

## L'attrito statico

Peruzzotti Mattia, 1<sup>a</sup> A

8 marzo e 15 marzo 2021

In collegamento audio e video da remoto con il laboratorio di fisica n°1 del Liceo Viale dei Tigli "Leonardo da Vinci" di Gallarate

### Scopo: Misura sperimentale del coefficiente di attrito statico tra due corpi

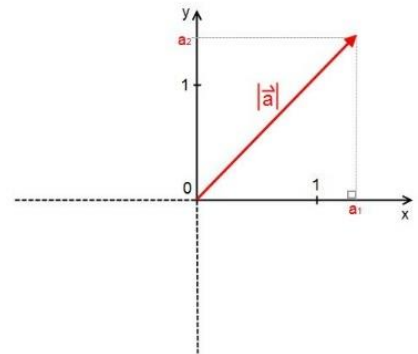
#### Materiale utilizzato

- Dinamometro con portata di 1 N e sensibilità di 1 cN
- Guida (o asta) di legno Douglas
- Blocco di legno ricoperto di diversi materiali
- Asta millimetrata con portata di 1 m e sensibilità di 1mm



#### Premessa teorica

Nel nostro esperimento utilizzeremo **grandezze fisiche** differenti. Queste ultime possono essere di vari tipi, le principali sono: grandezze scalari, grandezze vettoriali e grandezze tensoriali. Le **grandezze scalari** si esprimono utilizzando un solo numero (ne è un esempio la temperatura). Le **grandezze vettoriali**, invece, sono caratterizzate da un punto di applicazione, da una direzione, da un verso e da un modulo; le grandezze vettoriali vengono misurate tramite i vettori (la forza e l'attrito, per esempio, sono delle grandezze vettoriali). I vettori vengono rappresentati come frecce, il loro modulo (rappresentato con una freccia sopra al valore ( $\vec{x}$ ) indica la lunghezza; la direzione, invece, indica la retta d'appartenenza e il verso il "senso di percorrenza". Il punto di applicazione di un vettore (il punto di partenza) prende il nome di coda, mentre il punto in cui il vettore termina prende il nome di punta.



Le operazioni tra i vettori vengono svolte tramite il piano cartesiano (invenzione attribuita al filosofo e matematico francese Cartesio da cui il nome). Il riferimento cartesiano è costituito da due rette ortogonali (chiamate assi) tra loro perpendicolari che si intersecano in un punto chiamato origine. La retta orizzontale è detta asse delle ascisse e viene indicata con la lettera "x", la retta verticale è detta asse delle ordinate ed è rappresentata tramite la lettera "y". Lo spazio viene suddiviso in quattro quadranti di cui il primo caratterizzato da punti di ascissa e ordinata positivi. I moduli vengono rappresentati in questi grafici tramite le componenti (chiamate comunemente coordinate). Un vettore di modulo  $\vec{a}$  viene rappresentato tramite le componenti  $a_x$  e  $a_y$ . Il vettore  $\vec{a}$  può essere anche scomposto secondo le due rette del piano: disegnando le parallele degli assi "x" e "y" (che si intersecano nella punta del vettore) otteniamo i componenti del vettore  $\vec{a}$ , ovvero  $\vec{a}_x$  e  $\vec{a}_y$ .

Bisogna prestare attenzione alla differenza tra i componenti (grandezze vettoriali) e le componenti (grandezze scalari).

Dati due vettori si può calcolare la **somma** tramite la risultante. La somma vettoriale si può stabilire secondo due metodi: il metodo punta-coda e il metodo del parallelogramma.

La somma di due vettori viene detta nulla se hanno la stessa direzione, verso opposto e modulo identico.

Bisogna ricordarsi che se nelle grandezze scalari la somma tra 3 e 4 è pari a 7, nelle grandezze vettoriali la somma tra i medesimi numeri sarà  $\vec{3} + \vec{4} = \vec{5}$ .

