

## Esperienza 6

# Misura del coefficiente di attrito statico e dinamico con il sensore *online* di forza

**Obiettivi** - Comprendere la natura delle forze di attrito statico e attrito dinamico.

**Concetti** - Leggi di Newton; attrito; forze di attrito.

**Materiali e Strumenti** - Sensore di forza; interfaccia sensore-computer; blocchi di legno.

### 6.1 Cenni teorici

L'attrito si manifesta come una forza che si oppone allo scorrimento di due superfici a contatto, in seguito all'azione di una forza esterna. Fin quando le superfici sono ferme l'una rispetto all'altra, la forza di attrito è di tipo *statico*; quando invece le due superfici sono in moto relativo l'una rispetto all'altra, la forza di attrito è di tipo *dinamico*. La forza di attrito massima  $F_a^{max}$  che si esercita tra le due superfici, ancora ferme, è proporzionale alla forza normale  $N$

$$F_a^{max} = \mu_s N, \quad (6.1)$$

dove  $\mu_s$  è il coefficiente di attrito statico ed  $N$  è la forza normale esercitata dal piano sul corpo.

La forza di attrito  $F_a$  che si esercita tra le due superfici in movimento è proporzionale alla forza normale  $N$

$$F_a = \mu_d N, \quad (6.2)$$

dove  $\mu_d$  è il coefficiente di attrito dinamico.

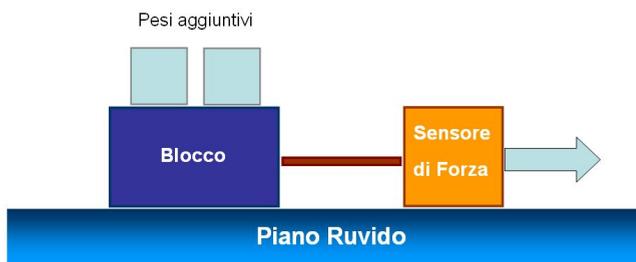
Con la diffusione dei personal computer e l'elettronica digitale, diverse aziende hanno sviluppato vari dispositivi che permettono di usare il computer come strumento di misura, per mezzo di sensori di rivelazione collegati direttamente ad esso. Con questi dispositivi si può realizzare un'ampia varietà di esperimenti in cui l'acquisizione dei dati sperimentali avviene in modo praticamente indipendente dall'operatore e, spesso, con elaborazione e visualizzazione istantanea dei dati acquisiti; per questo motivo, questi dispositivi sono chiamati sensori *online*. La misurazione del coefficiente di attrito statico e dinamico può essere realizzata agevolmente per mezzo dei sensori *online*. In particolare, per questa esperienza useremo il sensore di forza della Vernier<sup>1</sup>, come quello mostrato in Figura 6.1a.

## 6.2 Attività, misure e calcoli

L'esperienza viene eseguita agganciando il sensore di forza a un blocco di legno di massa  $M$ , come mostrato in Figura 6.1b, e tirando il sensore in modo uniforme, senza scossoni, fintantoché esso non comincia a muoversi sotto l'azione della forza esercitata dalla nostra mano. Con il sensore collegato al computer si rilevano i valori della forza che il blocco esercita sul sensore a partire da quando si incomincia a tirare il blocco.



(a) Sensore di forza



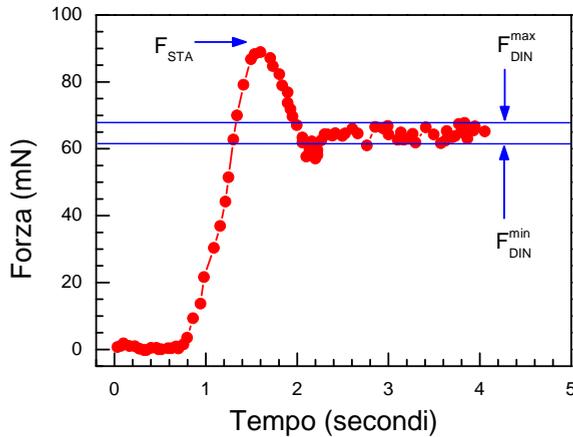
(b) Schema

**Figura 6.1:** (a) Immagine del sensore di forza della Vernier usato per realizzare l'esperienza; (b) schema della procedura seguita per misurare i coefficienti di attrito statico e di attrito dinamico con il sensore di forza.

