

## **ROTAIA A CUSCINO D'ARIA**

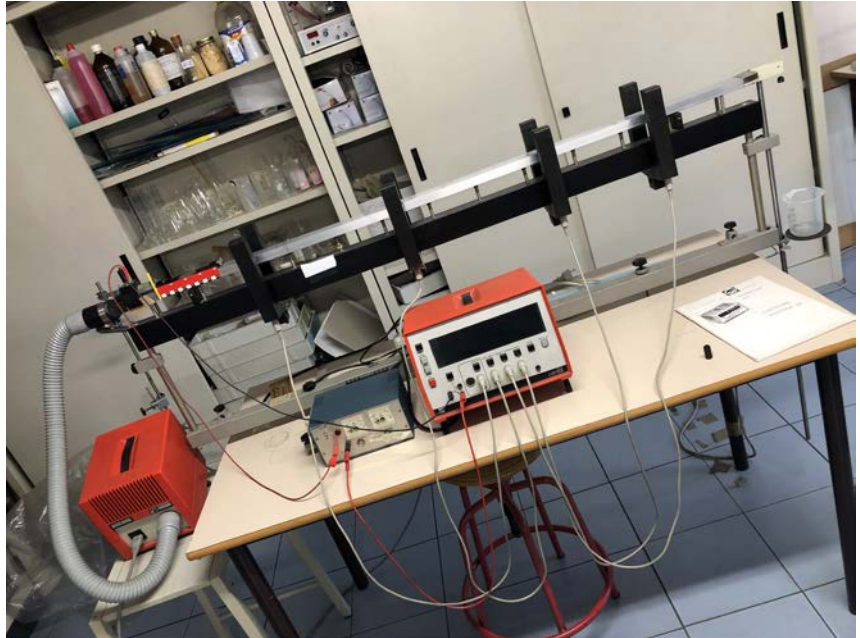
*4D, gruppo 1, Bini Alessia, Angiolini Alessia, Benvenuti Lucrezia, Bachechi Alessandro.  
Tutti presenti in laboratorio e alla stesura della relazione. 5/02/2019.*

### SCOPO DELL'ESPERIENZA:

Determinare l'accelerazione di gravità  $g$  e il relativo errore utilizzando la seconda legge della dinamica. Il valore dell'accelerazione teorica è circa  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

### APPARECCHIATURA DI MONTAGGIO:

Lo strumento utilizzato per le misurazioni è una rotaia a cuscino d'aria dotata di un carrello che ne percorre la lunghezza, trainato da pesini di diversa massa, che sono collegati ad esso con un filo. La rotaia è munita di fotocelle che rilevano il tempo di oscuramento delle stesse e il tempo impiegato dal carrello nel passaggio tra la prima fotocella e l'altra. Le fotocelle sono collegate al cronometro elettronico che indica i valori sopra citati. L'asticella unita al carrello segna il passaggio di questo dalla fotocellula.



### STRUMENTI:

- Contatore digitale/cronometro elettronico (sensibilità:  $0,001\text{ms}$ );
- Rotaia a cuscino d'aria;
- Bilancia elettronica (sensibilità:  $0,1\text{g}$ );
- Calibro (sensibilità:  $0,1\text{mm}$ );
- Asticella (spessore:  $5 \pm 0,1\text{mm}$ );
- Carrello da  $96,1 \pm 0,1\text{g}$ ;
- Pesini da  $0,9 \pm 0,1\text{g}$  ciascuno (x4);
- Peso da  $4,8 \pm 0,1\text{g}$  (x1).



fotocellula



*pesini*



*asticella*

**PROCEDIMENTO:**

Siamo partiti analizzando l'andamento del carrello sulla rotaia, tramite il cronometro elettronico collegato all'apparecchiatura. In base alla massa (misurata con la bilancia elettronica) dei pesini utilizzati abbiamo registrato diversi valori per il tempo di oscuramento e di percorrenza.

LA SECONDA LEGGE DELLA DINAMICA afferma che la forza risultante agente su un corpo imprime ad esso un'accelerazione nella stessa direzione della forza.

$$F = M \times A$$

Nell'esperimento la forza che agisce sul carrello è il peso della massa applicata all'estremità del filo. Abbiamo calcolato l'accelerazione che viene impressa al corpo grazie ai tempi registrati dal contatore digitale.

bilancia



DATI:

