties).



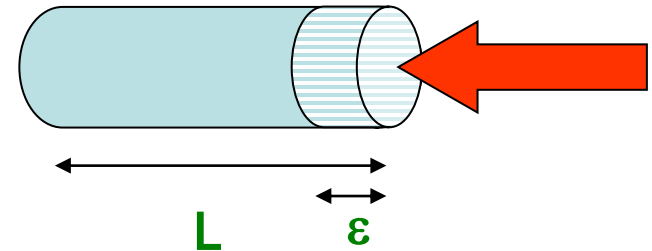
RESISTENZA DEI MATERIALI

Sforzo di compressione - Lo stato di sforzo di compressione è quello stato che sottopone il materiale a compressione nel senso della direzione della forza applicata.

In una generica sezione di una trave soggetta a compressione la tensione unitaria si calcola con la relazione:

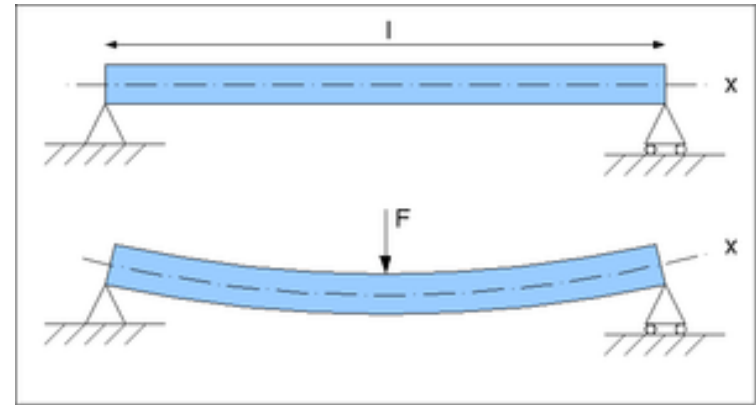
$$\sigma = \frac{N}{A}$$

Tutte le strutture che sopportano carichi di sforzo di compressione sono dette **puntoni** (struts).



RESISTENZA DEI MATERIALI

Un corpo è soggetto a **flessione** quando, per effetto dei vincoli cui è sottoposto, reagisce, opponendosi, ad un sistema di forze ad esso applicate che tenderebbero a farlo ruotare attorno ad un proprio punto.



In pratica una trave è sollecitata a flessione quando è sottoposta ad un sistema di carico con una componente perpendicolare all'asse longitudinale, generando un momento flettente che provoca l'incurvatura della trave stessa.

Nella trave sottoposta a flessione nascono delle tensioni unitarie di trazione e compressione, idealmente separate dal uno strato di fibre detto **asse neutro** che non subisce alcun allungamento o accorciamento.

RESISTENZA DEI MATERIALI

Legge di Hooke - La legge prende il nome dal proprio ideatore e si esprime con la seguente funzione:

$$F = - Kx$$

dove:

F forza [N] Newton

K costante [N/m] (rigidezza della molla)

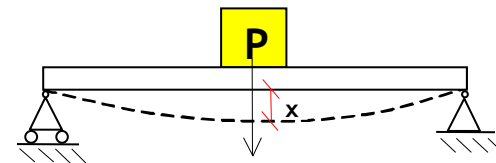
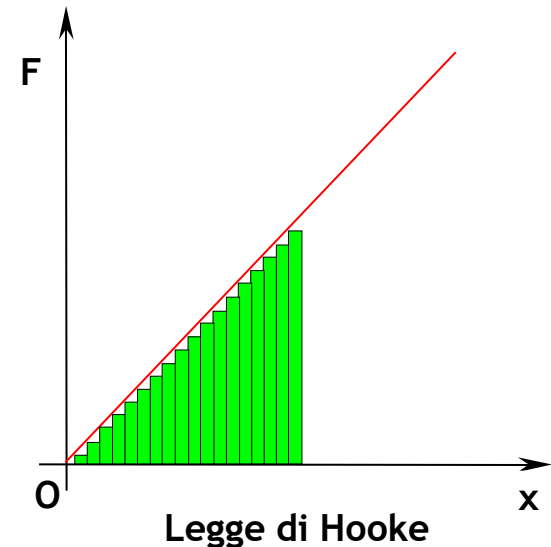
x spostamento [m] metri

Valori di **K** tipici sono:

Alluminio = 70 GN/m²

Acciaio dolce = 200 GN/m²

Vetro = 75 GN/m²

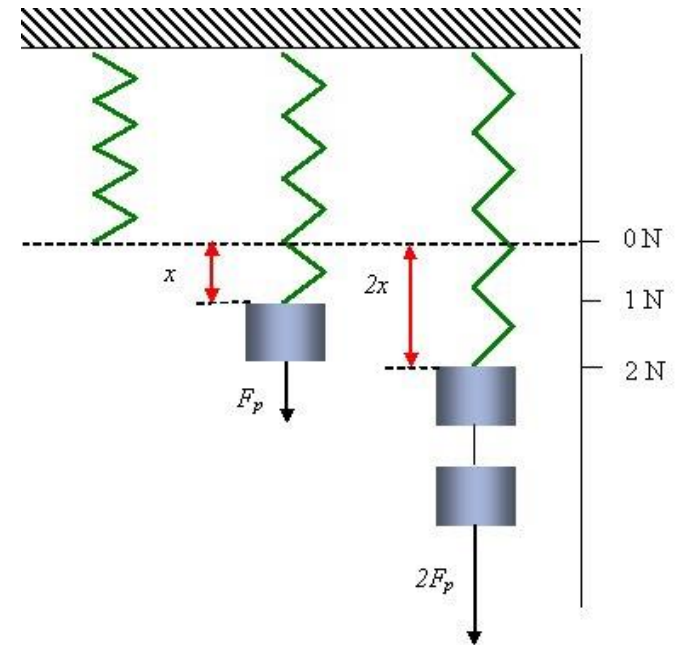


RESISTENZA DEI MATERIALI

Il **dinamometro** è uno strumento per la misurazione delle forze che sfrutta la legge di Hooke. La sua struttura è molto semplice poiché è costituito da una molla con una scala graduata in newton.

La sensibilità del dinamometro dipende dalla costante elastica k della molla:

- con piccoli valori di k si ha un dinamometro più sensibile;
- per grandi valori di k il dinamometro è invece meno sensibile.