Date le componenti si possono svolgere tutte le operazioni basandosi sui dati riferiti agli assi delle "x" e i dati dell'asse delle "y", per esempio la somma di due vettori che hanno componenti (4; 6) e (5; 9) sarà [(4+5); (6+9)] ovvero (9; 15).

Quando rappresentiamo i vettori in un piano cartesiano chiamiamo **argomento** l'angolo compreso tra il vettore e l'asse delle ascisse. Dato l'argomento e il modulo del vettore possiamo facilmente ricavare le componenti del vettore tramite due funzioni trigonometriche. Per calcolare la componente "x" bisogna moltiplicare il modulo del vettore per il **coseno** (indicato con COS) dell'angolo compreso (ovvero l'argomento); per calcolare, invece, la componente "y" di un vettore bisogna moltiplicare il modulo del vettore per il **seno** (indicato con SIN) dell'argomento.

L'argomento, invece, viene stabilito tramite un'altra funzione trigonometrica, la formula afferma che bisogna calcolare la **tangente** elevata alla -1 del rapporto tra la componente "y" e "x" di un vettore.

Le funzioni trigonometriche appena citate vengono utilizzate anche nei calcoli riguardanti il piano inclinato.

La **moltiplicazione** tra vettori, invece, può essere eseguita tramite due prodotti differenti: il prodotto scalare e il prodotto vettoriale.

La **forza** è una grandezza fisica vettoriale che si indica con  $\vec{F}$ . La forza viene misurata in Newton (nome derivato dallo scienziato Isaac Newton 1642-1727). Esistono vari tipi di forze, ma, nel nostro esperimento, faremo uso della forza di attrito e della forza peso.

La **forza peso** (indicata come  $\vec{P}$ ), invece, corrisponde all'accelerazione di gravità (indicata con  $\vec{g}$ ), ovvero la forza con cui la massa "è attirata". Questo valore varia a seconda di dove ci si trova: sulla terra  $\vec{g} = 9,8 \frac{N}{kg}$ ; sulla luna  $\vec{g} = 1,6 \frac{N}{kg}$ . Per calcolare la forza peso, quindi, si utilizza la seguente formula:  $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$ , forza peso uguale al prodotto tra massa e accelerazione di gravità.

La **forza di attrito** è una forza di adesione che si viene a creare quando due oggetti entrano in contatto. Ogni oggetto è ruvido (ovvero formato da gole e "montagne", visibili solo con i microscopi più precisi), quando si appoggia un oggetto sopra ad un altro questi si incastrano. L'attrito dipende dalle rugosità delle superfici. Il punto dove i due corpi si toccano prende il nome di interfaccia. Ogni superficie ruvida (quindi dotata di attrito) prende il nome di superficie scabra.

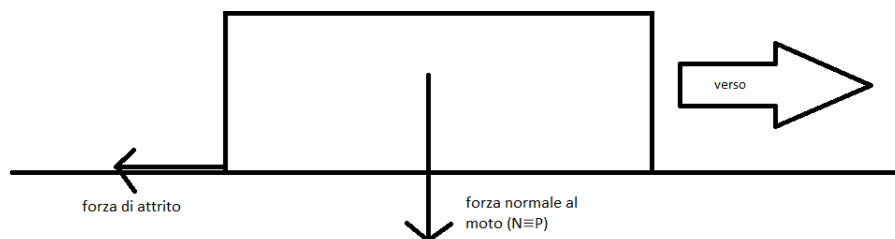
Le **forze di adesione** (ovvero gli attriti) possono essere di tre tipi: l'**attrito radente** (dal latino "rado") si esercita tra due superfici (con due corpi solidi) e si parla di strisciamento; l'attrito volvente (dal latino "volvo") si ha tra due corpi che ruotano, ovvero il rotolamento ed infine l'attrito viscoso, con due diversi liquidi oppure con un liquido e con un solido. L'attrito radente ha una forza di adesione maggiore, mentre l'attrito viscoso ha una forza di adesione minore.

Esistono metodi che permettono di passare da un attrito ad un altro, come i cuscinetti a sfera che trasformano l'attrito radente in attrito volvente, diminuendo quindi la forza di adesione.

