

RESISTENZE DI ATTRITO

(Distillazione verticale)

OBIETTIVI: *Sapere calcolare le resistenze d'attrito nelle più comuni applicazioni meccaniche.
Sapere calcolare lavoro dissipato e potenza dissipata dalle forze d'attrito.*

- Resistenza di attrito o attrito (def.)
- Attrito statico o aderenza (def.)
- Attrito cinetico (def.)
- Attrito radente (def.)
 - Coefficiente di attrito radente (def. + formula)

- Moto di un corpo soggetto ad attrito
 - Su piano orizzontale (appl.)
 - Lavoro dissipato (calcolo)
 - Potenza dissipata (calcolo)
 - Su piano inclinato
 - Lavoro dissipato (calcolo)
 - Potenza dissipata (calcolo)

- Angolo di attrito (def.)
- Attrito nei perni
 - Albero di trasmissione (def.)
 - Perno (def.)
 - Perno portante (def.)
 - Attrito nei perni portanti (descr.)
 - Lavoro dissipato (calcolo)
 - Potenza dissipata (calcolo)
 - Perno spingente (def.)
 - Attrito nei perni spingenti (descr.)
 - Lavoro dissipato (calcolo)
 - Potenza dissipata (calcolo)

- Resistenza di attrito volvente (def. + formula)

- Coefficiente di attrito volvente (def. + formula)

RESISTENZE D'ATTRITO

La superficie asciutta di un solido metallico è ricoperta da più pellicola sovrapposte:

- 1) a contatto con il metallo si forma uno strato di ossido il cui spessore è pari a qualche centesimo di μm ;
- 2) sulla pellicola di ossido si forma, in presenza di aria, uno strato sottilissimo di vapor d'acqua e di ossigeno il cui spessore è pari a qualche decimillesimo di μm ;
- 3) sul secondo strato si forma, di regola, una sottilissima pellicola di grasso (spessore uguale a qualche millesimo di μm) fortemente aderente alle pellicole sottostanti dovuta a goccioline di olio in sospensione nell'atmosfera.

Pertanto quando si parla di superfici metalliche asciutte si fa riferimento:

- o a superfici ricoperte dai tre strati sopracitati come sono, di norma, le superfici degli organi delle macchine in condizione di esercizio; in questo caso il coefficiente d'attrito fra metalli assume valori dell'ordine di $0,1 \div 0,3$;
- o a superfici che siano state pulite dallo strato di grasso mediante l'impiego di abrasivi; così si possono presentare superfici di organi di macchine che, in condizione di esercizio, sono sottoposte ad azioni abrasive o a temperature elevate. In questo caso il coefficiente d'attrito è maggiore e risulta compreso fra $0,3 \div 0,6$, ma si possono avere anche valori maggiori.

Anche se le superfici degli organi delle macchine vengono lavorate con grande cura, esse presentano una certa rugosità (rugosità media compresa tra qualche decina e qualche decimo di μm). Ne consegue che il contatto fra due corpi solidi è localizzato su zone ristrette, dove le asperità di una superficie vengono a contatto con le asperità dell'altra. In corrispondenza di queste zone di contatto nascono delle interazioni di carattere meccanico e a causa delle elevate pressioni locali, si formano microgiunzioni.



La parte principale delle forze d'attrito è dovuta alle azioni locali per la recisione di queste microgiunzioni. Altri contributi alla forza d'attrito nascono sia nel superamento fra le asperità a contatto, sia nella penetrazione di asperità dure entro materiale più tenero, con conseguenti scorrimenti plastici o con recisioni locali.

L'attrito produce effetti che, mentre sono utili da certi punti di vista, sono da altri punti di vista dannosi. Indispensabile è la presenza dell'attrito nella trasmissione di forze fra coppie superiori di frizione (coppia ruota - rotaia) e per il funzionamento di organi meccanici come freni e innesti di frizione. Per quanto riguarda gli effetti dannosi basta osservare che ad esso è sempre connessa una perdita di energia, come pure un'usura delle parti a contatto.

ATTRITO DI STRISCIAMENTO O RADENTE

Dati due corpi che strisciano l'uno sull'altro, il loro coefficiente d'attrito dipende da tre parametri:

- velocità di strisciamento;
- pressione media di contatto;
- temperatura superficiale media.