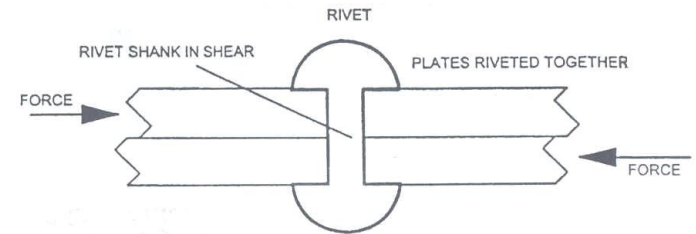


RESISTENZA DEI MATERIALI

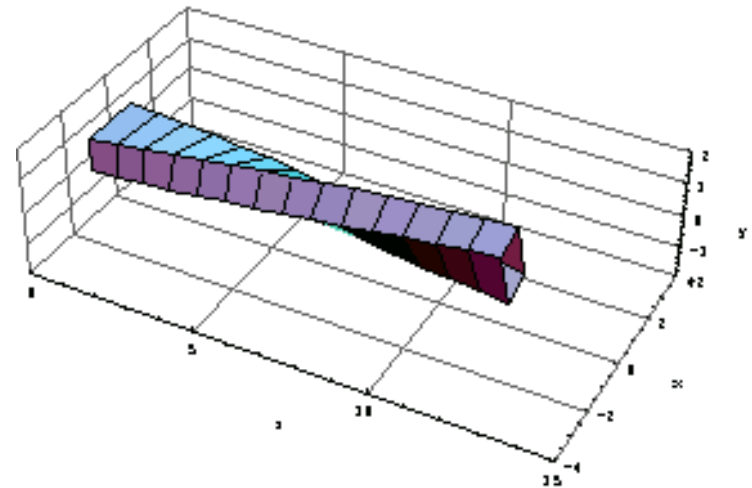
Sforzo di taglio (shear stress) - Lo stato di sforzo di taglio è caratterizzato da quello stato che sottopone gli strati del materiale ad uno scivolamento relativo.

Es. un rivetto che giunta due lamiere sottoposte a forze di uguale direzione ma di verso opposto.

Sforzo di torsione (torsional stress) - Sollecitazione cui è sottoposta una sezione in presenza di una coppia di forze agenti sul piano normale all'asse.



SHEAR STRESS IN A RIVET



**Natura e proprietà di solidi, liquidi e gas:
pressione e spinta idrostatica nei liquidi**

cinematica

CINEMATICA

Cinetica

La *cinetica* si occupa dello studio del moto dei corpi senza considerare le cause, forze e momenti, che lo provocano.

Le grandezze necessarie a descrivere il moto di un corpo sono:

- *traiettoria*
- *spazio*
- *velocità*
- *accelerazione*

La velocità del movimento del corpo si misura in m/sec.

MOTO RETTILINEO UNIFORME

Cinetica

Si dice *uniforme* il moto la cui velocità istantanea è costante. Si consideri un corpo che si sposta lungo una traiettoria rettilinea e si supponga costante la sua velocità:

$$V = s / t = \text{cost}$$

da cui si ricava:

$$s = v \cdot t$$

equazione del moto rettilineo uniforme, lo spazio percorso dal corpo è proporzionale al tempo impiegato.

Se all'istante iniziale del moto il corpo non si trova nell'origine :

$$s = s_0 + v \cdot t$$

dove s_0 è la distanza della posizione iniziale dall'origine.

MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE VARIO

Cinetica

Il moto si dice *uniformemente vario* quando l'accelerazione è costante nel tempo:

$$a = v / t = \text{cost}$$

$$v = a \cdot t$$

la velocità varia proporzionalmente con il tempo.

Se nell'istante iniziale del moto la velocità è $v_i \neq 0$:

$$v = v_i + a \cdot t$$

Se l'accelerazione $a > 0$, la velocità aumenta ed il moto rettilineo si dice *uniformemente accelerato*; se $a < 0$, la velocità diminuisce e il moto si dice *uniformemente decelerato*.

Moto circolare

MOTO CIRCOLARE UNIFORME

Moto circolare

Un *moto rotatorio* la cui velocità è costante viene detto *uniforme*:

$$\omega = \theta / t$$

da cui si ricava:

$$\theta = \omega \cdot t$$

la velocità e lo spostamento sono espressi in termini angolari, gli angoli percorsi dal raggio sono proporzionali al tempo impiegato a percorrerli. Nel caso in cui all'istante iniziale il raggio non si trovi nella posizione di riferimento, la relazione diventa:

$$\theta_a = \theta_0 + \omega \cdot t$$

dove θ_0 è l'angolo iniziale del moto.

MOTO CIRCOLARE UNIFORMEMENTE VARIO

Moto circolare

Se il moto è dotato di accelerazione angolare costante è detto *uniformemente vario*:

$$\alpha = \omega / t$$

$$\omega = \alpha \cdot t$$

la velocità angolare varia proporzionalmente al tempo. Se all'istante iniziale non si trova nell'origine:

$$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

dove ω_0 rappresenta la velocità angolare iniziale. Se $\alpha > 0$ il moto rotatorio è *uniformemente accelerato*; se $\alpha < 0$ il moto si dice uniformemente *decelerato*. Lo spazio percorso dal corpo è dato da:

$$\theta = \omega_0 \cdot t + 1/2 \alpha \cdot t^2$$

FORZE CENTRIFUGA E CENTRIPETA

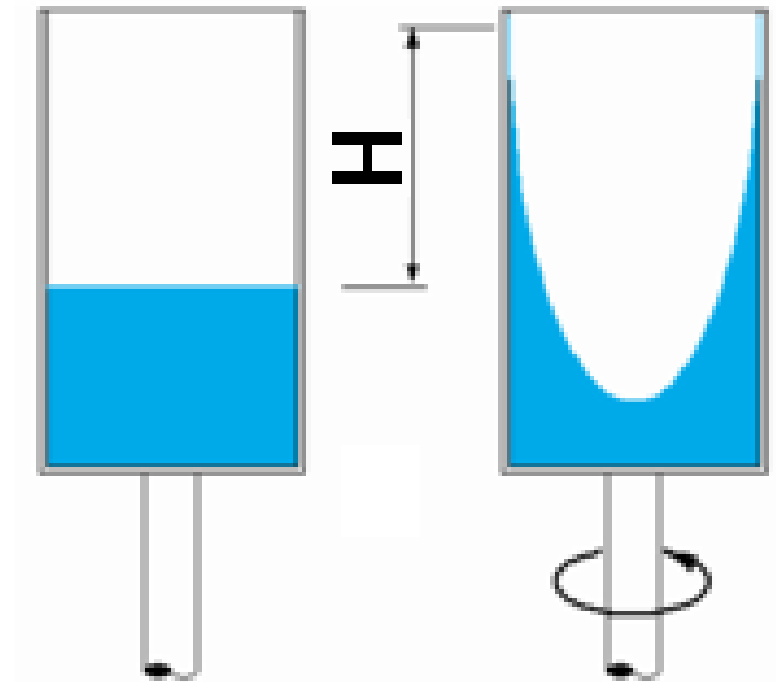
Moto circolare

La **forza centrifuga** è una delle forze agiscono su di un corpo quando esso si muove di moto curvilineo.