**1 pesino da 1,8±0,1g:**

OSCURAMENTO FOTOCELL A 1	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 2	OSCURAMENTO FOTOCELL A 2	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 3	OSCURAMENTO FOTOCELL A 3	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 4	OSCURAMENTO FOTOCELL A 4
16,256±0,001 ms	915,841±0,001 ms	10,523±0,001 ms	1572,435±0,001 ms	8,178±0,001 ms	1958,453±0,001 ms	7,497±0,001 ms
16,235±0,001 ms	910,839±0,001 ms	10,503±0,001 ms	1566,039±0,001 ms	8,156±0,001 ms	1951,528±0,001 ms	7,892±0,001 ms
16,269±0,001 ms	916,584±0,001 ms	10,449±0,001 ms	1572,982±0,001 ms	8,226±0,001 ms	1958,874±0,001 ms	7,449±0,001 ms

**1 pesino da 2,7±0,1g:**

OSCURAMENTO FOTOCELL A 1	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 2	OSCURAMENTO FOTOCELL A 2	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 3	OSCURAMENTO FOTOCELL A 3	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 4	OSCURAMENTO FOTOCELL A 4
13,418±0,001 ms	752,819±0,001 ms	8,602±0,001 ms	1291,063±0,001 ms	6,713±0,001 ms	1607,378±0,001 ms	6,176±0,001 ms
13,323±0,001 ms	752,473±0,001 ms	8,579±0,001 ms	1290,413±0,001 ms	6,726±0,001 ms	1606,472±0,001 ms	6,158±0,001 ms
13,457±0,001 ms	753,789±0,001 ms	8,632±0,001 ms	1293,073±0,001 ms	6,755±0,001 ms	1610,069±0,001 ms	6,144±0,001 ms

**1 pesino da 3,6±0,1g:**

OSCURAMENTO FOTOCELL A 1	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 2	OSCURAMENTO FOTOCELL A 2	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 3	OSCURAMENTO FOTOCELL A 3	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 4	OSCURAMENTO FOTOCELL A 4
11,717±0,001 ms	657,165±0,001 ms	7,489±0,001 ms	1126,879±0,001 ms	5,902±0,001 ms	1360,287±0,001 ms	5,393±0,001 ms
11,667±0,001 ms	657,472±0,001 ms	7,507±0,001 ms	1126,998±0,001 ms	5,872±0,001 ms	1382,136±0,001 ms	5,431±0,001 ms
11,718±0,001 ms	657,779±0,001 ms	7,512±0,001 ms	1127,862±0,001 ms	5,882±0,001 ms	1382,538±0,001 ms	5,437±0,001 ms

**1 pesino da 8,4±0,1g:**

OSCURAMENTO FOTOCELL A 1	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 2	OSCURAMENTO FOTOCELL A 2	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 3	OSCURAMENTO FOTOCELL A 3	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 4	OSCURAMENTO FOTOCELL A 4
7,919±0,001 ms	445,725±0,001 ms	5,104±0,001 ms	764,632±0,001 ms	4,015±0,001 ms	951,831±0,001 ms	3,698±0,001 ms
7,970±0,001 ms	446,084±0,001 ms	5,140±0,001 ms	764,880±0,001 ms	4,013±0,001 ms	952,270±0,001 ms	3,674±0,001 ms
7,971±0,001 ms	446,237±0,001 ms	5,119±0,001 ms	765,006±0,001 ms	4,025±0,001 ms	952,296±0,001 ms	3,684±0,001 ms

ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI:

Abbiamo calcolato con excel i valori medi dei tempi sopra riportati

PESI g	OSCURAMENTO FOTOCELL A 1	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 2	OSCURAMENTO FOTOCELL A 2	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 3	OSCURAMENTO FOTOCELL A 3	TEMPO TRA FOTOCELL E 1 E 4	OSCURAMENTO FOTOCELL A 4
<b>1,8</b>	16,253±0,001 ms	914,421±0,001 ms	10,492±0,001 ms	1570,485±0,001 ms	8,187±0,001 ms	1956,285±0,001 ms	7,613±0,001 ms
<b>2,7</b>	13,399±0,001 ms	753,027±0,001 ms	8,604±0,001 ms	1291,516±0,001 ms	6,731±0,001 ms	1607,973±0,001 ms	6,159±0,001 ms
<b>3,6</b>	11,701±0,001 ms	657,472±0,001 ms	7,503±0,001 ms	1127,246±0,001 ms	5,885±0,001 ms	1374,987±0,001 ms	5,42±0,001 ms
<b>8,4</b>	7,953±0,001 ms	446,015±0,001 ms	5,121±0,001 ms	764,839±0,001 ms	4,018±0,001 ms	952,132±0,001 ms	3,685±0,001 ms

- Utilizzando tali dati abbiamo misurato le velocità, in base ai pesi, nei diversi istanti, con la formula:

$$- V = \frac{\text{spazio}}{\text{tempo}} \quad \text{dove} \quad V = \frac{\text{spessoreasticella}(5\text{mm})}{\text{tempooscumeramento}}$$

