



Università degli Studi della Basilicata



Elementi Meccanici delle Macchine

PAS – Educazione tecnica nella scuola
media – classe A033

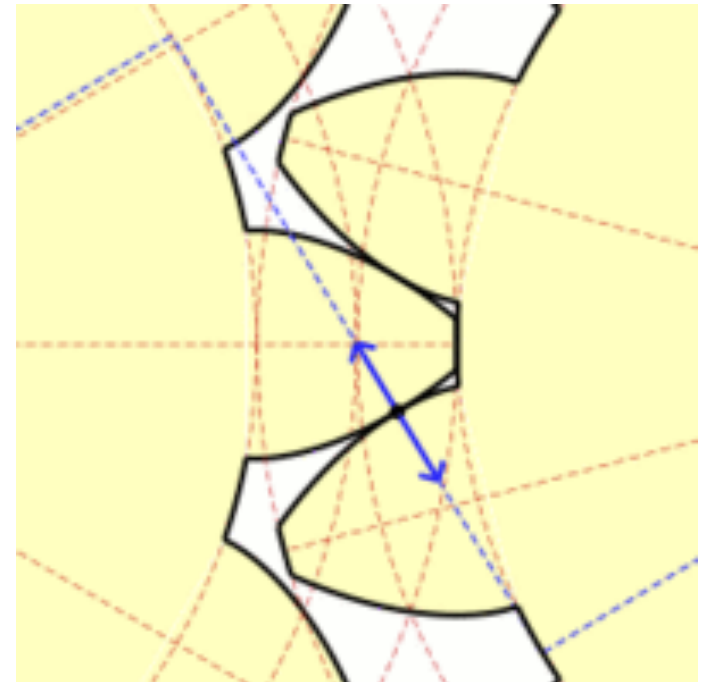
Docente: Elena Pierro
Lezione online I

3.1 Introduzione

Il funzionamento delle macchine si basa sulla trasmissione del moto da un membro all'altro, in modo che la potenza necessaria arrivi fino al cedente.

Ciò si verifica tramite lo scambio di forze:

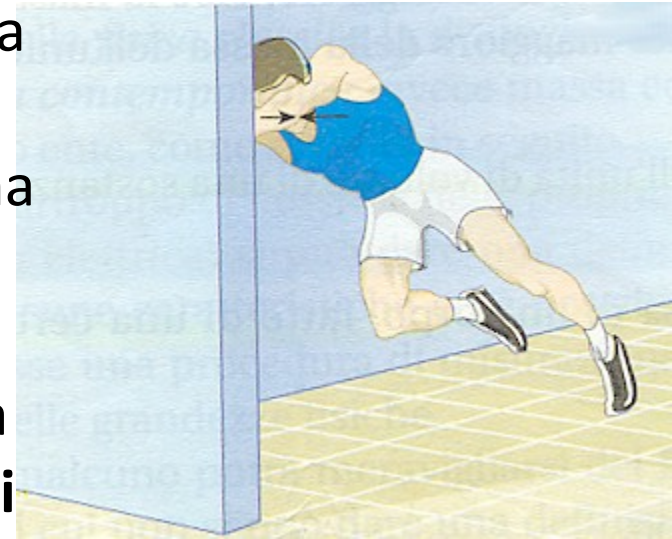
- tra la macchina e l'ambiente
- tra membri della macchina, che vengono in contatto in corrispondenza delle coppie cinematiche



Le forze di contatto sono solitamente preponderanti rispetto alle forze di campo che entrano in gioco (*gravitazionali, elettromagnetiche, ecc.*).

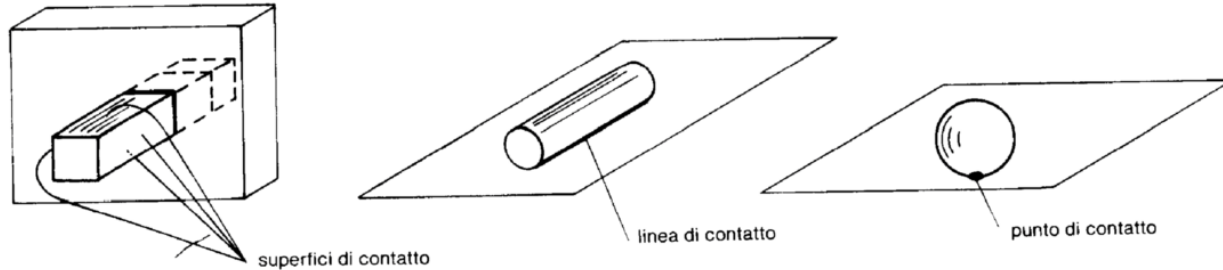
La **tribologia** studia le problematiche del contatto.