Posto che un moto curvilineo ha come causa una forza centripeta, la forza centrifuga ha ugual modulo di questa ma verso opposto:

$$F_{cf} = -m\omega^2 r$$

essendo ω la **velocità angolare**.



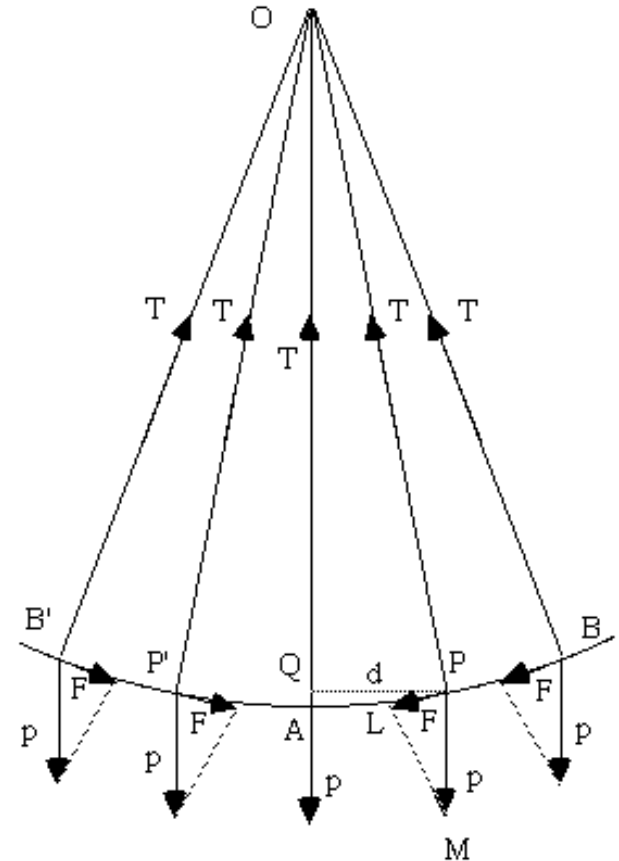
Moto periodico

MOTO PERIODICO: PENDOLO

Moto periodico

Il moto di un corpo si dice *periodico* quando ad intervalli di tempo regolari particella torna a passare nella stessa posizione con la stessa velocità.

Un esempio di moto armonico è quello del pendolo. Si chiama *pendolo semplice* un sistema formato da una pallina di massa m , sospesa a un filo inestensibile di massa trascurabile fissato a un estremo O , detto *centro di sospensione*.



MOTO ARMONICO

Moto periodico

Risolvendo il sistema di forze agenti sul pendolo si ricava l'equazione del moto che, si può dimostrare, rappresenta un moto armonico di **periodo**:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

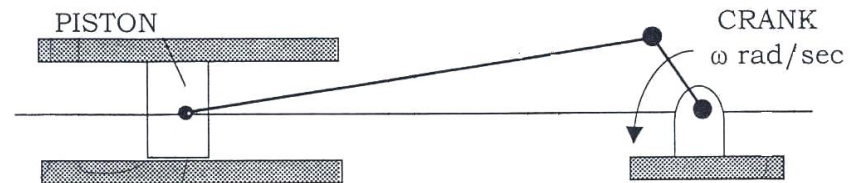
con l la lunghezza del filo e g accelerazione di gravità.

Ciò vuol dire che per piccole oscillazioni il periodo del pendolo è indipendente dall'ampiezza.

MOTO PERIODICO

Moto periodico

Un altro esempio di moto periodico è quello di un pistone che trasforma il moto rotatorio dell'albero motore in ***moto alternativo***.



La velocità lineare del pistone varia da zero al punto morto inferiore al valore massimo raggiunto in corrispondenza della metà del tragitto e ritorna a zero al punto di massima estensione (punto morto superiore).

Anche l'accelerazione subisce una variazione continua di valori con una legge analoga che vede però il massimo del valore in corrispondenza dell'estremità ed il minimo (zero) in corrispondenza del valore massimo della velocità.

MOTO ARMONICO

Moto periodico

Un particolare modo periodico è il **moto armonico** caratterizzato dalla seguente legge oraria:

$$x(t) = A \cos(\omega t + f)$$

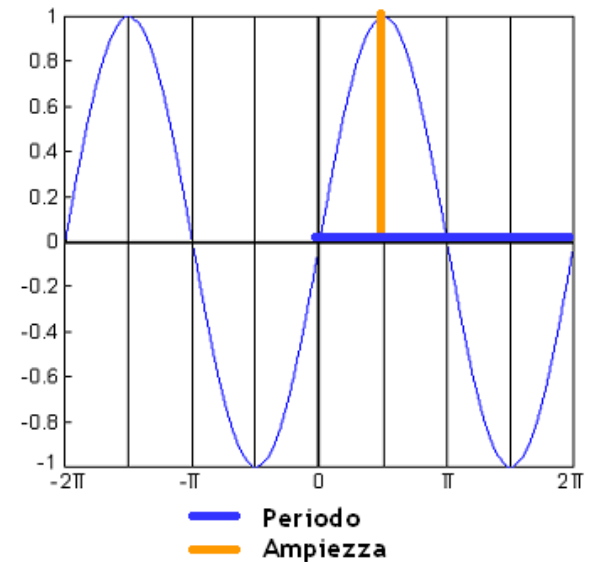
A - esprime l'estensione del moto.

Essa viene comunemente chiamata **ampiezza**.

ω - è connessa con la rapidità dell'oscillazione. Si chiama **frequenza angolare o pulsazione**.

f - è l'argomento del coseno al tempo $t=0$; quindi cambiare la **fase** è equivalente a ridefinire l'origine dei tempi.

Il valore di $\cos(\omega t + f)$ varia tra -1 e 1, quindi l'ampiezza dell'intervallo in cui si muove l'oggetto è $2A$.



MOTO ARMONICO

Moto periodico

Se si fa trascorrere un tempo $T=2\pi/\omega$, l'argomento del coseno cambia proprio di 2π , T esprime la durata di un'oscillazione completa.

A questo proposito, sottolineiamo che compiere un'oscillazione completa significa tornare ad occupare la stessa posizione avendo anche la stessa velocità.

T si chiama *periodo del moto*.

