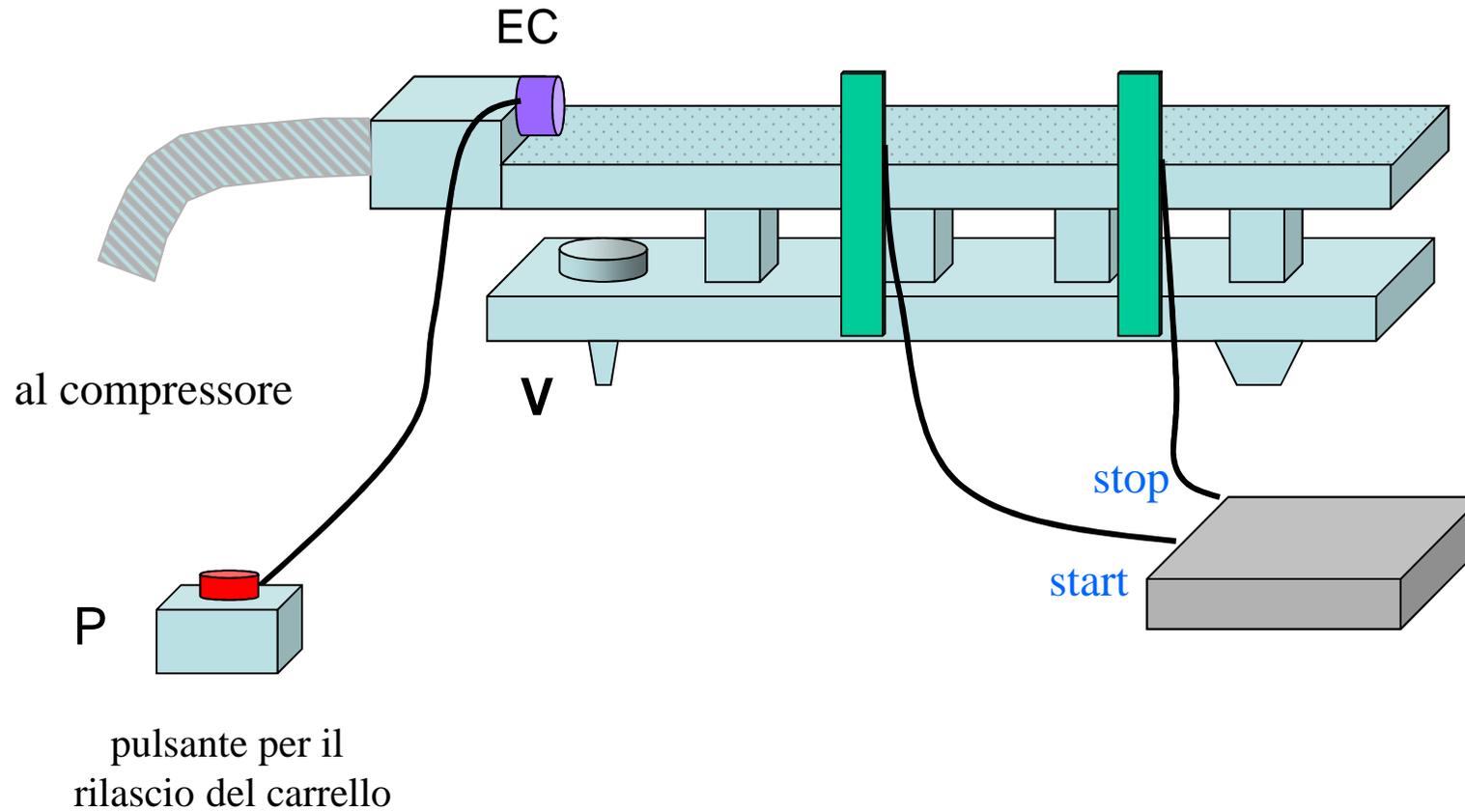


## Urto elastico e totalmente anelastico

Guida a cuscino d'aria

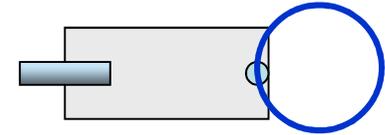


1. accendere e regolare il compressore
2. mettere la guida orizzontale, agendo sulla vite V