Le azioni che si scambiano mutuamente i 2 membri collegati da una coppia sono sempre governate dal *principio di azione e reazione*, ma assumono un ruolo fondamentale anche la **geometria del contatto**, il tipo di **moto relativo** che si instaura tra i corpi e la presenza di **fenomeni dissipativi**.



In relazione alla *geometria del contatto* si hanno:

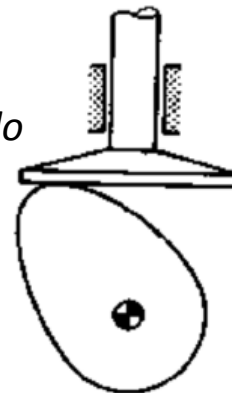
- contatti puntiformi (cuscinetto a sfere)
- contatti lineari (cuscinetto a rulli)
- contatti superficiali (vite-madrevite)



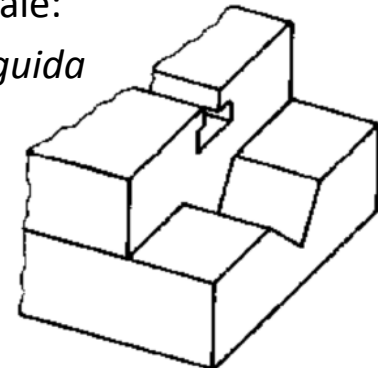
contatto
puntiforme:
*ingranaggio
sghembo
elicoidale*



contatto
lineare:
camma-piattello

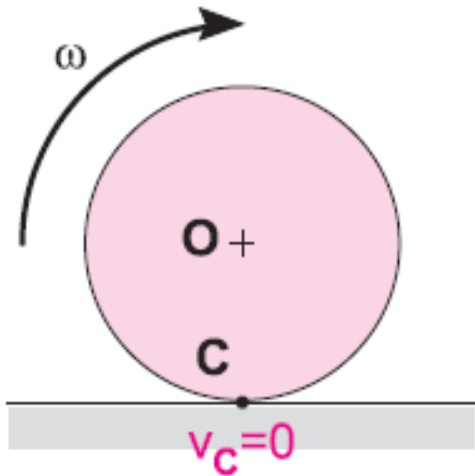


contatto
superficiale:
pattino-guida

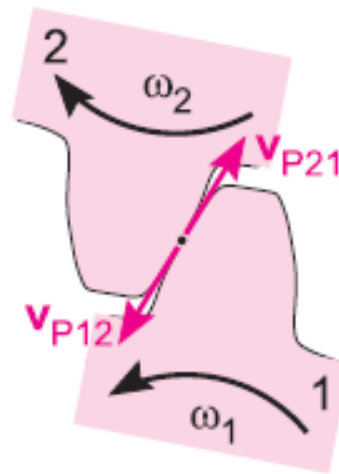


Coppie con diversi tipi di contatto

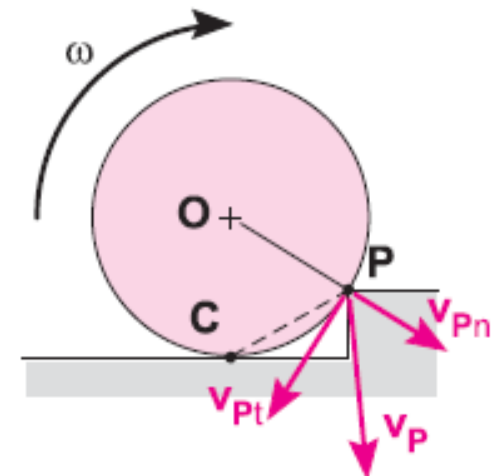
Dal punto di vista *cinematico* si può avere puro **rotolamento**, **strisciamento** oppure **urto** (o distacco).