L'inverso del periodo è chiamata *frequenza* e, generalmente, si indica con la lettera “f”

$$f = 1 / T$$

Vibrazioni

VIBRAZIONI

Vibrazioni

Le considerazioni valide per i fenomeni elastici possono essere estese ai sistemi oscillanti di diverso tipo:

Oscillazioni libere: sul corpo in oscillazione non intervengono forze eccitanti o smorzanti per cui, dopo che è stato messo in moto esso continua indisturbato. L'equazione del moto è data da:

$$x = A \cos \omega_0 t$$

x è l'ampiezza dell'oscillazione iniziale, ω_0 è dato da:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

e dipende dalla costante elastica del materiale e dalla sua massa.

VIBRAZIONI

Vibrazioni

Oscillazioni smorzate: sul corpo, sollecitato da una forza elastica, agiscono resistenze passive (attrito, resistenza dell'aria, ecc.), se si suppone che queste siano proporzionali alla velocità, con un coefficiente di smorzamento b , si ricava per la pulsazione:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m}\right)^2}$$

L'ampiezza dell'oscillazione diminuisce nel tempo di moto oscillante finché il termine sotto radice è positivo.

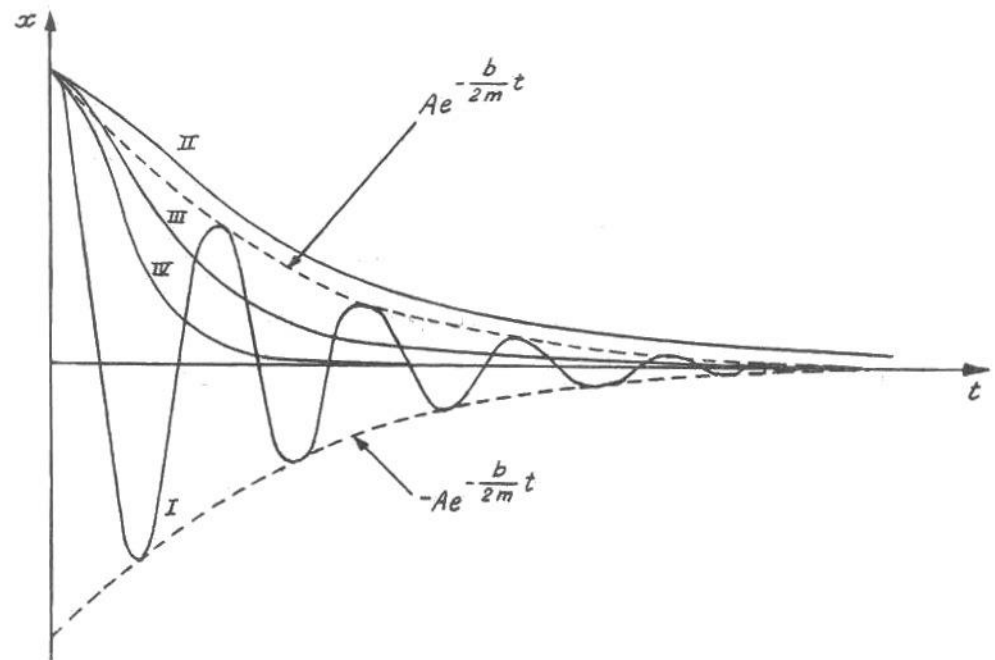
VIBRAZIONI

Vibrazioni

Quando:

$$\frac{k}{m} = \left(\frac{b}{2m} \right)^2$$
$$b^2 = 4mk$$

Il punto tende a tornare
nella posizione di equilibrio
nel modo più rapido, si parla
di **smorzamento critico**.



VIBRAZIONI

Vibrazioni

Oscillazioni forzate: il corpo è soggetto, oltre che alla forza elastica di richiamo e alla resistenza passiva, anche ad una forza.

Nell'ipotesi di una forza sinusoidale con pulsazione ω , si ottiene una soluzione per l'equazione del moto del tipo:

$$x = BF \cos(\omega t - \varphi)$$

$$B = \frac{1}{\sqrt{m^2(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2\omega^2}}$$

$$\tan \varphi = \frac{b\omega}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}$$

VIBRAZIONI

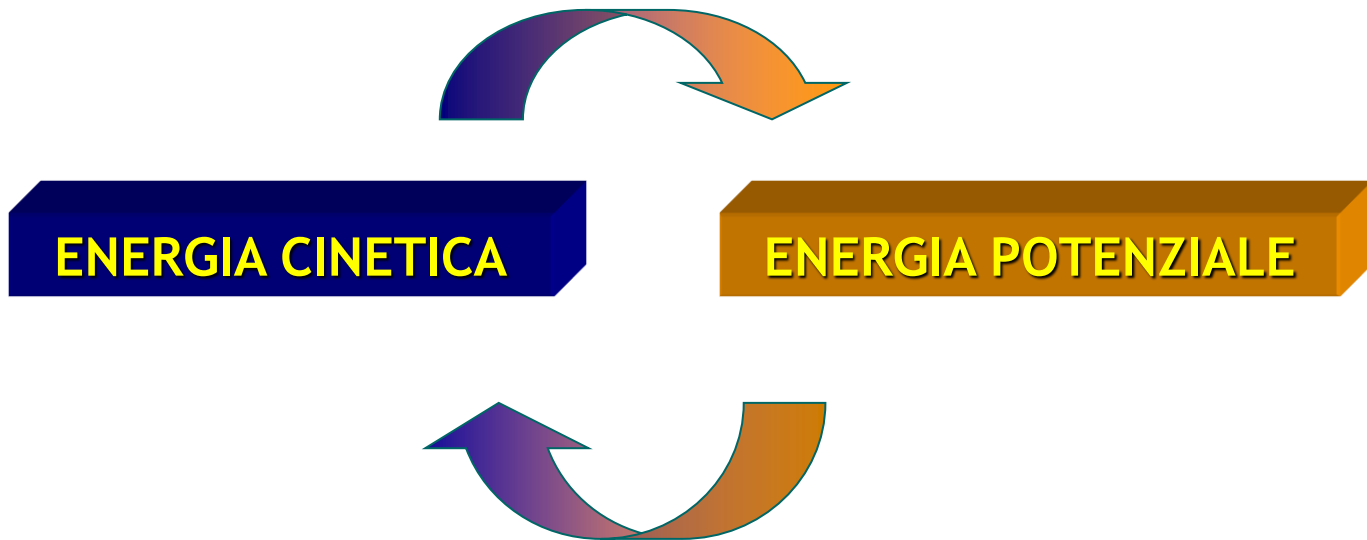
Vibrazioni

Il moto è periodico con frequenza pari a quella impressa dalla forza esterna. L'ampiezza delle oscillazioni dipende dal coefficiente di smorzamento e dal rapporto $\omega/\omega_0 = \nu/\nu_0$ fra la frequenza delle oscillazioni impresse e quella delle oscillazioni libere.