Ad esempio (3,6g istante 1):  $V = \frac{5}{7,953} = 0,666 \text{ m/s}$

$$- \text{Errore di } V: \left( \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta t}{t} \right) \times V;$$

Esempio:  $\left( \frac{0,1}{5} + \frac{0,001}{11,701} \right) \times 0,427 = 0,008$

- Successivamente abbiamo ricavato l'accelerazione con la formula seguente:

$$a = \frac{(\text{velocità} - \text{velocità iniziale})}{\text{tempo tra fotocelle}}$$

Ad esempio (3,6g istante 1):  $a = \frac{(0,666 - 0,427)}{0,657} = 0,364 \text{ m/s}^2$

L'errore di "a" lo abbiamo calcolato con la formula:  $(\frac{\Delta v - \Delta v_0}{v - v_0} + \frac{\Delta t}{t}) \times a$

Esempio:  $(\frac{0,013 + 0,008}{0,666 - 0,427} + \frac{0,001}{0,657}) \times 0,364 = 0,032$

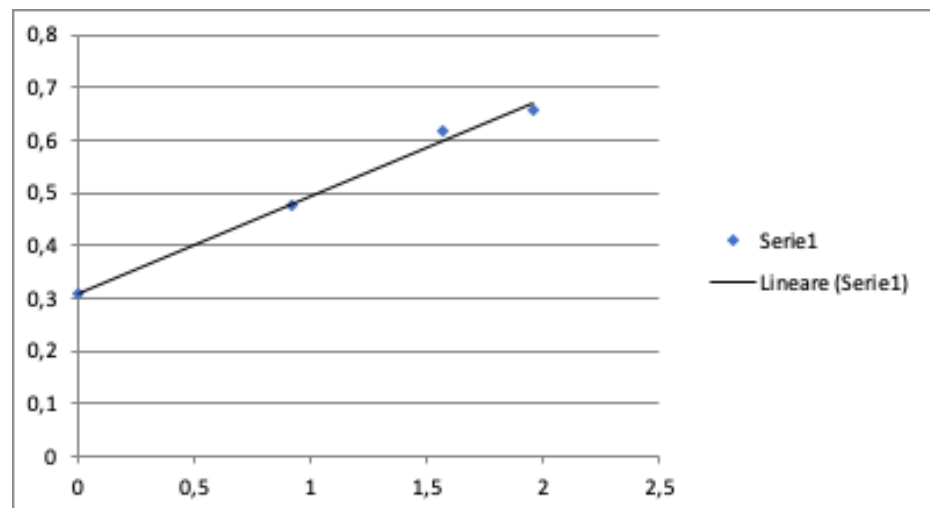
Infine abbiamo costruito i grafici velocità-tempo con excel e ne abbiamo determinato la pendenza attraverso la regressione dei dati con intercetta.

Per ogni grafico abbiamo ricavato l'accelerazione media.

Tabelle: velocità (v), tempo tra fotocelle (t) e accelerazione (a)

PESO 1,8g	VELOCITÀ m/s	TEMPO s	ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup>
ISTANTE 0	0,308±0,006	0	0
ISTANTE 1	0,476±0,009	0,914	0,184±0,017
ISTANTE 2	0,611±0,012	1,570	0,197±0,012
ISTANTE 3	0,657±0,020	1,956	0,178±0,013

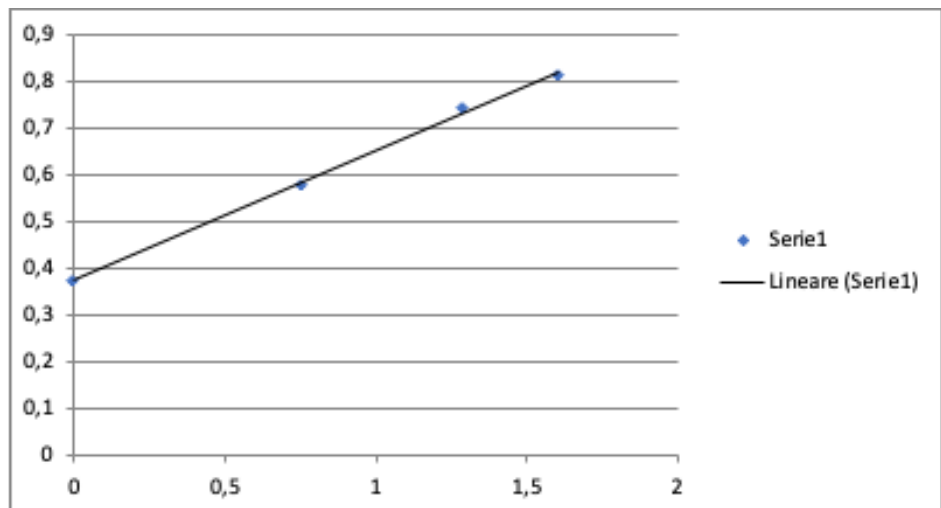
**Accelerazione media:  
0,186 m/s<sup>2</sup>**