L'attrito radente, a sua volta, può essere suddiviso in **attrito radente statico** (indicato con la lettera s) e attrito radente dinamico (indicato con la lettera d). L'attrito radente statico è la forza da vincere

per mettere in moto un oggetto; l'attrito radente dinamico, invece, è la forza da vincere per mantenerlo in moto. Se un corpo è fermo l'attrito sarà pari a 0.

La forza di attrito è direttamente proporzionale alla **forza normale al moto**, ovvero alla forza perpendicolare al moto che, su un piano orizzontale, corrisponde alla forza peso e su un piano inclinato è la forza premente ( $\vec{F}_a \propto \vec{N}$ ). Quando un oggetto viene trascinato su una superficie, la forza normale al moto è perpendicolare alla superficie, la forza di attrito (disegnata all'interfaccia), invece, è opposta al verso con il quale l'oggetto striscia.

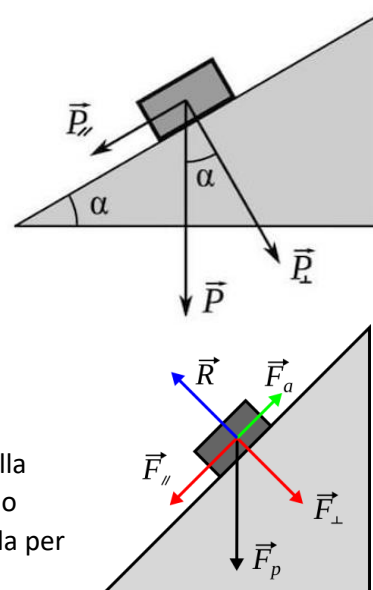


Quando si parla di proporzionalità diretta è sempre presente un coefficiente, in questo caso, il **coefficiente di attrito** viene indicato con la lettera greca  $\mu$  ( $\mu_s$  per l'attrito statico e  $\mu_d$  per l'attrito dinamico). Possiamo quindi dire che  $F_a = \mu_s N$ , la forza di attrito è uguale al prodotto tra il coefficiente di attrito statico e il peso del corpo. Il coefficiente di attrito statico dipende dai materiali dei due corpi a contatto.

Da questa formula possiamo quindi ricavare la formula inversa  $\mu_s = \frac{F_a}{N}$ , ovvero il coefficiente di attrito statico è pari al rapporto tra la forza di attrito e la forza normale al moto (ovvero  $mg$ ). Possiamo anche dire che il coefficiente di attrito statico non ha alcuna unità di misura perché sia  $\vec{F}_a$  che  $\vec{N}$  vengono misurate in Newton, eseguendo il rapporto tra le medesime unità di misura, queste si annullano.

Nell'esperimento da noi svolto la forza di attrito prenderà il nome di forza di primo distacco ( $F_{1d}$ ), ovvero la forza necessaria per mettere in movimento il corpo.

Quando lavoriamo con un *piano inclinato*, invece, bisogna prestare attenzione perché la forza normale al moto non corrisponderà più alla forza peso, bensì alla forza peso moltiplicata per il coseno dell'angolo compreso (nell'immagine corrisponde all'angolo  $\alpha$ ), quindi la formula per il calcolo di  $\vec{F}_a$  sarà:  $F_a = \mu_s P_{\perp}$ , ovvero  $F_a = \mu_s (mg \cos \alpha)$ .



Possiamo quindi notare che l'oggetto posto sul piano inclinato rimane in equilibrio solo se  $P_{//}$  ( $P_{//}$  parallelo, indicato nell'immagine come  $\vec{F}_{//}$ ) è minore della forza di attrito statico  $\vec{F}_a$ . Questa condizione prende il nome di condizione di equilibrio ( $\vec{F}_{//} < \vec{F}_a$ ). Dalla precedente formula possiamo quindi ricavare che  $mg \sin \alpha < \mu_s (mg \cos \alpha)$  perché  $P_{//}$  è uguale a  $mg \sin \alpha$  e la formula di  $\vec{F}_a$  è riportata sopra. Riducendo la precedente formula troviamo che  $\mu_s > \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$ , conoscendo che il rapporto tra le due funzioni è pari a  $\tan \alpha$  (tangente) possiamo dire che  $\mu_s > \tan \alpha$ . Se  $\tan \alpha$  è maggiore allora il corpo scivola.