In presenza del massimo dell'ampiezza in corrispondenza con multipli di F/k porta al *fenomeno della risonanza*, cioè al sommarsi del moto oscillatorio naturale del materiale con quello forzato che porta ad un aumento dell'energia del materiale stesso e alla sua rottura.

VIBRAZIONI

Si ha moto vibratorio quando alternativamente viene trasferita energia dalla forma cinetica alla forma potenziale e viceversa.



VIBRAZIONI

Vibrazioni

Comunque il sistema sia costituito, si può dire che esso è soggetto a **vibrazione** quando almeno uno dei suoi punti presenta un **moto nell'intorno di una configurazione di equilibrio**, moto che si ripete con le medesime caratteristiche dopo un intervallo di tempo ben definito; tale intervallo di tempo prende il nome di **periodo** (T) della vibrazione e, nel caso più semplice, è l'intervallo di tempo in cui si compie una oscillazione completa.

La **frequenza** della vibrazione è il numero delle oscillazioni complete per unità di tempo.

$$f = 1 / T$$

VIBRAZIONI

Il moto vibratorio di un sistema dipende, in generale, da due particolari valori di frequenza:

1. la **frequenza naturale** (o frequenza propria) (f_n) con cui vibra il sistema se ha soltanto caratteristiche elastiche e non è soggetto a forze esterne;
2. la **frequenza eccitatrice** (o frequenza forzante) (f_f) che è quella dell'azione esterna che agisce sul sistema con variabilità periodica.

Quando i valori di tali frequenza coincidono ($f_n=f_f$) si ha la condizione di **RISONANZA**, cui può corrispondere una esaltazione dell'ampiezza del moto vibratorio con possibile pericolo per l'integrità del sistema.

Dinamica

DINAMICA

Lavoro

Si definisce fisicamente il *lavoro* di una forza il prodotto dell'intensità della forza per il modulo dello spostamento del corpo su cui viene applicata la forza nella direzione della forza.

In termini matematici il lavoro è il prodotto scalare del *forza* per *spostamento*:

$$L = F \cdot s$$

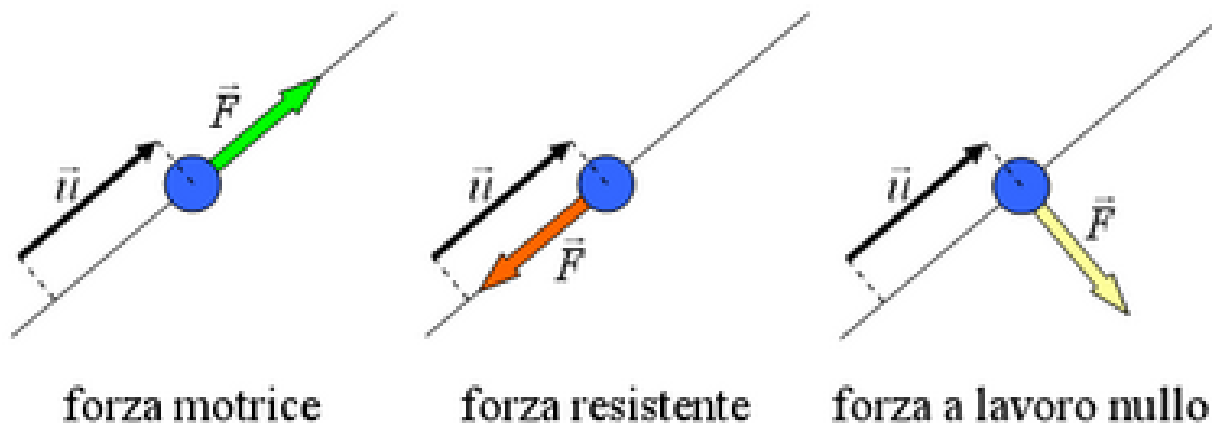
L'unità di misura derivata del Sistema Internazionale per il lavoro è il *joule*.

DINAMICA

Lavoro

Il lavoro può essere *motore* o *resistente*, a seconda che la forza favorisca (oppure ostacoli) lo spostamento.

Con i vettori la definizione diventa ancora più semplice $L = \vec{F} \cdot \vec{S}$ prodotto scalare della forza per lo spostamento.



DINAMICA

Potenza

La **potenza** è definita come il rapporto tra il lavoro compiuto ed il tempo impiegato per compierlo:

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

Si misura in **Watt = Joule/sec**. La potenza è una misura della velocità di erogazione del lavoro.

Un altro modo di calcolare la potenza si ottiene scomponendo la formula del lavoro:

$$\text{Potenza} = \frac{\text{forza} \times \text{distanza}}{\text{tempo}} = \text{forza} \times \text{velocità}$$

DINAMICA

Energia

Si può definire l'*energia* come la capacità di eseguire lavoro.

Le forme note di energia sono *sei*:

1. *Meccanica*;
2. *Termica*;
3. *Chimica*;
4. *Luminosa*;
5. *Elettrica*;
6. *Nucleare*.

DINAMICA

Energia

Ogni forma di energia può essere convertita in una delle altre in base al *principio di conservazione dell'energia*.

Il principio di conservazione dell'energia afferma che l'energia non viene creata o distrutta, ma trasformata in forme diverse.

I *convertitori di energia*, come motori, lampadine e generatori elettrici, non sono totalmente efficienti: non tutta l'energia in entrata viene trasformata nella forma richiesta in uscita, perché una parte di essa viene *dissipata* in una forma non utilizzabile.

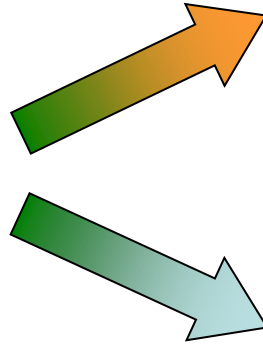
DINAMICA

Energia Meccanica

Energia Cinetica

**Energia Meccanica si
suddivide in**

Energia Potenziale



DINAMICA

Energia cinetica

L'*energia cinetica* è la forma di energia posseduta da un corpo in moto, per il fatto che esso è dotato di velocità:

$$E = \frac{1}{2} mv^2$$

Un lavoro su un corpo implica sempre una variazione di energia cinetica, che sarà positiva o negativa a seconda che il lavoro sia motore o resistente.

Per cui $L = E_a - E_b$ è il lavoro da un corpo che si muove da un punto A ad un punto B ed è uguale alla variazione di energia cinetica del corpo.

DINAMICA

Energia potenziale

Si definisce **energia potenziale** gravitazionale di un corpo ad altezza “h” (il lavoro compiuto dalla forza peso), quando il corpo si porta a terra.

$$U = F h = mgh$$

(si assume energia potenziale 0 a terra).

