

DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE D'ATTRITO

Materiale utilizzato:

Dinamometro, asse di legno, parallelepipedo di legno.

Premessa teorica:

- **ATTRITO:** (o forza d'attrito) è una forza dissipativa che si esercita tra due superfici a contatto tra loro e si oppone al loro moto relativo. La forza d'attrito che si manifesta tra superfici in quiete tra loro è detta di *attrito statico*, tra superfici in moto relativo si parla invece di *attrito dinamico*.

Tipologia

Secondo l'interpretazione classica, esistono tre diversi tipi di attrito:

Attrito radente

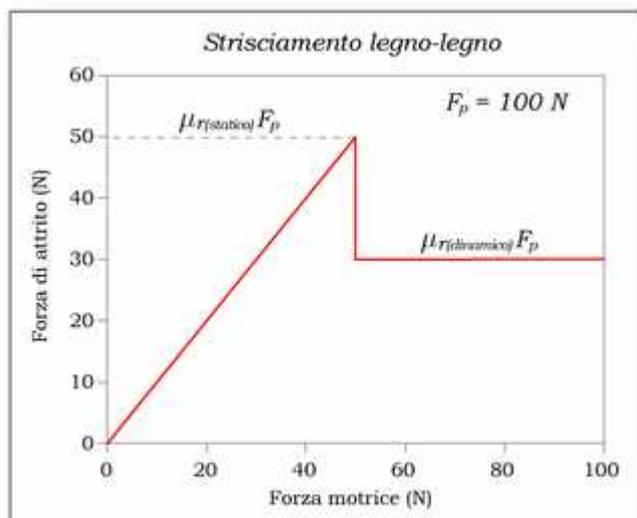


Grafico del valore della forza di attrito radente in funzione della forza applicata. Si noti il passaggio da attrito statico ad attrito dinamico, coincidente con l'inizio del moto del corpo

L'attrito radente è dovuto allo strisciamento (ad esempio, l'interazione tra due superfici piane che rimangono a contatto mentre scorrono l'una rispetto all'altra).

Ci sono diverse interpretazioni sulle cause di questa forza: la meccanica galileiana proponeva come causa dell'attrito radente le asperità tra le superfici a contatto; studi più

recenti hanno invece dimostrato che l'attrito radente è dovuto soprattutto a fenomeni di adesione (legami chimici) tra le molecole che compongono le superfici a contatto.

Si esercita tra le superfici di corpi solidi a contatto ed è espresso dalla formula:

$$F_r = \mu_r \cdot F_{\perp}$$

dove F_r è la forza di attrito radente, μ_r il **coefficiente di attrito radente** e F_{\perp} la componente perpendicolare al piano di appoggio della risultante delle forze agenti sul corpo. Per un corpo appoggiato su un piano orizzontale F_{\perp} è semplicemente uguale a F_p , forza peso del corpo; per un corpo appoggiato su un piano inclinato di un angolo α rispetto all'orizzontale risulta invece

$$F_{\perp} = F_p \cos \alpha$$

Il coefficiente d'attrito è una grandezza adimensionale e dipende dai materiali delle due superfici a contatto e dal modo in cui sono state lavorate. Esso corrisponde al rapporto tra la forza di attrito tra due corpi (F_r) e la forza che li tiene in contatto (F_{\perp}).

Superfici	μ_s	μ_d
Legno su legno	0,25 - 0,50	0,20
Acciaio su acciaio	0,74	0,57
Acciaio su acciaio lubrificato	0,11	0,05
Acciaio su alluminio	0,61	0,47
Acciaio su ottone	0,51	0,44
Acciaio su teflon	0,04	0,04
Acciaio su ghiaccio	0,027	0,014
Acciaio su aria	0,001	0,001
Rame su vetro	0,68	0,53
Vetro su vetro	0,9 - 1,0	0,4
Teflon su teflon	0,04	0,04
Gomma su asfalto asciutto	1,0	0,8
Gomma su asfalto bagnato	0,7	0,6
Legno sciogliato su neve	0,10	0,05

Il coefficiente di attrito statico μ_{rs} è sempre maggiore o uguale al coefficiente d'attrito dinamico μ_{rd} per le medesime superfici. Dal punto di vista microscopico, esso è dovuto alle forze di interazione tra gli atomi dei materiali a contatto. Questo implica che la forza necessaria al primo distacco (cioè per far sì che i corpi inizino a strisciare) è superiore a quella necessaria a tenerli in strisciamento. Il coefficiente di attrito statico è uguale alla tangente dell'angolo massimo raggiungibile tra le due forze prima che uno dei due corpi cominci a scivolare lungo l'altro (angolo di attrito).