puro rotolamento: la velocità relativa nel punto di contatto è nulla



strisciamento: la velocità relativa nel punto di contatto ha la direzione della tangente alle superfici di contatto

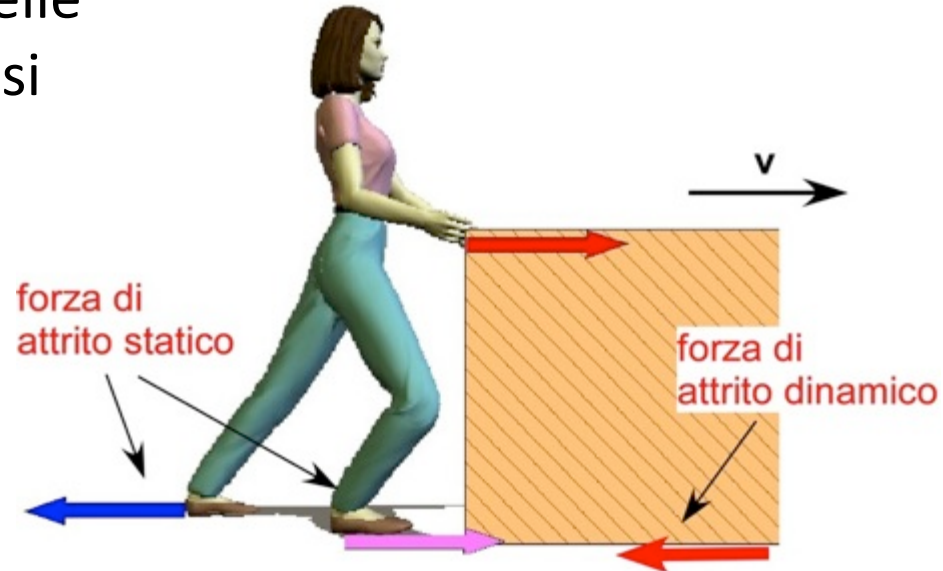


urto (o distacco): la velocità relativa ha una componente lungo la direzione normale

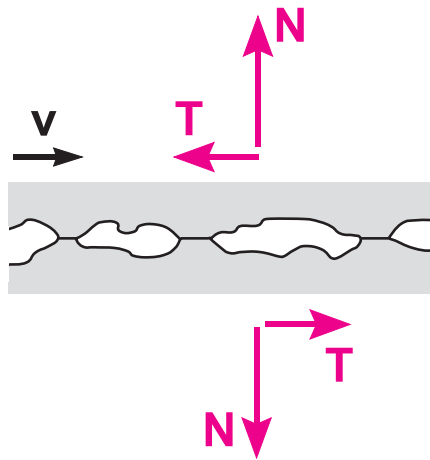
Le dissipazioni durante il contatto sono causate da molti fenomeni concorrenti di tipo diverso, ma vengono indicate con il termine generico di **attrito** e le relative forze che si oppongono al moto relativo di un membro rispetto all'altro sono chiamate **resistenze di attrito**.

In presenza di un moto relativo di strisciamento, nascono delle forze di **attrito radente** che si oppongono al movimento:

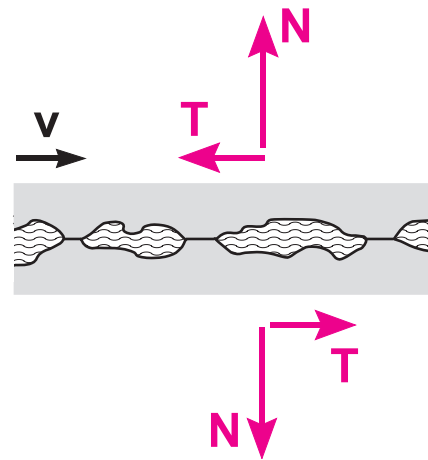
- *attrito dinamico*
- *attrito statico*.