Questo lavoro è sempre uguale indipendentemente dal cammino che il corpo compie.

$$L = U_a - U_b = mgh_a - mgh_b$$

Il lavoro L è uguale alla differenza di energia potenziale del corpo nel punto A e nel punto B.

DINAMICA

Temperatura e Calore

Nei sistemi con elevato numero di particelle il modello della meccanica non è pratico né sufficiente.

Per trattare questi sistemi (come un gas) nel suo complesso ci si riferisce alla *meccanica statistica*, che studia i fenomeni dal punto di vista generale e statistico.

Si definisce la *Temperatura* di un sistema come grandezza correlata all'energia cinetica delle sue molecole.

DINAMICA

Temperatura e Calore

Il **calore** altro non è che una forma di energia e quindi equivalente al lavoro, energia trasferita tra due sistemi.

E' considerato un valore **positivo** (+) quando il trasferimento d'energia avviene sul sistema in esame.

E' considerato **negativo** (-) quando il trasferimento avviene dal sistema in esame verso l'esterno.

Perciò il calore positivo ci sarà su un corpo che assorbe energia dall'ambiente o da un sistema esterno, e quello negativo ci sarà nel caso di un corpo che cede energia.

DINAMICA

Temperatura e Calore

Essendo una forma di lavoro il calore può essere espresso in *joule* anche se spesso si preferisce usare la *caloria* come unità di misura:

$$1 \text{ caloria} = 4,184 \text{ J}$$

Il calore è quindi la...

...produzione di energia che scaturisce da una variazione di temperatura tra un sistema di riferimento e l'ambiente circostante.

giroscopi

GIROSCOPI

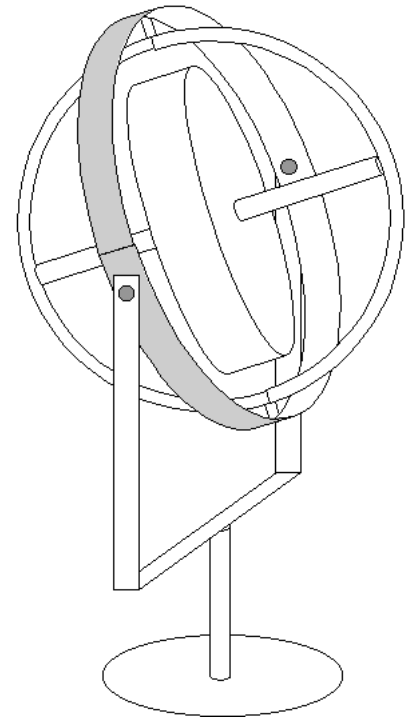
Giroscopi

Il **giroscopio** è una ruota o un disco che ruota attorno ad un asse, a sua volta è libero di ruotare attorno ad uno o due altri assi ad esso perpendicolari.

Il giroscopio si oppone alle forze che tendono a cambiare la direzione dell'asse di rotazione grazie all'elevata inerzia che possiede.

Sui velivoli gli strumenti giroscopici sono:

1. **orizzonte artificiale**,
2. **indicatore di virata**,
3. **girodirezionale**,
4. **piattaforma inerziale**.



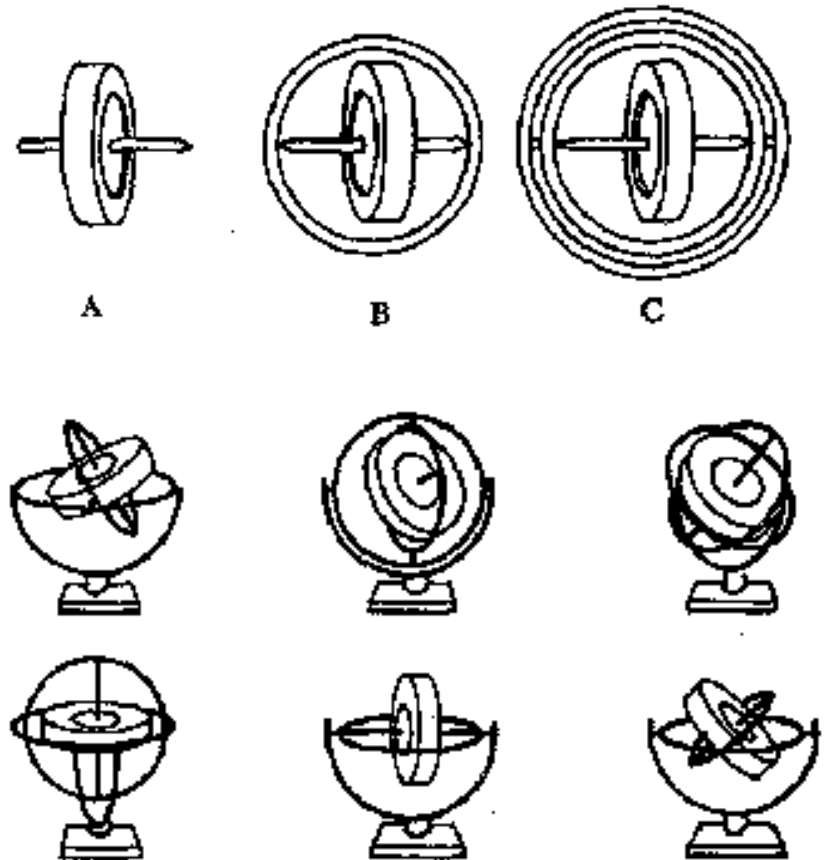
GIROSCOPI

Giroscopi

L'anima del giroscopio è costituita da un volano con l'asse di rotazione (A) che porta dei cuscinetti su cui sono montati due anelli esterni (B) e (C) a 90° . Il volano in questo modo può ruotare di 360° all'interno dell'anello (B).

Quando il volano è messo in rotazione il suo asse mantiene sempre la stessa direzione.

Questa proprietà è detta *inerzia o rigidità giroscopica*.



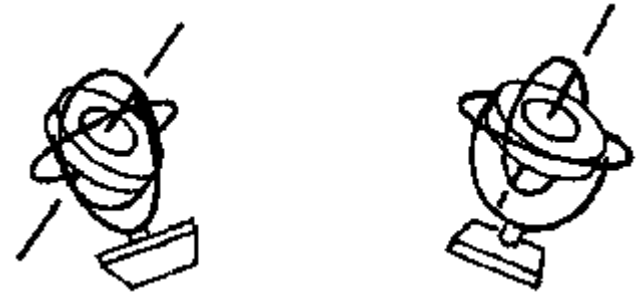
GIROSCOPI

Giroscopi

L'*inerzia giroscopica* è direttamente proporzionale a:

- massa del rotore, una massa maggiore resiste meglio alla perturbazione;
- velocità angolare, maggiore è la velocità maggiore sarà l'inerzia;
- raggio di girazione o momento d'inerzia del rotore;
- attrito dei cuscinetti, l'attrito fa deflettere il giroscopio.