La forza di attrito, definita dalla prima delle due formule scritte sopra, rappresenta la *forza di attrito massima* che si manifesta nel contatto tra due superfici. Se la forza motrice F_m è minore di $\mu_{rs} F_p$, allora l'attrito è pari a F_m e il corpo non si muove; se F_m supera $\mu_{rs} F_p$, il corpo inizia a muoversi; per valori di F_m ancora maggiori, l'attrito (dinamico) è sempre costante e pari a $\mu_{rd} F_p$.

Attrito volvente

Il rotolamento di norma è reso possibile dalla presenza di attrito radente statico tra la ruota e il terreno; se questo attrito non ci fosse, o fosse molto piccolo (come nel caso di un terreno ghiacciato), la ruota striscerebbe senza riuscire a compiere un rotolamento puro, nel qual caso entrerebbe subito in gioco l'attrito radente dinamico che si oppone allo slittamento e, riducendo progressivamente la velocità relativa fra i corpi striscianti, tende a ripristinare le condizioni di puro rotolamento. Un caso in cui il puro rotolamento può avvenire senza l'aiuto dell'attrito statico si ha quando una ruota che sta già rotolando su un piano orizzontale viene lasciata a sé stessa: in tal caso l'attrito statico assume il valore zero e solo l'attrito volvente può frenare il rotolamento è tale da ridurre simultaneamente e armonicamente sia la velocità di traslazione sia quella di rotazione della ruota in modo che il puro rotolamento si conservi fino a fine corsa.

Se si applica un momento alla ruota, essa inizia a rotolare senza strisciare fintanto che il momento applicato è minore di $R \cdot \mu_{rs} \cdot F_p$, dove R è il raggio della ruota. Se il momento supera questo valore, la forza motrice applicata alla superficie della ruota supera l'attrito statico massimo e la ruota slitta mentre rotola; è la classica "sgommata" ottenuta accelerando da fermi in modo repentino.

L'effetto dell'attrito volvente si può descrivere spostando leggermente in avanti, nel senso di moto, la reazione vincolare (in genere non perfettamente normale) esercitata dal piano di rotolamento sul corpo rotolante, di modo che tale reazione vincolare abbia non solo una componente contraria al moto traslatorio, ma anche un momento di forza rispetto all'asse di rotazione della ruota che si oppone al moto rotatorio. Una siffatta reazione vincolare è la sintesi schematica del campo di sforzi che sorgono e si distribuiscono sull'intera area di contatto (che non è mai veramente puntiforme o riducibile ad un segmento) tra la ruota e il terreno: la rotazione causa di fatto una deformazione dell'area di contatto e quindi una distribuzione delle forze di pressione, dovute alla forza peso, non uniforme su tutta la superficie di contatto; il risultato di queste interazioni si può riassumere dicendo che il piano di

rotolamento esercita sulla ruota una forza vincolare quasi-normale, rivolta verso l'alto e all'indietro rispetto al moto, la cui linea di applicazione di norma non passa per l'asse della ruota, di modo che tale forza produce sia una debole resistenza al moto traslatorio sia un debole momento torcente opposto al senso del rotolamento in atto. Quantitativamente, questo tipo di attrito è espresso da un'equazione simile alla precedente,

$$F_v = \mu_v \cdot F_{\perp}$$

A parità delle altre condizioni, la resistenza opposta dall'attrito volvente è tanto minore quanto maggiore è il raggio di curvatura del corpo che rotola.

Alcuni valori del coefficiente di attrito volvente.

Superfici	μ_v
Legno - legno	0,005
Acciaio - acciaio	0,06
Gomma - asfalto	0,035
Acciaio - Ghisa	0,05÷0,5
Ghisa - Ghisa	2
Acciaio - Legno	1,5
Pneumatico - Asfalto	5÷10
Ruota ferroviaria - rotaia	0,3÷0,5
Sfere rotolanti (cuscinetti)	0,0025÷0,01

Più in generale, il coefficiente di attrito volvente è all'incirca direttamente proporzionale al coefficiente di attrito statico e inversamente proporzionale al raggio della ruota.

Attrito viscoso

Quando un corpo si muove all'interno di un fluido (liquido o gas) è soggetto ad una forza di attrito dovuta all'interazione del corpo con le molecole del fluido. Tale forza di attrito è legata ad un numero adimensionale detto numero di Reynolds:

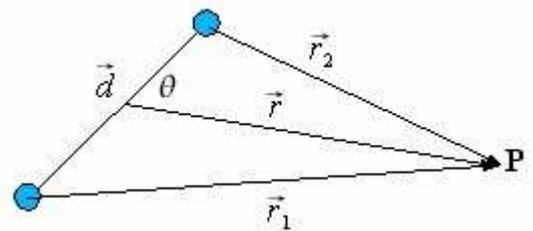
$$Re = \frac{2R_s v \rho}{\eta},$$

EFFETTI: Gli effetti dell'attrito sono la dispersione dell'energia meccanica (energia cinetica) in calore, il che riduce il rendimento del movimento, ma in alcuni casi questo attrito, può essere utile, qualora non si cerchi un movimento, ma un'adesione/controllo, soprattutto in ambito stradale, o nelle attività fisiche, permettendo gli spostamenti e azioni che altrimenti non sarebbero possibili, difatti la tenuta stradale e la camminata/passeggiata, sono possibili anche grazie all'attrito con il suolo.