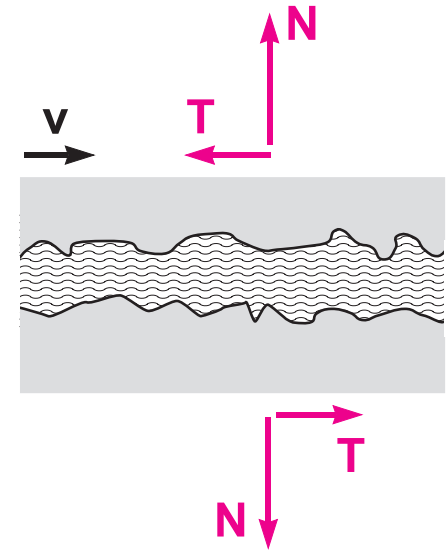
È importante anche lo stato delle superfici di contatto



attrito secco o **diretto**: le superfici dei 2 membri sono in contatto diretto

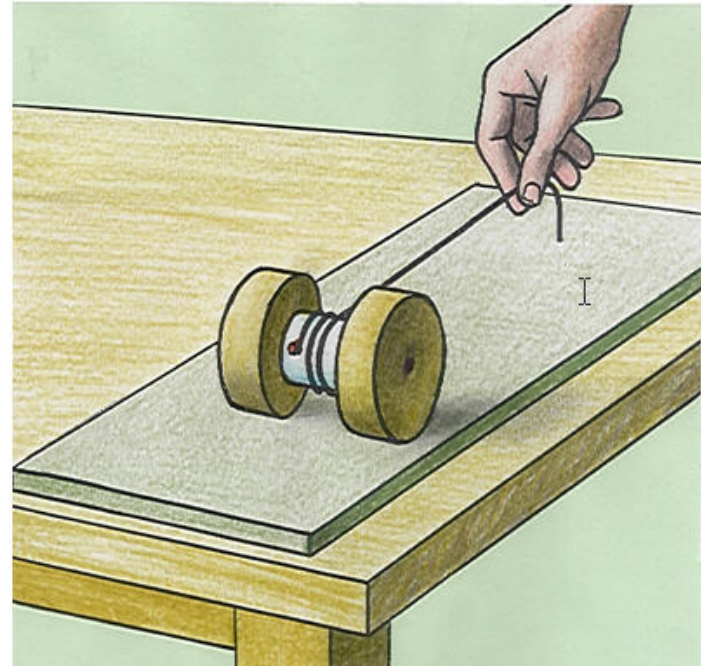


attrito limite: è un caso intermedio: lo strato di lubrificante è molto sottile e interrotto in alcuni tratti



attrito fluido o **mediato**: è interposto un lubrificante che separa le superfici coniugate

Se i due membri della coppia hanno velocità angolari differenti, come per esempio nel moto di rotolamento di un corpo relativamente all'altro, nascono anche delle **resistenze al rotolamento** che si oppongono alla rotazione relativa e che sono spesso chiamate *attrito volvente*.



Nel contatto con urto si manifestano spesso dei fenomeni dissipativi chiamati **attrito interno**.



3.2 Contatti superficiali: la teoria di Hertz

La classificazione geometrica del contatto è puramente teorica.

La zona nominale di contatto si deforma sotto l'azione dei carichi esterni: i membri di una coppia vengono sempre in contatto attraverso una superficie di area finita dando origine a distribuzioni non uniformi di pressione.



Heinrich Rudolf Hertz (Amburgo, 1857 – Bonn, 1894) fisico, dimostrò l'esistenza delle onde elettromagnetiche e studiò il contatto

La **teoria di Hertz** (1882) è basata sulla meccanica del continuo ed è basata sulle proprietà elastiche dei materiali della coppia.

Ipotesi:

- materiale uniforme, isotropo e perfettamente elastico;
- forze normali alle superfici di contatto (cioè non viene presa in considerazione la presenza dell'attrito);
- aree di contatto piccole rispetto alle dimensioni dei membri;
- deformazioni piccole rispetto alle dimensioni delle zone di contatto.

3.3 Attrito radente: il modello di Coulomb

Quando due corpi strisciano l'uno rispetto all'altro, nasce una forza, detta di **attrito radente**, che si oppone al movimento: quando essa è trascurabile si parla di condizioni operative "ideali" altrimenti di caso "reale".