Per *raggio di girazione* si intende il raggio di una circonferenza ideale nella quale si può immaginare concentrato tutta la massa del corpo rotante. In generale, la rigidità dipende dalla forma geometrica.

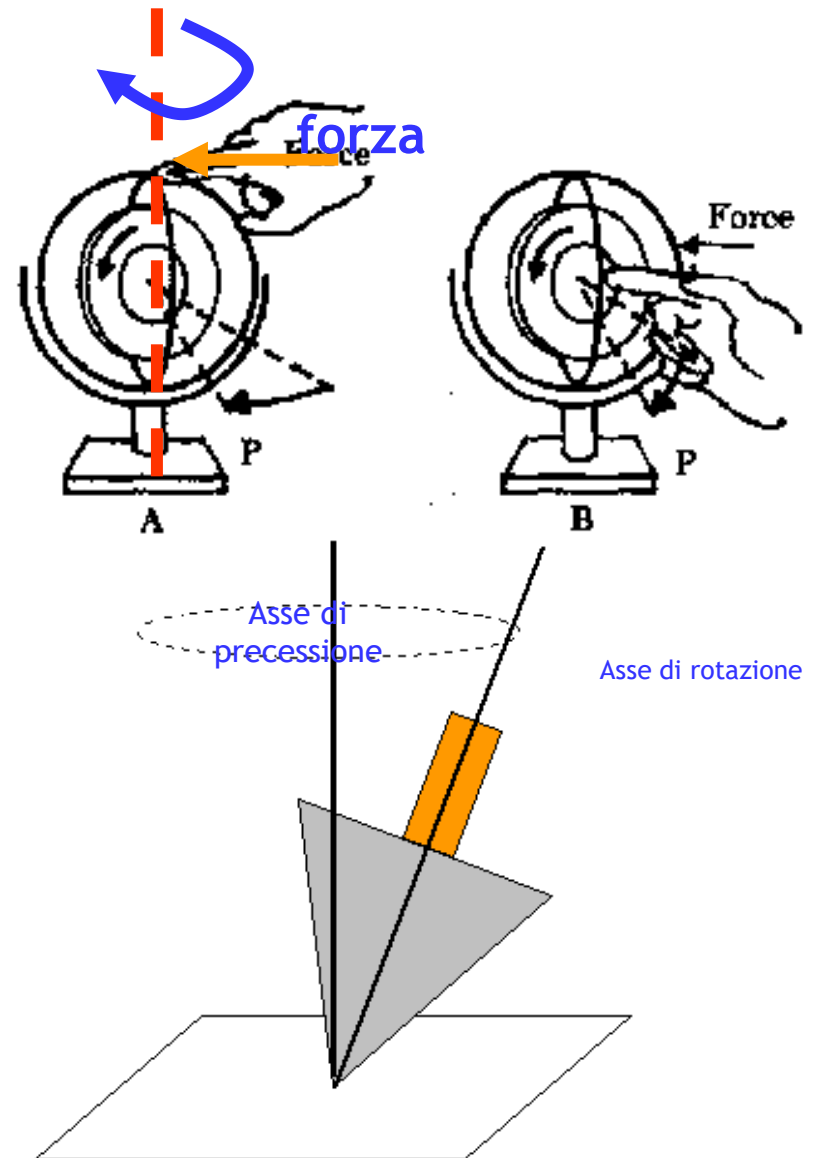


GIROSCOPI

La seconda caratteristica dei giroscopi è il cosiddetto *moto di precessione*.

Applicando una forza al corpo in rotazione in una direzione il giroscopio ruota a sua volta attorno ad un asse diverso, detto *asse di precessione*. Il moto è causato dalla presenza di un *momento* esterno.

Ad esempio, nel moto di una trottola l'asse di precessione è perpendicolare al suolo ed intorno ad esso ruota il baricentro della trottola e l'asse di rotazione.



Attrito

ATTRITO

Attrito

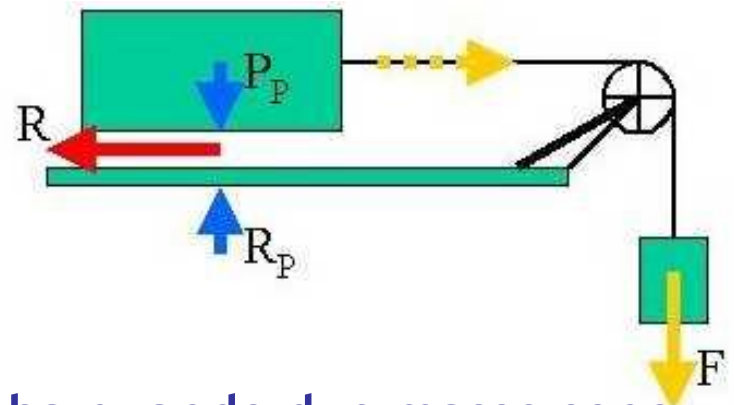
L'**attrito** è la forza che si sviluppa fra due solidi a contatto in moto relativo fra loro.

L'attrito si può suddividere in:

- 1) **attrito radente**;
- 2) **attrito volvente**.

L'attrito radente o di strisciamento si ha quando due masse sono a contatto su superfici piane e in moto relativo fra loro.

Ad esempio una massa di peso P è appoggiata su un piano orizzontale, il quale reagisce con una forza opposta R . Alla massa è legata una fune lungo la quale agisce la forza F . Nel contatto fra massa e piano di appoggio, durante il moto, si sviluppa la forza di attrito R .



ATTRITO

Attrito

L'attrito è presente solo durante il moto. Ha direzione tangente alla superficie di contatto e verso contrario a quello di avanzamento. Il modulo è proporzionale alla forza complessiva che la massa esercita sul piano di appoggio:

$$R = f \cdot P$$

con f *coefficiente di attrito* che dipende dalla natura dei materiali, dalla scabrosità delle superfici di contatto e dalla velocità della massa, è maggiore per piccole velocità, poi tende a diminuire leggermente.

L'attrito dipende dalla risultante delle forze perpendicolare alla superficie di contatto e non dipende dalla ampiezza della superficie di contatto.

ATTRITO

Attrito

Le superfici di contatto possono essere lisce, ruvide, piane ondulate, nuove, arrugginite, secche, umide, dello stesso o di diverso materiale, alla stessa o a diversa temperatura. A ciascuno stato corrisponde un coefficiente di attrito diverso.

L'uso di un *lubrificante* permette di ridurre l'attrito.