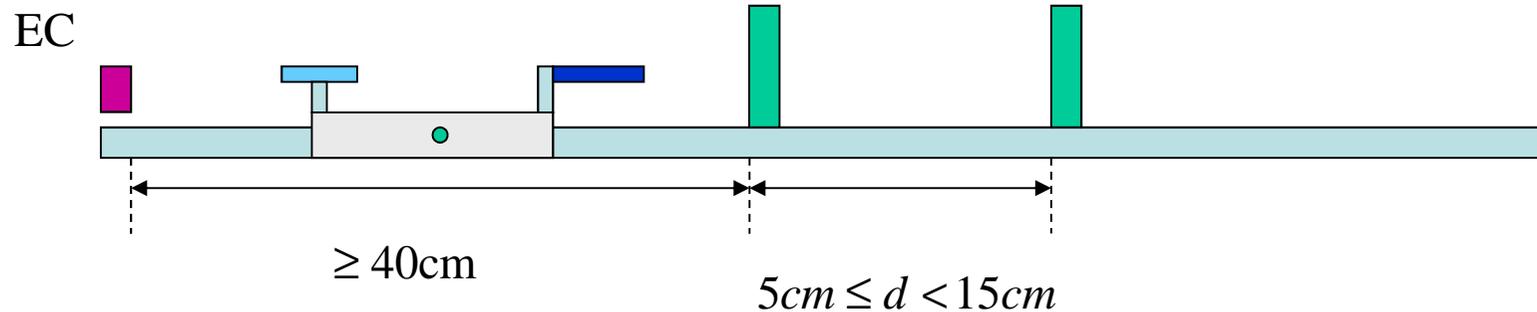
# 1. Urto elastico

## prima fase

1. si sceglie il carrello con calamita e molla all'altra estremità



2. si dispongono con cura le fotocellule in posizione opportuna



3. si misura il tempo di transito della slitta (velocità: 30 volte)

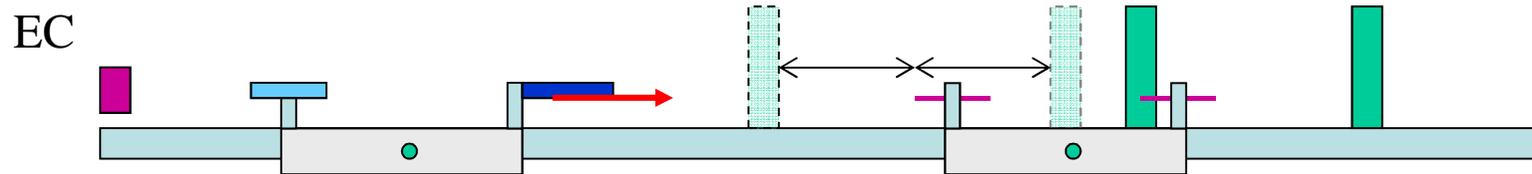
**Attenzione:** se il tempo cambia sensibilmente

- ricontrollare l'orizzontalità
- proseguire (eventualmente ripetere le misure dubbie)

# 1. Urto elastico

## prima fase

4. come **secondo carrello**, scegliere quello con i magnetini sottili



5. disporre questo carrello in quiete, in modo che il “respingente” si trovi circa a metà fra le posizioni precedenti delle fotocellule

6. disporre le fotocellule più avanti, sempre ad una distanza non superiore a 15cm. In particolare, la 1<sup>a</sup> fotocellula dovrà essere a **circa 3-5cm dal piolo del 2° carrello**.

7. lanciare il primo carrello come in precedenza, misurando il tempo di transito del 2°, **30 volte**.

**Attenzione:** può essere necessario tenere fermo il secondo carrello con un dito, rilasciandolo poco prima dell’impatto con il primo.

# 1. Urto elastico

## Seconda fase

Dopo aver completato la prima fase di misure, si modifichi la massa del 2° carrello con l'aggiunta di un disco di alluminio.

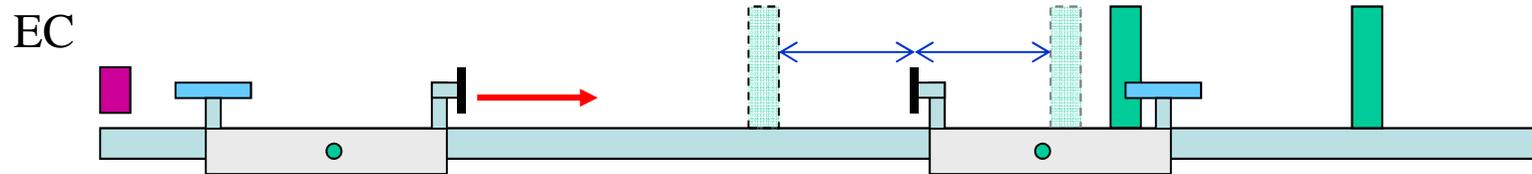
Per scrupolo, **ricontrollare l'orizzontalità della guida e riaggiustarla se necessario**

**7B.** lanciare il primo carrello come in precedenza, misurando il tempo di transito del 2°, **30 volte.**

## 2. Urto totalmente anelastico

### terza fase

1. In questa fase si utilizzano entrambi i carrelli con il velcro, orientati in modo che rimangano attaccati dopo l'urto.