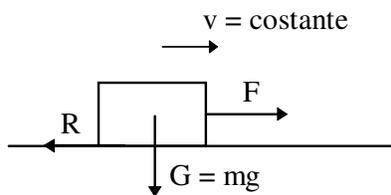
In condizione di quiete il coefficiente d'attrito detto anche coefficiente d'attrito statico o di primo distacco o di aderenza assume valori più elevati del coefficiente d'attrito in condizione di moto che viene chiamato coefficiente d'attrito cinetico. Da risultati sperimentali è noto che l'attrito cinetico diminuisce all'aumentare della velocità di strisciamento, all'aumentare della pressione di contatto e all'aumentare della temperatura. La dipendenza dalla temperatura può avere notevole importanza in alcune applicazioni, come freni e innesti di frizione, nelle quali si ha un notevole sviluppo di calore. Nella maggior parte delle applicazioni tecniche si può ritenere valida la legge di COULOMB secondo la quale il coefficiente d'attrito cinetico dipende soltanto dalla natura delle superfici a contatto e dalla loro condizione superficiale (rugosità, lubrificazione).

COEFFICIENTE D'ATTRITO RADENTE f PER SUPERFICI ASCIUTTE

Materiali a contatto	Coefficiente d'attrito statico	Coefficiente d'attrito cinetico
Acciaio su acciaio	0,15 ÷ 0,35	0,10 ÷ 0,15
Acciaio su ghisa o bronzo	0,20 ÷ 0,25	0,15 ÷ 0,20
Legno su metallo	0,50 ÷ 0,65	0,20 ÷ 0,50
Cuoio su metallo	0,60	0,25 ÷ 0,45
Gomma su metallo	0,80	0,50 ÷ 0,60
Ferodo su acciaio	--	0,50 ÷ 0,60

APPLICAZIONI SULL'ATTRITO RADENTE

MOTO UNIFORME SU PIANO ORIZZONTALE



R = resistenza d'attrito o attrito.

La resistenza d'attrito si calcola come prodotto tra il coefficiente d'attrito f (che dipende per la legge di Coulomb solo dalla natura delle superfici a contatto) e la forza premente N (cioè la componente del peso del corpo perpendicolare al piano di scorrimento).

La forza d'attrito ha sempre il verso opposto a quello del moto.

$$R = f \cdot N \quad \text{in questo caso } N = G \Rightarrow R = f \cdot G$$

Per mantenere il corpo in moto uniforme ($v = \text{costante}$, $a = 0$) si deve verificare la condizione:

$$F = R \Rightarrow F = f \cdot G$$

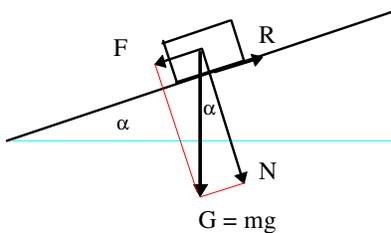
Per uno spostamento s del corpo il lavoro perduto o dissipato per attrito è il lavoro fatto dalla forza d'attrito che vale:

$$L_p = R \cdot s \quad (\text{J})$$

La potenza perduta o dissipata durante il moto del corpo è uguale alla potenza dissipata dalla forza d'attrito che vale:

$$P_p = R \cdot v \quad (\text{W})$$

EQUILIBRIO SU PIANO INCLINATO



F è la componente del peso del corpo che tende a farlo muovere.

N è la forza premente, componente del peso perpendicolare al piano di scorrimento.

$$F = G \cdot \sin \alpha$$

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$R = f \cdot N = f \cdot G \cdot \cos \alpha$$

Per l'equilibrio alla traslazione lungo il piano inclinato deve accadere:

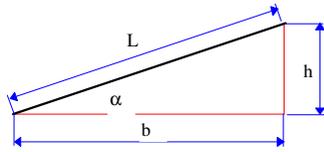
$$F \leq R \quad \text{quindi al massimo } F = R \quad (\text{condizione limite di equilibrio}) \Rightarrow F = R$$

$$G \cdot \sin \alpha = f \cdot G \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = f \cdot \cos \alpha$$