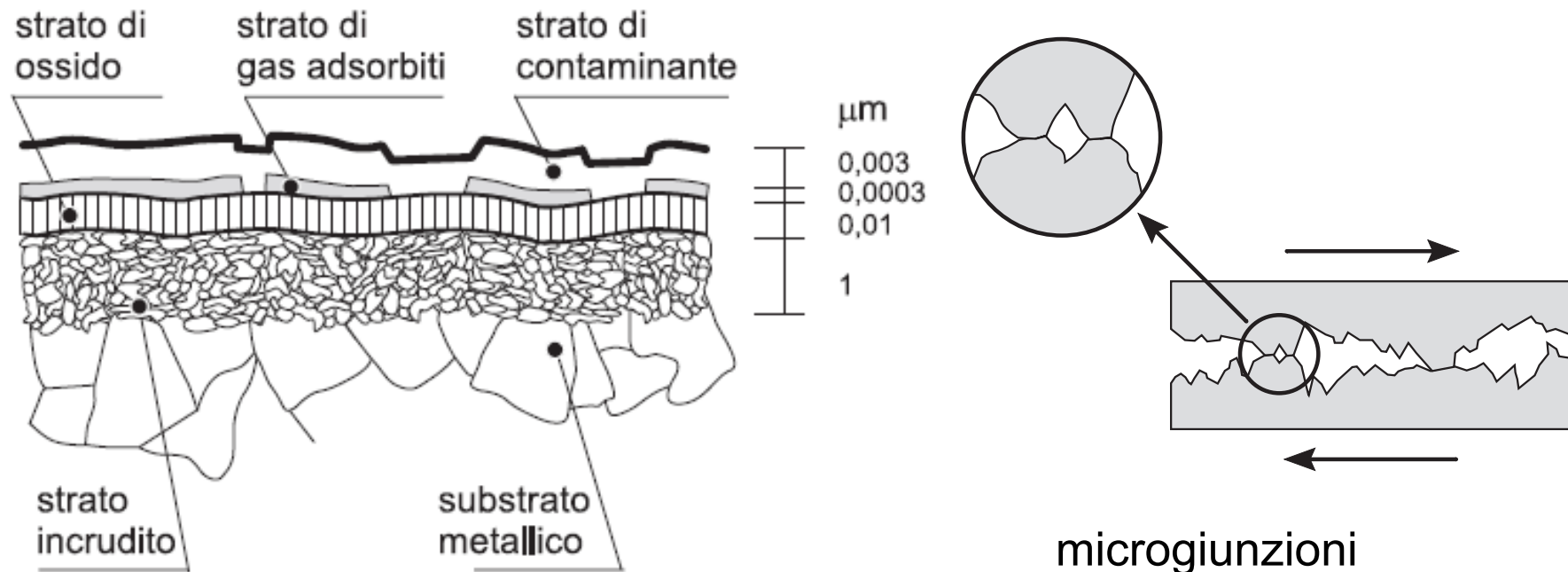


Charles Augustin de Coulomb (Angoulême, 1736 – Parigi, 1806) ingegnere e fisico.

Diede contributi fondamentali in elettromagnetismo e nella meccanica teorica ed applicata.

La zona superficiale di un corpo solido presenta in genere alcuni strati differenti.