Si definisce angolo di attrito quell'angolo  $\alpha_s$  (nel caso di attrito statico) la cui tangente è esattamente uguale al coefficiente di attrito statico ( $\tan \alpha_s = \mu_s$ ). E quindi possiamo affermare che l'angolo di attrito è pari alla tangente elevato alla -1 (operazione inversa alla tangente) del coefficiente di attrito statico,  $\alpha_s = \tan^{-1} \mu_s$ . L'angolo di attrito (indicato con  $\alpha_s$ ) deve essere maggiore della pendenza del piano (indicata con  $\alpha$ ).

Nell'esperimento faremo uso di una guida (che nella seconda parte dell'esperimento diventerà un piano inclinato) di legno Douglas, simile al compensato formato da truciolato e pasta di legno. Useremo un blocco di legno ricoperto su due facce da diversi materiali, quali il feltro ed il plexiglass (materia plastica formata da polimeri termoplastici). Infine utilizzeremo un dinamometro, che misura l'intensità di una forza e sfrutta l'elasticità (forza elastica). Lo strumento è composto da una molla a cui bisogna agganciare la massa che, per effetto dell'attrazione gravitazionale deformerà la molla allungandola. Misurando l'allungamento in una scala graduata è possibile risalire alla intensità della forza che ha determinato l'allungamento. Grazie alla legge di Hooke possiamo dire che se si raddoppia il peso (e quindi la forza), raddoppia anche l'allungamento della molla; queste due variabili, infatti, sono legate da una relazione di proporzionalità diretta.



### Esecuzione dell'esperienza

Il giorno 8 e 15 marzo 2021, in collegamento dalle proprie abitazioni con la prof.ssa Antonella Demarchi (responsabile del laboratorio n°1 di fisica del liceo), abbiamo eseguito la nostra settima esperienza in laboratorio con l'aiuto del prof.re Franco Maria Boschetto, con l'obiettivo di calcolare i coefficienti di attrito statico di diversi materiali.

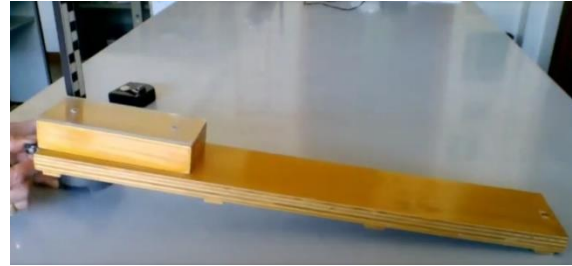
Dopo un'introduzione generale dell'argomento, la professoressa De Marchi ci ha presentato il materiale che avremmo utilizzato durante l'esperimento. Per poi iniziare con l'esperimento vero e proprio.

1. Inizialmente abbiamo misurato la massa del blocco di legno, ottenendo come risultato 206,73 grammi.
2. Abbiamo posto il blocco di legno sulla guida e agganciato il dinamometro tramite il rampino posto sul blocco.
3. La prof.ssa Demarchi ha tirato il dinamometro in modo tale da far muovere il blocco, trovando così la forza di primo distacco.
  - a. Inizialmente abbiamo posto la faccia di legno maggiore sulla guida, ripetendo cinque volte le misurazioni.
  - b. Dopodiché abbiamo posto la faccia di legno maggiore sulla guida e abbiamo rimisurato cinque volte la forza di primo distacco.
  - c. Successivamente abbiamo posto la faccia con il plexiglass sull'asta e misurato di nuovo.
  - d. Infine, abbiamo messo il blocco con la faccia di feltro sulla guida, trovando la forza di primo distacco.
4. Dopo aver compiuto cinque misurazioni per ogni faccia abbiamo organizzato ed elaborato i dati.