- **FORZA:** veda relazione precedente
- **DINAMOMETRO:** strumento per la misurazione della forza. La sua struttura è molto semplice poiché è costituito da una molla con una scala graduata. L'unità di misura della forza indicata sulla scala può essere il kilogrammo, il newton o altre
- **FORZA DI WAN DER WAALS:** tipo di debole attrazione intermolecolare causata da *dipoli molecolari indotti*. Il nome viene dal fisico olandese Johannes Diderik van der Waals che osservò deboli forze attrattive dovute a perturbazioni della nuvola elettronica nei gas nobili.

Molecole complessivamente neutre sono soggette ad un'interazione elettrostatica, dovuta a fluttuazioni nella distribuzione delle cariche. Si tratta di forze attrattive "a lungo raggio" e repulsive "a corto raggio". Maggiori sono le dimensioni delle molecole di gas, maggiori sono queste forze, dato che aumenta il numero di elettroni che possono essere perturbati per formare dipoli indotti. Insieme al legame idrogeno queste forze sono responsabili dell'esistenza, a differenti temperature, dei tre stati di aggregazione della materia.

- **DIPOLO ELETTRICO:** sistema composto da due cariche elettriche uguali e opposte di segno. È uno dei più semplici sistemi di cariche che si possano studiare e rappresenta inoltre l'approssimazione basilare del campo generato da un insieme di cariche globalmente neutro tramite lo sviluppo in multipoli di quest'ultimo.



- ϵ_a , ϵ_r veda relazione precedente.
- **PROPAGAZIONE DEGLI ERRORI** veda relazione precedente.
- **NEWTON:** (simbolo: 'N') 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 *Conférence générale des poids et mesures* (conferenza generale dei pesi e delle misure) nel 1960. Viene definita come la quantità di forza necessaria per accelerare un chilogrammo di massa di un metro al secondo quadrato.

Le sue dimensioni in termini di unità base SI sono:

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

È inoltre l'unità di misura del peso, in quanto il peso è la forza che agisce tra due corpi a causa della gravità. Una massa di un chilogrammo, in prossimità della superficie terrestre, ha un peso di circa 9,81 newton, anche se questo valore varia per pochi decimi di punto percentuale nei vari punti della superficie terrestre. Per contro, su un corpo con una massa di 102 grammi la terra esercita una forza all'incirca di un newton. $1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$

Da non confondere quindi il concetto di peso (che è una forza espressa in newton) con la massa (espressa in chilogrammi). Formalmente quindi la frase «peso 70 kg» è scorretta: in realtà bisognerebbe dire «ho una massa di 70 kg», oppure «sul nostro pianeta peso 686.7 (approssimato: 687) newton».

- **VERSO:** vettore in uno spazio normato di modulo unitario, utilizzato per indicare una particolare direzione e verso.
- **SPAZIO NORMATO:** spazio vettoriale in cui ogni vettore ha definita una lunghezza (cioè una norma).
- **PIANO CARTESIANO:** veda relazione precedente
- **RAPPRESENTAZIONE DEGLI ERRORI ASSOLUTI SUL PIANO CARTESIANO:**
veda relazione precedente
- **PROPORZIONALITA' DIRETTA:** veda relazione precedente
- **ADESIONE E COESIONE :** l'insieme dei fenomeni fisico-chimici che si producono nell'attrazione molecolare tra due materiali di natura differente posti a contatto.

Mentre il termine "adesione" fa riferimento all'azione di attrazione tra molecole di tipo differente, il termine "coesione" fa riferimento all'azione di attrazione tra molecole di tipo eguale.

Nel caso dell'acqua, per esempio, con il termine "coesione" si indica la capacità delle molecole d'acqua di aggregarsi in gocce (grazie ai legami idrogeno), mentre l'adesione indica la capacità delle gocce d'acqua di rimanere "attaccate" alla superficie verticale di un contenitore (ad esempio una bottiglia) senza scivolare via.