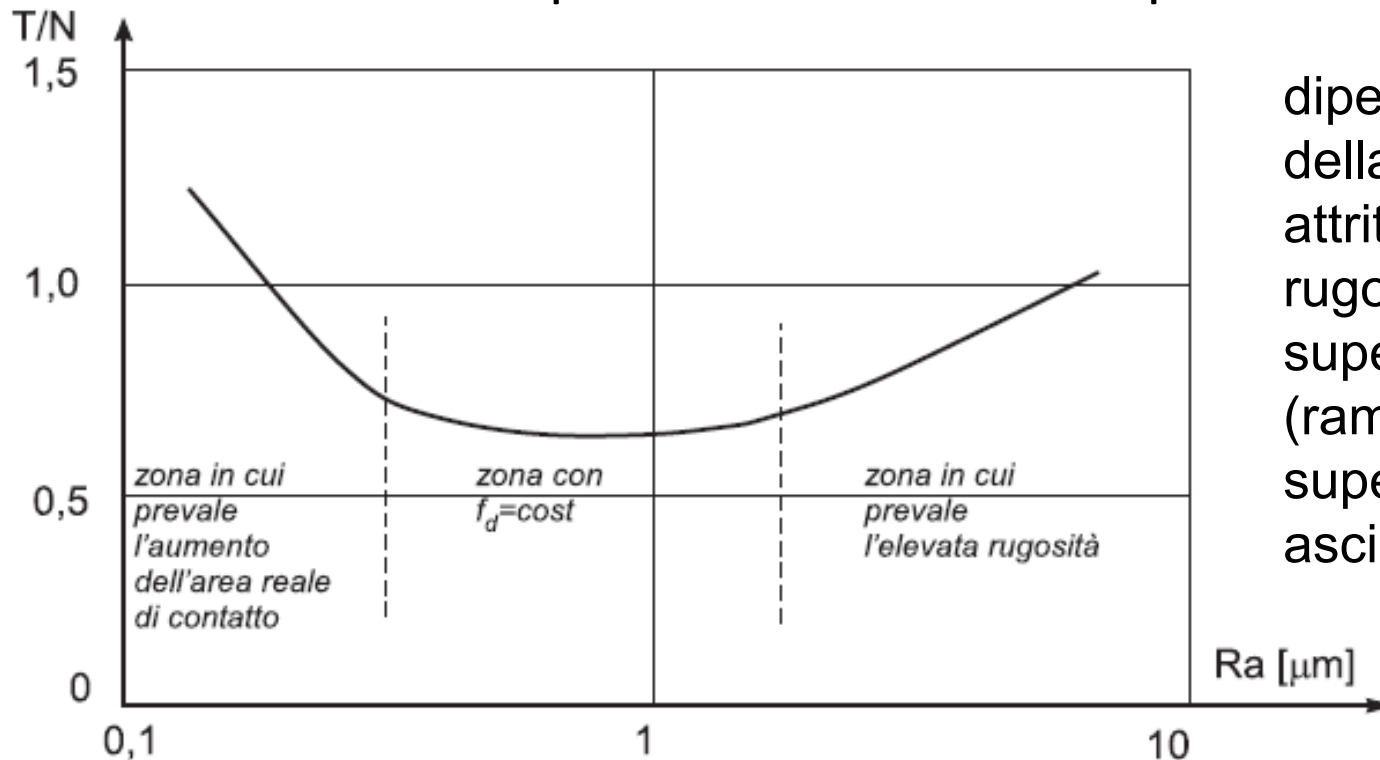
Il contatto non avviene sull'intera area teorica di contatto, ma in un numero limitato di zone, dove le asperità di una superficie incontrano quelle dell'altra.



La forza di attrito è causata da:

- fenomeni di adesione o di coesione
- asperità

tra le superfici a contatto. Essa dipende dal materiale costituente i due corpi e dallo stato delle superfici.



dipendenza della forza di attrito dalla rugosità superficiale (rame su rame, superfici asciutte)

Fenomeni di stick-slip possono interessare i cilindri oleodinamici, le macchine per la levigatura, ed altre macchine utensili che utilizzano slitte scorrevoli.

A volte questo fenomeno causa rumori anche fastidiosi, come nel caso dei freni degli autoveicoli o dei treni.



freni a disco
per
autovettura e
freni da
bicycletta



3.4 Azioni fluidodinamiche

Il moto relativo tra un corpo ed il fluido nel quale è immerso genera sulla superficie del corpo una *distribuzione di pressione* fortemente dipendente da molti parametri, tra i quali l'assetto del corpo e la velocità relativa.

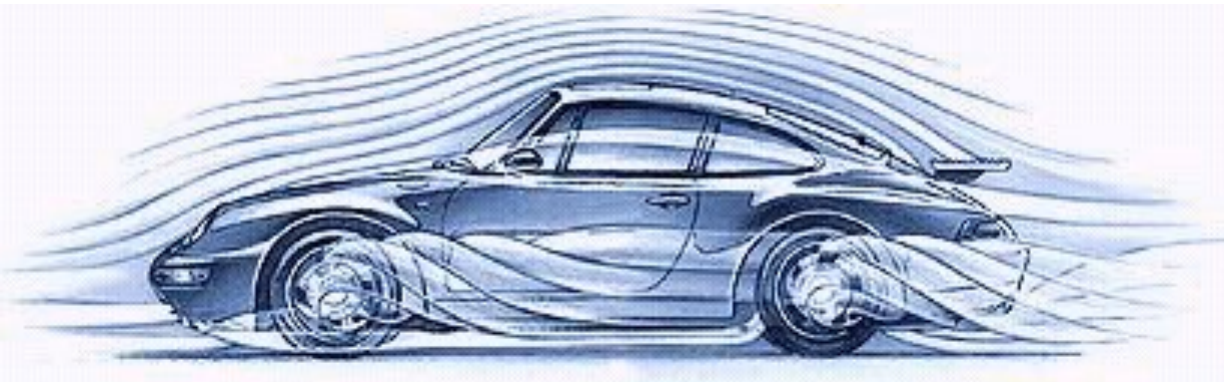
Le forze e coppie risultanti sono dovute alle azioni normali di pressione e, nel caso di fluidi reali, anche alle azioni tangenziali, causate dalla viscosità del fluido.