In Figura 6.2 sono riportati, come esempio, i dati ottenuti in un esperimento condotto in precedenza. Dal grafico della forza in funzione del tempo si ricavano i valori della forza di attrito statico  $F_{STA} \approx 90 \times 10^{-3}$  N, della forza di attrito

<sup>1</sup>Vernier è un marchio registrato, tutti i diritti sono riservati - <http://www.vernier.com>

dinamica massima  $F_{DIN}^{max} = 68 \times 10^{-3}$  N e della forza di attrito dinamico minima  $F_{DIN}^{min} = 62 \times 10^{-3}$  N.



**Figura 6.2:** Andamento della forza di attrito in funzione del tempo, a partire da quando si incomincia a tirare il blocco.  $F_{STA}$  indica la forza di attrito statico;  $F_{DIN}$  indica la forza di attrito dinamico.

Con i due valori della forza di attrito dinamico calcoliamo il valore medio

$$F_{DIN} = \frac{F_{DIN}^{min} + F_{DIN}^{max}}{2} = 65 \times 10^{-3} \text{ N.} \quad (6.3)$$

Conoscendo il peso del corpo  $P = Mg = (15 \times 10^{-3}) \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$ , possiamo determinare il coefficiente di attrito statico come

$$\mu_s = \frac{F_{STA}}{Mg} = \frac{90 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-3} \times 9.81} = 0.61. \quad (6.4)$$

Per determinare il valore migliore del coefficiente di attrito statico e la sua indeterminazione, bisogna fare molte misurazioni nelle stesse condizioni e quindi calcolare il valore medio e la deviazione standard della media<sup>2</sup>. La deviazione standard della media  $\sigma_{\bar{x}}$  è definita come:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N(N-1)}}.$$

<sup>2</sup>Per una discussione più approfondita su questo argomento si veda: J.R. TAYLOR, *Introduzione all'Analisi degli Errori*, Zanichelli, II Ed. Bologna 1999.

Il coefficiente di attrito dinamico si calcola invece come

$$\mu_d = \frac{F_{DIN}}{Mg} = \frac{65 \times 10^{-3}}{15 \times 10^{-3} \times 9.81} = 0.44. \quad (6.5)$$

Per determinare il valore migliore del coefficiente di attrito dinamico e la sua indeterminazione, si può procedere in due modi.

- a) Ripetere le misurazioni molte volte nelle stesse condizioni e quindi calcolare il valore medio e la deviazione standard della media.
- b) Ricavare graficamente il valore massimo e minimo della forza di attrito dinamico (individuati dalle linee orizzontali mostrate in Figura 6.2) e calcolare quindi il valore *best* come media dei valori massimo e minimo e l'indeterminazione come semidifferenza dei valori massimo e minimo

$$\mu_{best} = \frac{\mu_{max} + \mu_{min}}{2} \quad \text{e} \quad \delta\mu_d = \frac{\mu_{max} - \mu_{min}}{2}. \quad (6.6)$$

### 6.3 Conclusioni

È da notare che in queste misurazioni, gli errori strumentali sono trascurabili rispetto agli errori casuali.

Il sensore di forza può essere usato in molti altri esperimenti, per esempio per studiare le forze impulsive durante gli urti, i moti armonici, la forza centripeta, ecc.

Emilio Fiordilino, Aurelio Agliolo Gallitto, *Il laboratorio di fisica nel Progetto 'Lauree Scientifiche'*, Aracne, Roma 2010.

---

#### Curiosità. Attrito statico e attrito dinamico

Un esperimento che mostra le proprietà delle forze di attrito statico e dinamico è il seguente. Disporre orizzontalmente una riga graduata (quella lunga 60 cm) sopra gli indici delle mani. All'inizio si posizionano gli indici alle estremità della riga e successivamente si avvicinano l'uno all'altro, senza fare cadere la riga. Si vedrà la riga scivolare prima su un dito e poi sull'altro, alternativamente, fin quando le dita si posizioneranno l'uno accanto all'altro al centro della riga. Questo si ha perché quando si cerca di avvicinare le dita, la riga scivolerà su quello dove la forza d'attrito statico è minore. Supponiamo che inizi a scivolare il dito destro; mentre esso si sposta verso il centro, su di esso agirà una frazione maggiore della forza peso della riga (inizialmente è distribuita in modo circa uguale sulle due dita) e quindi la forza di attrito dinamico crescerà fin quando essa sarà maggiore della forza di attrito statico che si esercita sul dito sinistro. A quel punto, il dito destro si ferma e il dito sinistro inizierà a scivolare. Il ciclo si ripete finché le dita si avvicinano al centro della riga fino a toccarsi.

---