Per scrupolo, **ricontrollare l'orizzontalità della guida e riaggiustarla se necessario**

si consiglia anche di ricontrollare i tempi di transito della 1° slitta. Se risultano diversi da quelli misurati inizialmente, tornare al **punto 3**, altrimenti

- 7C. lanciare il primo carrello come in precedenza, misurando il tempo di transito del 2°, **30 volte**.

Se il tempo è sufficiente, il gruppo può decidere di ripetere la misura aggiungendo il disco di alluminio al 2° carrello (**quarta fase, facoltativa**).

## Analisi dei dati

Per ognuna delle 3 (o 4) fasi dell'esperimento lo studente avrà raccolto 1 o 2 serie di 30 misure di tempo: una prima e una dopo l'urto.

Per ogni serie di 30 misure:

- Riportare le posizioni delle fotocellule
- Riportare la **tabella dei tempi**, seguita da
- **tempo medio**, la sua **deviazione standard**, **dev. st.della media**, ed errore massimo [  $(t_{\max} - t_{\min})/2$  ]
  
- calcolare la **velocità media**,
- Calcolare l'**errore probabile** (dev. st.) e l'**errore massimo** della velocità.

Per ogni fase dell'esperimento, lo studente dispone di

- velocità del carrello prima dell'urto
- velocità del carrello (o dei carrelli) dopo l'urto

## Analisi dei dati

calcolare il rapporto  $R_{EXP} = \frac{v_f}{v_i}$  fra la velocità **dopo** e **prima** dell'urto

calcolare l'errore massimo e l'errore probabile di tale rapporto  $(\delta R_{EXP}, \sigma_{R-Exp})$

Questi valori saranno confrontati con quelli teorici, ovvero

$$R_{EL} = \frac{v_f}{v_i} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} \quad \text{per l'urto elastico}$$

$$R_{AN} = \frac{v_f}{v_i} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \quad \text{per l'urto totalmente anelastico}$$

Anche per i rapporti teorici si calcolerà l'errore, dovuto all'incertezza sulle masse.

Per le masse di tutti i carrelli e dei dischi di alluminio si assuma il valore

$$(78.0 \pm 0.9)g \quad (\text{errore massimo})$$

## Analisi dei dati

L'ultima considerazione riguarda la **significatività dei dati**.

In assenza di **errori sistematici** (ad esempio attriti, guida non perfettamente orizzontale ...) i due rapporti dovrebbero risultare uguali. Tuttavia entrambi i valori sono affetti da errore

Nel caso degli **errori massimi**

$$R_{EXP} \pm \delta R_{EXP}$$

$$R_T \pm \delta R_T$$

la differenza dovrebbe essere minore della somma degli errori massimi:

$$|R_T - R_{EXP}| \leq \delta R_T + \delta R_{EXP}$$

Nel caso dell'**errore probabile**

$$R_{EXP} \pm \sigma_{EXP}$$

$$R_T \pm \sigma_T$$

il discorso è più complesso

## Analisi dei dati

Anche in questo caso si confronterà la differenza fra i due valori (in modulo) con l'errore probabile di questa differenza. Conviene calcolare il rapporto

$$\frac{|R_T - R_{EXP}|}{\sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_{EXP}^2}}$$

Qual è la probabilità che questo rapporto superi un dato valore?

rapp.	p(r > rapp)
0,00	1,000
0,25	0,803
0,50	0,617
0,75	0,453
1,00	0,317
1,25	0,211
1,50	0,134
1,75	0,080

rapp.	p(r > rapp)
2,00	0,046
2,25	0,024
2,50	0,012
2,75	0,006
3,00	0,003
3,25	0,0012
3,50	0,0005
3,75	0,0002

## Appendice. Calcolo degli errori.

Per ogni serie di misure abbiamo

- una distanza  $\Delta x$  fra le fotocellule, il cui **errore massimo** si può assumere di  $\delta x = 0,5 \text{ mm}$
- 30 misure di tempo.

Nel nostro caso, di alcune grandezze conosciamo l'errore massimo, di altre l'errore probabile (o statistico).