Entrambe queste componenti costituiscono una resistenza al moto del corpo e comportano una dissipazione di energia meccanica che viene detta **resistenza fluidodinamica** (o anche *attrito fluidodinamico*).

In campo automobilistico si cerca di ridurre le resistenze fluidodinamiche e di diminuire la portanza delle autovetture per migliorare l'aderenza al suolo.



Fiat Turbina, concept car del 1954, con propulsione tramite turbina a gas ($c_x=0,14$)



3.5 Attrito interno

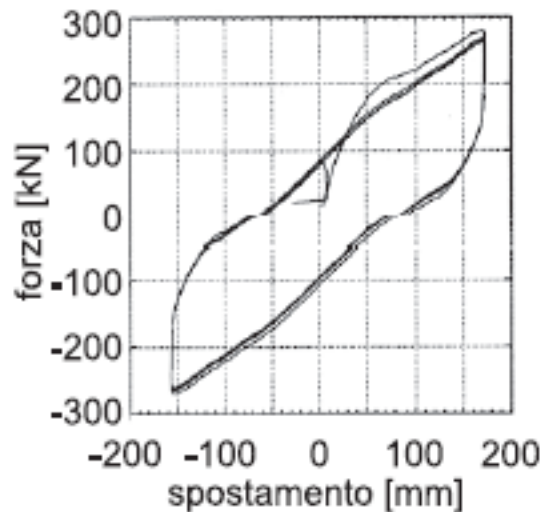
Lo **smorzamento strutturale** dei corpi solidi è dovuto all'attrito interno che si sviluppa nei relativi materiali, che non sono perfettamente elastici.

La curva tensione-deformazione presenta un **ciclo di isteresi** dovuto ad un **comportamento visco-elastico** del materiale, che reagisce in ritardo alle sollecitazioni applicate.

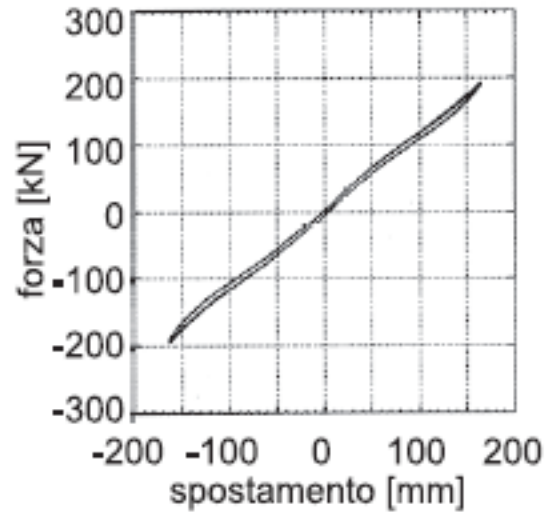
L'area del ciclo rappresenta l'energia meccanica per unità di volume che viene dissipata nel materiale dall'attrito interno; tale energia risulta approssimativamente proporzionale al quadrato dell'ampiezza del ciclo di deformazione e viene "degradata" sotto forma di calore.