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tg} \alpha$$

Quindi il corpo sarà in equilibrio per valori del coefficiente d'attrito maggiori o uguali alla tangente dell'angolo che il piano inclinato forma con l'orizzontale.



$$\frac{h}{b} = \operatorname{tg} \alpha = i \text{ pendenza}$$

Spesso conviene introdurre un angolo fittizio chiamato angolo d'attrito la cui tangente è uguale al coefficiente d'attrito $f = \operatorname{tg} \varphi \Rightarrow \varphi = \operatorname{arctg} f$ φ angolo di attrito

Per cui l'espressione precedente

$$f = \operatorname{tg} \alpha \text{ diventa } \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \alpha \Rightarrow \varphi = \alpha$$

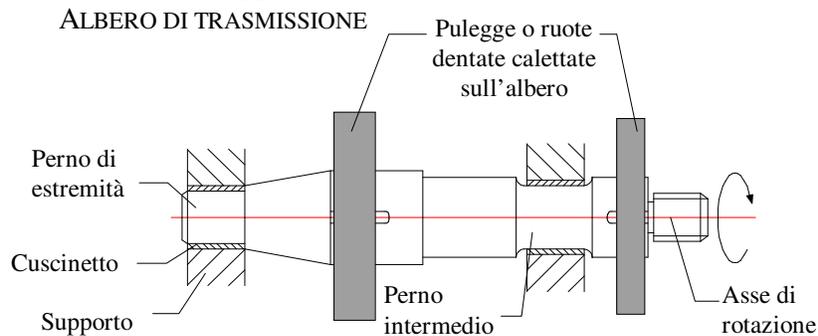
Si possono verificare i seguenti tre casi:

- 1) $f > \operatorname{tg} \alpha$ ($\varphi > \alpha$) il corpo rimane in quiete;
- 2) $f = \operatorname{tg} \alpha$ ($\varphi = \alpha$) il corpo se fermo rimane in quiete al limite dell'equilibrio, se in movimento continuerà il suo moto di tipo uniforme;
- 3) $f < \operatorname{tg} \alpha$ ($\varphi < \alpha$) il corpo si mette in movimento con moto uniformemente accelerato.

ATTRITO NEI PERNI

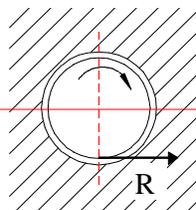
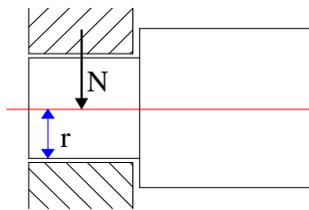
ALBERO DI TRASMISSIONE: organo meccanico rotante che ha la funzione di trasmettere o di ricevere potenza mediante altri organi rotanti montati (calettati cioè bloccati) su di esso.

L'albero, durante la sua rotazione, si mantiene nella posizione voluta poiché poggia, attraverso l'interposizione di cuscinetti, sui supporti.



PERNO: parte dell'albero a contatto con il cuscinetto; può essere d'estremità o intermedio.

PERNO PORTANTE: è un perno soggetto ad una forza premente N perpendicolare all'asse di rotazione dell'albero di trasmissione.



La forza d'attrito $R = f \cdot N$ risulta tangente al perno e con verso tale da creare un momento rispetto all'asse di rotazione che si oppone alla rotazione dell'albero:

$$M_R = R \cdot r = f \cdot N \cdot r \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

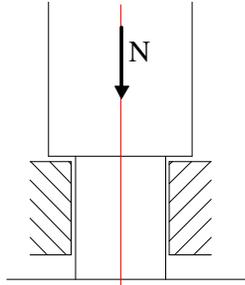
Il lavoro perduto per attrito è uguale al lavoro dissipato dal momento resistente M_R che vale:

$$L_p = M_R \cdot \alpha \quad (\text{J}) \text{ quindi per ogni giro dell'albero vale } L_p = M_R \cdot 2\pi \quad (\text{J})$$

La potenza perduta per attrito è uguale alla potenza dissipata dal momento resistente M_R che vale:

$$P_p = M_R \cdot \omega \quad (\text{W}) \quad \text{od anche in funzione del numero di giri } P_p = M_R \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (\text{W})$$

PERNO SPINGENTE: è un perno soggetto ad una forza premente N che giace sull'asse di rotazione dell'albero di trasmissione.