Non esiste un metodo generale in questo caso. Tenendo conto che in una distribuzione gaussiana il 99% degli eventi è compreso entro  $\pm 3\sigma$ , **assumeremo che l'errore massimo sia pari a 3 volte la deviazione standard.**

Coerentemente, assumeremo che l'errore probabile sulle distanze sia un terzo dell'errore massimo.

Si calcola il tempo medio  $\Delta t$  delle 30 misure,

- la deviazione standard  $\sigma_{\Delta t}$  e
- la deviazione standard della media  $\sigma_{\langle t \rangle}$ . questa rappresenta l'errore probabile della media.
- come errore massimo sulla media si assuma  $\delta \langle t \rangle = 3\sigma_{\langle t \rangle}$ .

All'opposto, si può assumere come errore probabile sulla lunghezza un terzo dell'errore massimo:  $\sigma_x = \delta x / 3$  e per le masse.  $\sigma_M = \delta m / 3$

## Appendice. Calcolo degli errori.

Con le scelte effettuate, abbiamo

$$\Delta x, \quad \delta x, \quad \sigma_x$$
$$\Delta \bar{t}, \quad \delta t, \quad \sigma_t$$

se ora calcoliamo  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$

di cui si propaga l'errore massimo  $\frac{\delta v}{v} = \frac{\delta x}{\Delta x} + \frac{\delta t}{\Delta t}$

e l'errore probabile  $\frac{\sigma_v}{v} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_t}{\Delta t}\right)^2}$

Per ognuno degli urti avremo

$$v_i \quad \delta v_i \quad \sigma_{vi}$$
$$v_f \quad \delta v_f \quad \sigma_{vf}$$

L'errore sul rapporto  $R_{EXP} = \frac{v_f}{v_i}$

i cui errori si propagano di nuovo usando le formule

$$\frac{\delta R_{EX}}{R_{EX}} = \frac{\delta v_i}{v_i} + \frac{\delta v_f}{v_f} \quad \frac{\sigma_{REX}}{R_{EX}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{vi}}{v_i}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{vf}}{v_f}\right)^2}$$

## Calcolo dell'errore sul rapporto teorico

Nell'urto anelastico

$$R_T = \begin{cases} \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{1}{2} \\ \frac{m_1}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{1}{3} \end{cases}$$

senza il disco aggiuntivo

con l'aggiunta del disco

dove si è tenuto conto che  $m_1 = m_2 = m_3 = m$  (entro l'errore)

L'errore sul rapporto è dovuto agli errori su  $m_1$ ,  $m_2$  (e  $m_3$ ). Usando la formula generale:

Urto totalmente anelastico. Errore massimo:

$$\delta R_T = \begin{cases} \left| \frac{\partial R_T}{\partial m_1} \right| \delta m_1 + \left| \frac{\partial R_T}{\partial m_2} \right| \delta m_2 \\ \left| \frac{\partial R_T}{\partial m_1} \right| \delta m_1 + \left| \frac{\partial R_T}{\partial m_2} \right| \delta m_2 + \left| \frac{\partial R_T}{\partial m_3} \right| \delta m_3 \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{1}{2} \frac{\delta m}{m} & \text{senza disco} \\ \frac{4}{9} \frac{\delta m}{m} & \text{con disco} \end{cases}$$

assumendo  $\delta m_1 = \delta m_2 = \delta m_3 = \delta m$

## Calcolo dell'errore sul rapporto teorico

Urto totalmente anelastico. Errore probabile (deviazione standard):

$$\sigma_{RT}^2 = \begin{cases} \left(\frac{\partial R_T}{\partial m_1}\right) \sigma_{m1}^2 + \left(\frac{\partial R_T}{\partial m_2}\right) \sigma_{m2}^2 \\ \left(\frac{\partial R_T}{\partial m_1}\right) \sigma_{m1}^2 + \left(\frac{\partial R_T}{\partial m_2}\right) \sigma_{m2}^2 + \left(\frac{\partial R_T}{\partial m_3}\right) \sigma_{m3}^2 \end{cases} \Rightarrow \sigma_{RT} = \begin{cases} \frac{\sqrt{2}}{4} \frac{\sigma_m}{m} & \text{senza disco} \\ \frac{\sqrt{6}}{9} \frac{\sigma_m}{m} & \text{con disco} \end{cases}$$

assumendo:  $\sigma_{m1} = \sigma_{m2} = \sigma_{m3} = \sigma_m$

Urto elastico.

Il rapporto  $R_T$  per l'urto elastico è esattamente il doppio di quello dell'urto anelastico, pertanto gli errori sono gli stessi visti sopra, moltiplicati per 2.