La figura riporta 3 esempi di diagrammi sperimentali forza-spostamento di isolatori elastomerici per strutture civili:

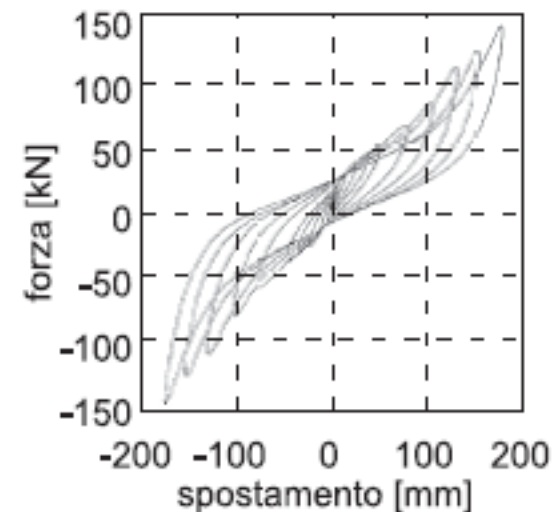
- (a) è relativa al caso in cui sia presente un inserto in piombo (Lead Rubber Bearings – LRB),
- (b) si riferisce ad isolatori a basso smorzamento (Low Damping Rubber Bearings – LDRB)
- (c) ad isolatori con elevato smorzamento (High Damping Rubber Bearings – HDRB)



(a)



(b)



(b)

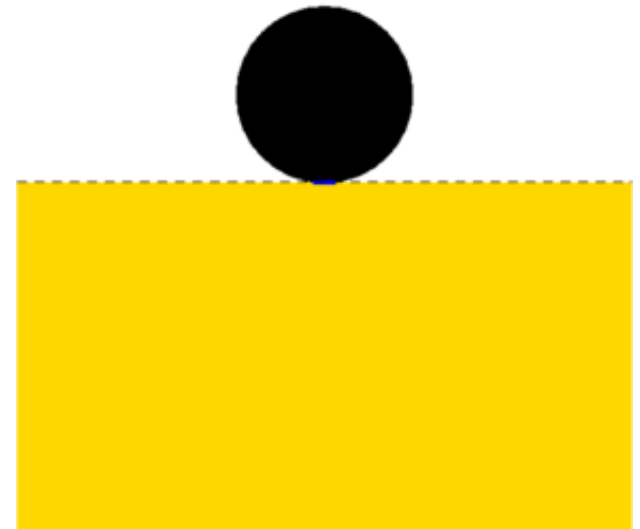
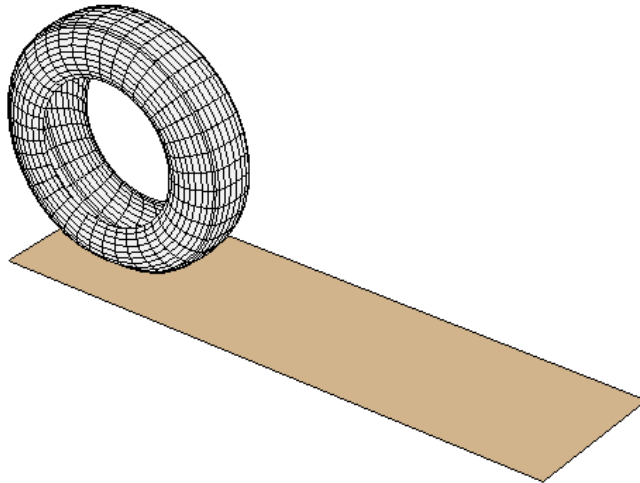
3.6 Resistenze al rotolamento

Anche il moto di rotolamento, per quanto energeticamente più “efficiente” di quello di strisciamento, è comunque soggetto ad azioni resistenti che tendono ad ostacolarlo: *non si tratta della forza di attrito radente* in quanto, in assenza di strisciamento, tale forza è applicata ad un punto che ha velocità nulla e quindi la sua potenza è nulla anch'essa.

Le cause di tale dissipazione sono molteplici e spesso concomitanti tra loro e vengono genericamente indicate col termine di **resistenze al rotolamento** (o talvolta *attrito volvente*).

Cause della dissipazione:

- deformazione anelastica di rullo e piano,
- fenomeni di elasticità ritardata (viscoelasticità)
- urti tra le asperità superficiali dei due corpi
- slittamento relativo su parte della superficie di contatto



Il fenomeno può essere spiegato solo ammettendo che i due corpi non siano perfettamente rigidi ma si deformino sotto l'azione delle forze che li spingono l'uno contro l'altro.

Si considerano esclusivamente i fenomeni di imperfetta elasticità, quali l'*isteresi* oppure il *comportamento elasto-plastico*, in cui il corpo deformato riacquista solo parzialmente la posizione indeformata, come ad esempio un terreno soffice al passaggio di un pneumatico

