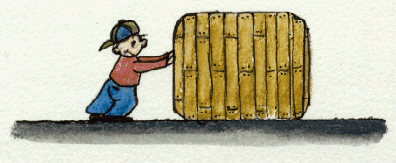
**FORZE DI ATTRITO**

**Tipi di attrito: statico (aderenza) e dinamico**

Le **forze d'attrito** sono tutte quelle forze che si oppongono al movimento relativo di 2 corpi a contatto: la forza d’attrito è perciò una forza di **contatto passiva**, ovvero generata dal semplice contatto tra due superfici e tale da opporsi al movimento di un corpo. L'attrito si manifesta sotto due forme:

* **attrito statico**: è una forza che impedisce il movimento di un corpo fintanto che la forza di trascinamento applicata al corpo non supera una certa soglia.
* **attrito dinamico**: è la resistenza che si contrappone al movimento di un corpo, rallentandolo e eventualmente fermarlo.

La **forza d'attrito dinamico** è presente quando un corpo è in movimento ed è diretta in verso contrario al moto (cioè opposta alla velocità).

L’**attrito statico** non ha un valore predefinito: può assumere tutti i valori fino a una certa “**soglia di rottura**" (**Aderenza**) in modo da mantenere il corpo su cui agisce immobile. Una volta che la spinta ha superato la soglia di rottura, cioè la spinta ha oltrepassato l’Aderenza, il corpo inizia a spostarsi e l’attrito da statico diventa dinamico. In altre parole, **l’Aderenza rappresenta la massima forza che l’attrito può esercitare per tenere bloccato il corpo**: o alternativamente, **l’Aderenza rappresenta la minima forza che è necessaria per spostare il corpo**.

**Tipi di movimento: attraverso fluido , strisciamento o rotolamento**

L’attrito statico o dinamico cambia a seconda se un corpo avanza **attraverso un fluido** (ad esempio una nave che si muove attraverso l’acqua o una piuma che scende attraversando l’aria) o se si muove **a contatto di una superficie solida**. Nel primo caso l’attrito si chiama **viscoso**: nel secondo caso si chiama **radente** o **volvente** a seconda se il corpo striscia o rotola sopra la superficie. Riassumendo, si distinguono tre tipi di attrito:

* **Radente**: quando due corpi strisciano l’uno sull’altro -su superficie solida-
* **Volvente**: quando un corpo rotola sulla superficie di un altro -su superficie solida-
* **Viscoso**: quando un corpo si muove in un fluido -attraverso un fluido-

L’attrito statico o dinamico si applica ad ognuno di questi tre tipi di movimento. In conclusione, gli attriti possono essere: statici-radenti o dinamici-radenti ; statici-volventi o dinamici-volventi ; statici-viscosi o dinamici-viscosi.

Figura 1: attrito radente (sopra) ; attrito volvente (centro) ; attrito viscoso (basso)

**ATTRITO SU SUPERFICIE SOLIDA**

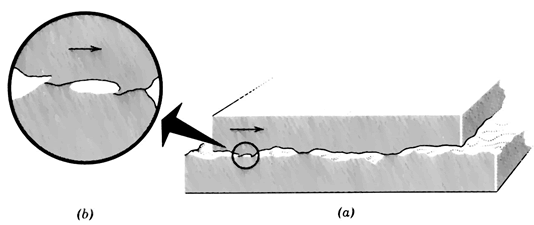
**Attrito statico radente (Aderenza)**

In particolare per l’**attrito radente**, si può verificare sperimentalmente che su un piano **l’Aderenzaè direttamente proporzionale alla forza premente F⊥** del corpo:

**Aderenza α F⊥ → Aderenza = μS⋅F⊥ (1)**

Questo significa che se raddoppiamo (triplichiamo) la forza premente F⊥ anche l’Aderenza raddoppia (triplica). La costante di proporzionalità **μS** prende il nome di **coefficiente di attrito statico** o **di aderenza**.

Sull’attrito statico c’è un altro esperimento molto interessante: proviamo a mettere un mattone dritto sulla faccia più piccola, in modo che l’area della superficie di contatto con il tavolo sia minore. Se quest’area più piccola è la metà di quella precedente, la forza di attrito si dimezza? No, la forza di attrito rimane essenzialmente la stessa, indipendentemente dalla’area della superficie di contatto.

In conclusione, **il coefficiente di aderenza μS varia soltanto a seconda delle caratteristiche delle superfici a contatto** (ma non dall’area della superficie, come già detto sopra).

A livello microscopico infatti la forza d'attrito è dovuta al fatto che le superfici a contatto non sono mai perfettamente lisce ma presentano delle irregolarità e delle rugosità che costituiscono un ostacolo per il movimento (figura 2). Maggiori sono queste irregolarità maggiore sarà il coefficiente di aderenza.