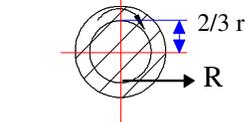


La forza d'attrito $R = f \cdot N$ giace sul piano di appoggio del perno, è applicata a $2/3$ del raggio del perno e con verso tale da creare un momento rispetto all'asse di rotazione che si oppone alla rotazione dell'albero:

$$M_R = R \cdot \frac{2}{3} r = f \cdot N \cdot \frac{2}{3} r \quad (\text{N} \cdot \text{m})$$

Il lavoro perduto per attrito è uguale al lavoro dissipato dal momento resistente M_R che vale:

$$L_p = M_R \cdot \alpha \quad (\text{J}) \quad \text{quindi per ogni giro dell'albero vale} \quad L_p = M_R \cdot 2\pi \quad (\text{J})$$



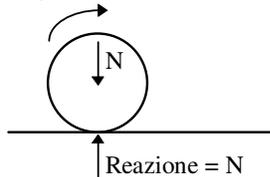
La potenza perduta per attrito è uguale alla potenza dissipata dal momento resistente M_R che vale:

$$P_p = M_R \cdot \omega \quad (\text{W}) \quad \text{od anche in funzione del numero di giri} \quad P_p = M_R \cdot \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (\text{W})$$

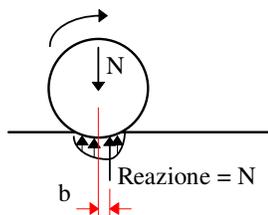
ATTRITO DI ROTOLAMENTO O VOLVENTE

Questo tipo di resistenza nasce tra organi di macchine a contatto lungo una linea (ad esempio fra un cilindro e un piano, fra due cilindri) o su un punto (ad esempio fra una sfera e un piano). Poiché i corpi a contatto sono deformabili, tale contatto avverrà sempre su una superficie più o meno grande in funzione della deformabilità dei corpi. Su questa superficie di contatto, la distribuzione delle pressioni di contatto non risulta simmetrica rispetto alla direzione della forza premente, ma le pressioni risulteranno maggiori dalla parte del senso del moto.

Corpi perfettamente rigidi (caso ideale)



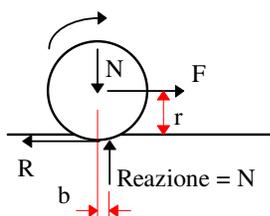
Corpi deformabili (caso reale)



La risultante delle pressioni non ha la stessa linea d'azione della forza premente N , ma è spostata in avanti nel senso del moto della distanza b (parametro dell'attrito volvente)

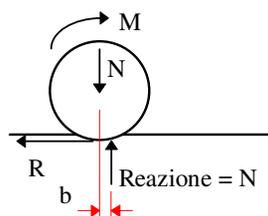
Per mantenere il rullo in rotazione uniforme è necessario applicare ad esso una forza parallela alla direzione di avanzamento (nel caso di rullo trainato) o una coppia (nel caso di rullo motore).

Rullo trainato



$$F \cdot r = N \cdot b \Rightarrow F = N \cdot \frac{b}{r}$$

Rullo motore



$$M = N \cdot b$$

In condizioni di moto uniforme è

$$F = R \quad \text{quindi:} \quad R = N \cdot \frac{b}{r}$$

Il rapporto $\frac{b}{r}$ è chiamato coefficiente

di attrito volvente $f_v = \frac{b}{r}$ che viene

determinato sperimentalmente \Rightarrow
 $R = f_v \cdot N$

Parametro dell'attrito volvente b (in mm)

Pneumatico su strada asciutta	5 ÷ 10
Acciaio su legno	1,5
Acciaio su ghisa	0,05 ÷ 0,5
Cerchione su rotaia	0,3 ÷ 0,5
Acciai temprati, rettificati	0,01
Acciai da cuscinetti volventi	0,0025 ÷ 0,01

Il valore di f_v è di solito molto piccolo e quindi il consumo di energia nel rotolamento è più piccolo rispetto al consumo di energia nel contatto di strisciamento. Ciò giustifica l'esteso uso degli organi rotolanti (ruote, rulli, sfere) nelle costruzioni meccaniche.