PARALLELEPIPEDO: solido di legno a forma di parallelepipedo avente una delle sei facce ricoperta da un panno e un'altra delle sei è ricoperta da uno strato di plexiglass.
Massa: $=(196,56 \pm 0,01) \text{ g}$

DATI

$$M = (196,56 \pm 0,01) \text{ g} = (0,19656 \pm 0,00001) \text{ kg}$$

$$\text{Forza Peso} = (0,19656 \pm 0,00001) \cdot 9,8 = (1,92629 \pm 0,000098) \text{ N}$$

SVOLGIMENTO DELL'ESPERIENZA

Si pone il parallelepipedo sulla lastra di legno in modo tale che la parte di legno con spessore minore del parallelepipedo coincida con la lastra di legno, successivamente si misura

la forza di primo distacco grazie al dinamometro:

Legno su legno	1° Misura [N]	2° Misura [N]	3° Misura [N]
Superficie meno ampia	$0,6 \pm 0,01$	$0,6 \pm 0,01$	$0,65 \pm 0,01$

Si effettua le medie delle tre misurazioni:

$$\text{Media} = (0,6+0,6+0,65) : 3 = (1,85 \pm 0,03) : 3 = (0,62 \pm 0,01) \text{ N}$$

Ora si calcola il coefficiente d'attrito statico:

$$\mu_s = 0,62\text{N}/1,92629 = 0,321$$

$$0,321 \pm 0,005 \text{ (coefficiente d'attrito statico)}$$

$$E \mu_s = (E_{r1} + E_{r2}) \cdot \mu_s = (0,016 + 0,00005) \cdot 0,321 = 0,005$$

Ora si pone il parallelepipedo sulla lastra di legno in modo tale che la parte di legno con superficie maggiore del parallelepipedo coincida con la lastra di legno, successivamente si misura la forza di primo distacco grazie al dinamometro:

Legno su legno	1° Misura [N]	2° Misura [N]	3° Misura [N]
Superficie più ampia	$0,6 \pm 0,01$	$0,7 \pm 0,01$	$0,65 \pm 0,01$

Si effettua le medie delle tre misurazioni:

$$\text{Media} = (0,6+0,65+0,7) : 3 = (1,95 \pm 0,03) : 3 = (0,65 \pm 0,01) \text{ N}$$

Ora si calcola il coefficiente d'attrito statico:

$$\mu_s = 0,65\text{N}/1,92629 = 0,337$$

$$0,337 \pm 0,005 \text{ (coefficiente d'attrito statico)}$$

$$E \mu_s = (E_{r1} + E_{r2}) \cdot \mu_s = (0,015 + 0,00005) \cdot 0,34 = 0,005$$

Ora si pone il parallelepipedo sulla lastra di legno in modo tale che la parte ricoperta dal panno del parallelepipedo coincida con la lastra di legno, successivamente si misura la forza di primo distacco grazie al dinamometro:

Legno su panno	1° Misura [N]	2° Misura [N]	3° Misura [N]
	$0,8 \pm 0,01$	$0,8 \pm 0,01$	$0,75 \pm 0,01$

Si effettua le medie delle tre misurazioni:

$$\text{Media} = (0,8+0,8+0,75) : 3 = (2,35 \pm 0,03) : 3 = (0,78 \pm 0,01) \text{ N}$$

Ora si calcola il coefficiente d'attrito statico:

$$\mu_s = 0,78\text{N}/1,92629 = 0,405$$

0,405+0,005 (coefficiente d'attrito statico)

$$E \mu_s = (E_{r1}+E_{r2}) \cdot \mu_s = (0,012+0,00005) \cdot 0,405 = 0,005$$

Ora si pone il parallelepipedo sulla lastra di legno in modo tale che la parte ricoperta dal plexiglass del parallelepipedo coincida con la lastra di legno, successivamente si misura la forza di primo distacco grazie al dinamometro:

Legno su plexiglass	1° Misura [N]	2° Misura [N]	3° Misura [N]
	0,4 ± 0,01	0,35 ± 0,01	0,35 ± 0,01

Si effettua le medie delle tre misurazioni:

$$\text{Media} = (0,4+0,35+0,35) : 3 = (1,10 \pm 0,03) : 3 = (0,37 \pm 0,01) \text{ N}$$

Ora si calcola il coefficiente d'attrito statico:

$$\mu_s = 0,37\text{N}/1,92629=0,192$$

0,192+0,005 (coefficiente d'attrito statico)

$$E \mu_s = (E_{r1}+E_{r2}) \cdot \mu_s = (0,027+0,00005) \cdot 0,192=0,005$$

CONCLUSIONI

Abbiamo dimostrato che il coefficiente d'attrito non cambia al variare delle dimensioni di corpi da cui esso viene ricavato, ma cambia se i due corpi presi in considerazione sono ricoperti da materiali disuguali.