Figura 2: Due superfici a contatto (a), per quanto levigate, mostrano sempre delle aspe-rità che si incastrano una nell'altra (zoom in b)

Per riuscire a mettere in movimento un corpo dobbiamo riuscire a vincere preliminarmente la forza d'attrito statico, ossia dobbiamo riuscire ad applicare una forza F0 maggiore della Aderenza. Se invece la forza F0 è minore della forza d'attrito massima (F0 < Aderenza), allora la forza d'attrito statico è esattamente uguale ed opposta alla forza attiva F0 e il corpo rimane immobile. Da queste considerazioni risulta facile trovare una possibile procedura per misurare il coefficiente di aderenza: la forza di primo distacco (ossia la forza che dobbiamo applicare per mettere in movimento un corpo) coincide con la forza d'attrito massima possibile, cioè coincide con l’Aderenza. Misurando tale forza e la forza premente F⊥ dell'oggetto con un dinamometro, possiamo ricavarci il coefficiente d'aderenza dal seguente rapporto **μS = Aderenza/F⊥**. Essendo il coefficiente μS dato dal rapporto tra due forze, ossia tra due grandezze omogenee, il coefficiente di attrito statico è un **numero puro** (senza alcuna unità di misura).

**Attrito dinamico radente**

Una volta che siamo riusciti a mettere in movimento un oggetto spingendolo con una forza iniziale maggiore dell’Aderenza, la forza d'attrito non scompare dal momento che non possiamo pensare di aver eliminato del tutto le irregolarità tra le superfici a contatto. Permane una forza d'attrito dinamica Fd, proporzionale anch’essa alla forza premente:

**Fd α F⊥  → Fd = μd · F⊥ (2)**

Così come μS, anche il coefficiente dinamico μD è un **numero puro**. Quasi sempre μd ≠ μS , il che è ovvio visto che l’Aderenza e Fd sono due forze concettualmente del tutto differenti (la prima è la massima forza di attrito che è in grado di tenere immobile un oggetto, la seconda è la forza di rallentamento che agisce sull’oggetto in moto). Empiricamente, risulta che anche **l’attrito dinamico non dipende dall’area della superficie di contatto**; inoltre esso **non dipende nemmeno dalla velocità di scorrimento**, almeno entro certi limiti. Infatti, supponiamo di tirare un mattone con una velocità V0, poi con una velocità 2V0. Quale forza misuriamo in questo caso? Otteniamo che la forza di attrito dinamico è con buona approssimazione la stessa nei due casi e certamente non raddoppia se raddoppiamo la velocità.

In conclusione, così come per l’attrito statico, **il coefficiente dinamico μd dipende solo dalle caratteristiche delle superfici a contatto**.

**TABELLA DEI COEFFICIENTI DI ATTRITO**

Per fissare le idee, riportiamo nella seguente tabella i valori medi dei coefficienti di attrito statico e dinamico per una serie di superfici a contatto:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Materiale** | **Coefficiente Statico**  **Radente** | **Coefficiente Dinamico Radente** | |
|  | | | |
| **Acciaio su acciaio** | **0.74** | **0.57** | |
| **Acciaio su acciaio lubrificato** | **0.11** | **0.05** | |
| **Alluminio su acciaio** | **0.61** | **0.47** | |
| **Rame su acciaio** | **0.53** | **0.36** | |
| **Ottone su acciaio** | **0.51** | **0.44** | |
| **Vetro su vetro** | **0.94** | **0.40** | |
| **Rame su vetro** | **0.68** | **0.53** | |
| **Teflon su teflon** | **0.04** | **0.04** | |
| **Teflon su acciaio** | **0.04** | **0.04** | |
|  |  |  | |
|  |  |  | |
| **Gomma su cemento asciutto** | **0.65** | **0.5** | |
| **Gomma su cemento bagnato** | **0.4** | **0.35** | |
| **Gomma su ghiaccio asciutto** | **0.2** | **0.15** | |
| **Gomma su ghiaccio bagnato** | **0.1** | **0.08** | |
|  |  | |  | |
|  |  | |  | |

*Testo ripreso anche dai siti: “*[*http://www.oilproject.org/lezione/fisica-forza-attrito-statico-dinamico-radente-ceofficiente-tipi-contatto-7970.html*](http://www.oilproject.org/lezione/fisica-forza-attrito-statico-dinamico-radente-ceofficiente-tipi-contatto-7970.html)*”; “*[*http://digilander.libero.it/danilo.mauro/temi/attrito.html*](http://digilander.libero.it/danilo.mauro/temi/attrito.html)*”*

Un **secondo punto di vista** sulle forze di attrito lo puoi trovare su [questo link](https://it.openprof.com/wb/forze_di_attrito?ch=565):