L'*attrito di primo distacco* si verifica quando, vinta l'inerzia, la massa lascia la posizione di quiete. Il coefficiente f è allora più grande di quello che si ha in movimento perché inizialmente le due superfici sono ingranate e per separarsi devono prima uscire dalle rugosità l'una dell'altra.

Quando la velocità supera un certo valore (circa 20 m/s), fra i due corpi si insinua un velo d'aria che li separa parzialmente, per cui la forza di attrito diminuisce.

ATTRITO

Attrito

L'*attrito volvente* è la forza che si sviluppa fra due solidi a contatto in moto rotatorio relativo senza strisciamento (ruota su ruota o ruota su strada).

In realtà l'attrito volvente puro non esiste poiché tutti i corpi sono deformabili e l'attrito si sviluppa sempre su una superficie quasi piana ed è sempre accompagnato da quello radente.

L'applicazione più importante si ha nella trasmissione del moto con le ruote di frizione in cui è indispensabile che si verifichi uno strisciamento minimo, per non avere una rapida usura delle ruote.

Dinamica dei Fluidi

GENERALITA'

Fluidodinamica

La **meccanica dei fluidi** si occupa del comportamento delle sostanze liquide e gassose, dal punto di vista statico e dinamico. Si distinguono due rami della meccanica dei fluidi:

- la **fluidostatica**, divisa in statica dei gas e idrostatica, che studia le condizioni di equilibrio dei fluidi in quiete;
- la **fluidodinamica**, divisa in aerodinamica e idrodinamica, che si occupa in generale dei fluidi in moto.

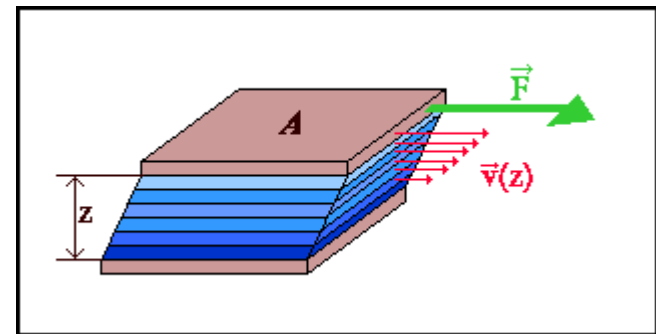
Il termine **idrodinamica** si applica più propriamente al flusso di liquidi o al flusso a bassa velocità di gas che possano essere considerati essenzialmente incompressibili. L'**aerodinamica** indaga il comportamento dei gas quando le variazioni di pressione sono sufficientemente alte da non permettere che vengano trascurati gli effetti della comprimibilità.

FLUIDODINAMICA

Fluidodinamica

Prendiamo un fluido confinato tra due lastre parallele di area A e distanti tra loro z . Teniamo ferma la lastra inferiore e facciamo scorrere quella superiore con una velocità costante v applicandovi una forza F .

Tale forza è necessaria perché il fluido vicino alla lastra superiore esercita su essa una **resistenza viscosa** che si oppone al moto: ogni strato di fluido esercita su quelli adiacenti ad esso una forza resistente tale che la velocità del fluido vicino alla lastra alla quale è applicata la forza è v mentre è quasi nulla vicino alla lastra inferiore, variando linearmente con la quota.



FLUIDODINAMICA

Fluidodinamica

Tenendo presente che per il flusso vale anche l'equazione di continuità, essendo la portata $A \cdot V$ costante, si avrà che:

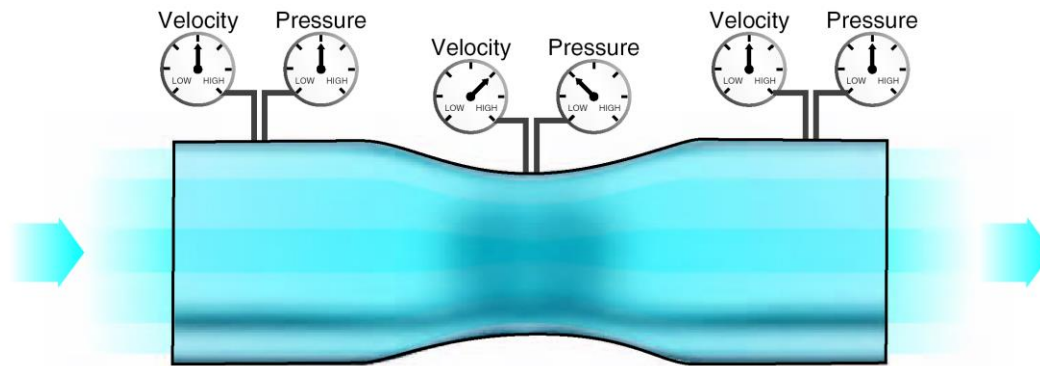
ad una diminuzione della sezione corrisponde un aumento delle velocità;

l'aumento di velocità nella strozzatura si traduce in una diminuzione della pressione nella zona a sezione ridotta del tubo.

perché la somma dei termini nell'equazione sopra deve anch'essa rimanere costante.

FLUIDODINAMICA

Fluidodinamica



Nel *tubo di Venturi* ad una diminuzione di sezione corrisponde un aumento della velocità ed una diminuzione della pressione statica e, viceversa.

In particolare, dove la sezione è minima (gola) la velocità raggiunge il suo valore massimo e la pressione statica il suo valore minimo.

FLUIDODINAMICA

Fluidodinamica

Moto laminare e turbolento - In questo caso il principio di Bernoulli non è applicabile perché l'energia meccanica totale viene dissipata per effetto dell'attrito viscoso, col risultato che si verifica una caduta di pressione lungo tutto il condotto.

Dalle equazioni si ricava che il calo di pressione, per un determinato sistema, dovrebbe essere proporzionale alla velocità di flusso. Ciò è vero solo per basse velocità e a velocità maggiori il calo di pressione dipende invece dal quadrato della velocità.

Si distinguono due tipi diversi di moto di un fluido viscoso all'interno di un condotto: a basse velocità le particelle seguono le linee di flusso (***regime laminare***), secondo le previsioni delle equazioni analitiche, mentre a più alte velocità il flusso si rompe in una serie di gorgi (***regime turbolento***) dall'andamento casuale.

FLUIDODINAMICA

Fluidodinamica

La transizione dal regime laminare a quello turbolento dipende da un solo parametro, detto *numero di Reynolds*:

$$Re = (\rho v D) / \mu$$

prodotto della velocità e della densità del fluido per il diametro del condotto diviso per la viscosità.

Se il numero di Reynolds è *minore di 2100*, il flusso è laminare; per valori più alti si instaura un regime di moto turbolento.