5. Seguentemente abbiamo voluto ripetere l'esperimento tramite un piano inclinato.

- a. Abbiamo utilizzato la base dell'asta millimetrata come piedistallo e ci abbiamo posto sopra un'estremità della guida.



6. Abbiamo misurato la lunghezza dell'asta ottenendo come risultato 49,9 cm.

7. Successivamente abbiamo misurato l'altezza dell'asta che permetteva il distacco del blocco:

- a. Abbiamo posto il blocco sopra alla guida
- b. Abbiamo alzato l'asta lentamente in modo tale da mettere in movimento il blocco, stando attenti a prendere il valore più preciso possibile.

8. Come fatto in precedenza abbiamo eseguito lo stesso procedimento con tutte le superfici, ripetendolo più di una volta. Dopodiché abbiamo elaborato i dati.

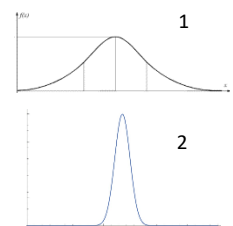
### Dati e la loro elaborazione

Per il primo esperimento dobbiamo calcolare il coefficiente di attrito statico su un'asta orizzontale. I dati raccolti dalle cinque misurazioni per ogni superficie sono riportati nella tabella.

	1ª misurazione	2ª misurazione	3ª misurazione	4ª misurazione	5ª misurazione
Legno su legno (maggiore)	0,59 N	0,51 N	0,59 N	0,55 N	0,59 N
Legno su legno (minore)	0,45 N	0,45 N	0,55 N	0,59 N	0,59 N
Legno su plexiglass	0,55 N	0,39 N	0,39 N	0,55 N	0,45 N
Legno su feltro	0,44 N	0,42 N	0,44 N	0,44 N	0,43 N

Inizialmente avevamo ipotizzato che i valori ottenuti dalle misurazioni di "legno su legno (maggiore)" e "legno su legno (minore)" fossero simili, perché l'attrito dipende dai materiali e non dalla superficie interessata. Ma non è così perché le superfici possono essere sporche e, di conseguenza, le misurazioni non possono essere mai precise.

Infatti, nell'esperimento svolto, abbiamo raccolto dati meno precisi (ovvero con un range maggiore) che possono essere rappresentati come nella figura 1, parliamo quindi di stima di valori; ma anche dati precisi, rappresentati tramite una gaussiana più stretta, come nell'immagine 2, solo in questo caso possiamo parlare di misura.



Successivamente abbiamo calcolato la media delle misure, ottenendo come risultati:

Legno su legno (maggiore)	Legno su legno (minore)	Legno su plexiglass	Legno su feltro
0,566 N	0,526 N	0,466 N	0,434 N

I valori ottenuti corrispondono quindi ad una media della forza di primo distacco ( $\overline{F_{1d}}$ ).

Successivamente siamo stati in grado di calcolare il coefficiente di attrito statico attraverso la seguente formula:  $\mu_s = \frac{\overline{F_{1d}}}{P}$ . Ricordandoci che il peso del blocco è pari a 206,73 grammi, possiamo procedere con i calcoli

$$206,73g = 0,2 \text{ kg} ; P = 0,2 * 9,8 = 1,96$$

$$\mu_s = \frac{0,566 \text{ N}}{1,96 \text{ N}} = 0,288 \rightarrow \text{Legno su legno (superficie maggiore)}$$

$$\mu_s = \frac{0,526 \text{ N}}{1,96 \text{ N}} = 0,268 \rightarrow \text{Legno su legno (superficie minore)}$$

$$\mu_s = \frac{0,466 \text{ N}}{1,96 \text{ N}} = 0,238 \rightarrow \text{Legno su plexiglass}$$

$$\mu_s = \frac{0,434 \text{ N}}{1,96 \text{ N}} = 0,221 \rightarrow \text{Legno su feltro}$$

Per il secondo esperimento dobbiamo calcolare il coefficiente di attrito statico su un piano inclinato. I dati raccolti dalle cinque misurazioni per ogni superficie sono riportati nella tabella. I dati riportati (diversamente dal primo esperimento), si riferiscono all'altezza del piano inclinato.