( <https://it.openprof.com/wb/forze_di_attrito?ch=565> )-

**SEMPLICI PROBLEMI CON L’ATTRITO**

**Quesito1:** Una valigia con massa pari a 1500g è appoggiato su un pavimento orizzontale. Il coefficiente d’attrito statico è **μs = 0,50** e il coefficiente d’attrito dinamico è **μs = 0,30**. Qual è la minima forza necessaria a mettere in moto la valigia? [7,35N]. Riesco a spostare la valigia se le applico una forza di 4N? [No] E se le applico una forza di 6N? [Sì]

**Soluz:** La minima forza è l’**Aderenza = μS⋅F⊥** → Aderenza = 0,5⋅(1,5kg⋅9,8N/kg) = 5,51N. Perciò, se gli applico una forza di 4N il corpo non si sposta; con una forza di 6N riesco a muoverlo.

Se lancio la valigia con una velocità iniziale di 3m/s, quanto tempo impiega a fermarsi?

**Soluz:** la valigia è in movimento e perciò su di essa agisce la forza di attrito dinamico **Fd=μd⋅F⊥** →Fd= 0,30⋅(1,5kg⋅9,8N/kg) = 4,41N. La valigia perciò decelera con un’accelerazione **a//=Fd/M** → a// = 4,41N/1,5kg = 2,94m/s2. Il tempo di fermata è dato dalla formula:

**Vf = Vi + a//⋅Δt** → 0m/s = 3m/s + (-2,94m/s2)⋅Δt [“-“ perché a// è opposto a Vi] → **Δt=1,02s**

**Quesito2:** Per mettere in movimento un parallelepipedo di massa 3 kg posto su un piano orizzontale è necessario applicare una forza pari a 13 N. Sopra il parallelepipedo viene posto un ulteriore carico di 15 N. Qual è la forza che dobbiamo applicare per mettere in movimento il corpo? Il risultato cambia se appoggiamo il parallelepipedo sulla sua faccia di area minore? [20N , no]

**Soluz:**Per prima cosa a una massa m = 3 kg corrisponde una [**forza-peso**](http://digilander.libero.it/danilo.mauro/temi/massa1.html) pari a FP = F⊥ = 29.4N. La forza di **Aderenza** è 13N = μs·F⊥. Possiamo ricavarci facilmente il coefficiente di attrito statico **μs = Aderenza/F⊥** → μS=13 N/29.4 N=0.44

Quando aggiungiamo il carico di 15 N il peso totale diventa FP = F⊥ = (29.4 + 15) N = 44.4 N. Di conseguenza l’Aderenza = μs·F⊥ = 0.44 · 44.4 N = 20 N.

La forza d'attrito dipende unicamente dal peso dell'oggetto. Pertanto è del tutto ininfluente su quale faccia appoggiamo il parallelepipedo: la forza-peso rimane la stessa e anche la forza di primo distacco non cambia. Provare (con un dinamometro) per credere!

(quesito ripreso dal sito <http://digilander.libero.it/danilo.mauro/temi/attrito2.html>)

**Quesito3:** Un oggetto con massa pari a 2500g è appoggiato su un pavimento orizzontale. Il coefficiente d’attrito statico è **μs = 0.80** e il coefficiente d’attrito dinamico è **μs = 0.60**. Determinare la forza d’attrito statico o dinamico (Fs o Fd) che agisce sulla scatola se le viene applicata una forza orizzontale FA d’intensità:

a) FA=0 ; b) FA=10N ; c) FA=15N ; d) FA=18N ; e) FA=40N.

**Soluz:** F⊥ = m⋅g = 24.5 N → **Aderenza = μs⋅F⊥ = 19.6N.**

1. Non essendo applicata alcuna forza, il corpo non si muove e quindi è nulla la componente orizzontale è Fs = 0N.
2. La forza di attrito statico si opporrà a qualsiasi forza venga applicata fino a un massimo di. La forza applicata è FA = 10N < Aderenza, perciò la scatola non si muoverà: l’attrito statico è opposto alla forza spingente (cioè opposto a FA) e perciò Fs = 10N.
3. Una forza di 15N non è sufficien
4. te a muovere la scatola, perciò Fs = 15N.
5. Anche la forza di 18N non è sufficiente a spostare la scatola! Fs=18N.
6. Una forza di 4N metterà in movimento la scatola, poiché supera il massimo della fora di attrito statico. L’oggetto inizia a muoversi e l’attrito diventa dinamico di intensità Fd=μd⋅F⊥=14.7N. La risultante delle forze applicate adesso alla scatola ha un’intensità FTOT=40N-14.7N = 5.3N

(quesito ripreso dal sito: <http://www.unite.it/UniTE/Engine/RAServeFile.php/f/File_Prof/BATTISTA_1444/Esercizi_Biofisica.pdf>)