	1ª misurazione	2ª misurazione	3ª misurazione	4ª misurazione	5ª misurazione
Legno su legno (maggiore)	13,5 cm	15,0 cm	13,6 cm	14,6 cm	14,7 cm
Legno su legno (minore)	13,4 cm	15,0 cm	12,9 cm	14,2 cm	14,9 cm
Legno su plexiglass	16,4 cm	16,5 cm	15,5 cm	15,5 cm	17,0 cm
Legno su feltro	13,2 cm	12,4 cm	12,4 cm	12,2 cm	12,2 cm

Dopodiché abbiamo calcolato la media delle misure, ottenendo come risultati:

Legno su legno (maggiore)	Legno su legno (minore)	Legno su plexiglass	Legno su feltro
14,28 cm	14,08 cm	16,18 cm	12,48 cm

Abbiamo trovato così l'altezza minima media con il quale il corpo posto sopra al piano inizia a scivolare.

Sapendo che l'altezza del piano inclinato è uguale al prodotto tra la lunghezza e il seno dell'angolo compreso ( $h = l \sin \alpha$ ), possiamo dedurre che il seno dell'angolo compreso è pari al rapporto tra l'altezza minima e la lunghezza ( $\sin \alpha = \frac{h}{l}$ ).

Successivamente si può procedere con il calcolo di  $\mu_s$  in due modi:

- Calcolando  $\alpha_{min}$  tramite  $\sin^{-1} \alpha$  e successivamente calcolando  $\mu_s$  tramite la tangente  $\tan \alpha_{min}$
- Calcolando  $\tan \alpha_{min}$  come  $\tan \alpha = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}$

Sono riportati i calcoli eseguiti per trovare  $\mu_s$ .

$$- \sin \alpha = \frac{\bar{h}}{l} = \frac{14,28 \text{ cm}}{49,9 \text{ cm}} = 0,286 ; \quad \alpha_{min} = \sin^{-1} 0,286 = 16,6^\circ$$

$$\mu_s = \tan \alpha_{min} = \tan 16,6^\circ = 0,299$$

$$- \sin \alpha = \frac{\bar{h}}{l} = \frac{14,08 \text{ cm}}{49,9 \text{ cm}} = 0,282 ; \quad \alpha_{min} = \sin^{-1} 0,282 = 16,4^\circ$$

$$\mu_s = \tan \alpha_{min} = \tan 16,4^\circ = 0,294$$

- $\sin \alpha = \frac{\bar{h}}{l} = \frac{16,18 \text{ cm}}{49,9 \text{ cm}} = 0,324$  ;  $\alpha_{min} = \sin^{-1} 0,324 = 18,9^\circ$   
 $\mu_s = \tan \alpha_{min} = \tan 18,9^\circ = 0,343$
- $\sin \alpha = \frac{\bar{h}}{l} = \frac{12,48 \text{ cm}}{49,9 \text{ cm}} = 0,250$  ;  $\alpha_{min} = \sin^{-1} 0,250 = 14,5^\circ$   
 $\mu_s = \tan \alpha_{min} = \tan 14,5^\circ = 0,258$

Nella tabella sottostante sono riportati i risultati dei coefficienti statici dei diversi casi:

Legno su legno (maggiore)	Legno su legno (minore)	Legno su plexiglass	Legno su feltro
0,299	0,294	0,343	0,258

## Conclusione

Con l'esperimento da noi svolto siamo stati in grado di calcolare il coefficiente di attrito statico tra due corpi, con materiali diversi in ogni caso. Dai calcoli effettuati possiamo notare che su un'asta orizzontale l'attrito maggiore di verifica con "legno su legno (superficie maggiore)"; su un piano inclinato, invece, l'attrito maggiore si ha con "legno su plexiglass".