PESO 2,7g	TE VELOCITÀ m/s	TEMPO s	ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup>
ISTANTE 0	0,373±0,007	0	0

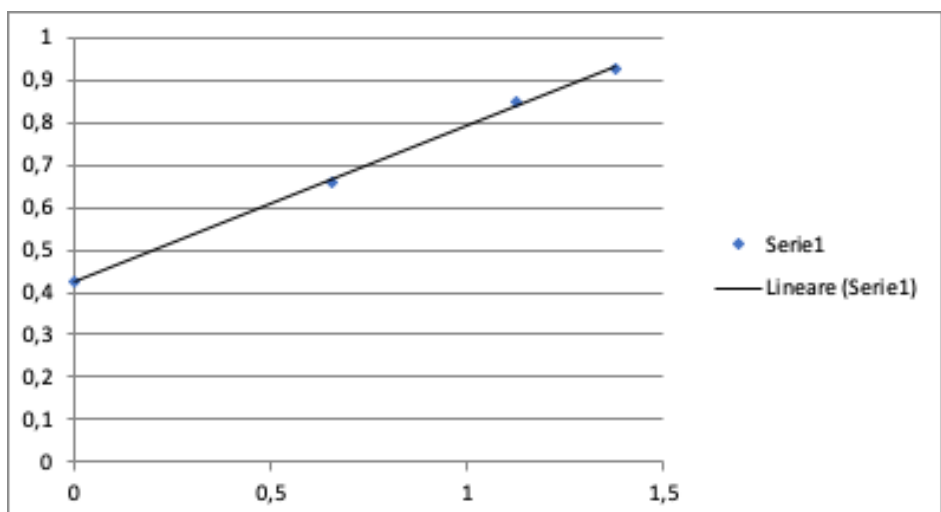
PESO 2,7g	TE VELOCITÀ m/s	TEMPO s	ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup>
ISTANTE 1	0,581±0,012	0,753	0,276±0,025
ISTANTE 3	0,743±0,020	1,291	0,285±0,021
ISTANTE 4	0,812±0,020	1,608	0,273±0,017

**Accelerazione media:  
0,278 m/s<sup>2</sup>**



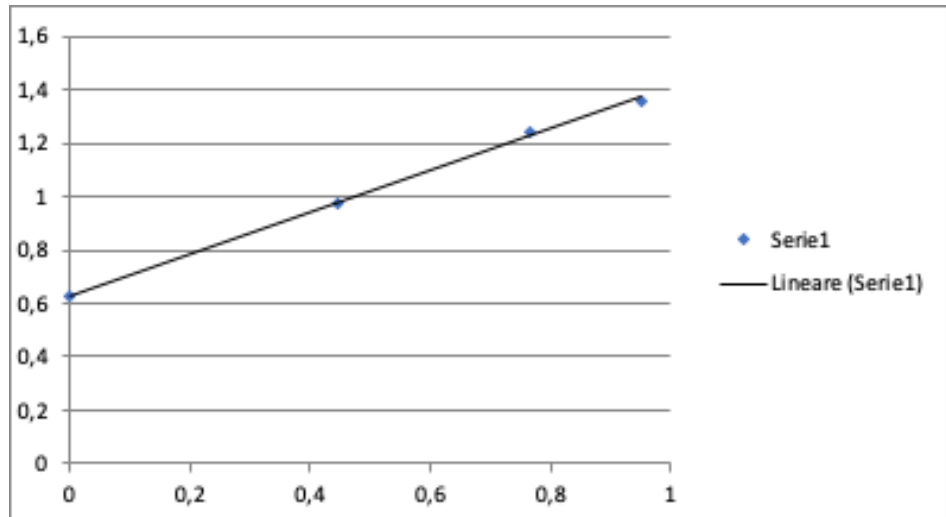
PESO 3,6g	VELOCITÀ m/s	TEMPO s	ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup>
ISTANTE 0	0,427±0,008	0	0
ISTANTE 1	0,666±0,013	0,657	0,364±0,032
ISTANTE 2	0,850±0,017	1,127	0,375±0,022
ISTANTE 3	0,923±0,019	1,375	0,361±0,019

**Accelerazione media:  
0,363 m/s<sup>2</sup>**



PESO 8,4g	VELOCITÀ m/s	TEMPO s	ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup>
ISTANTE 0	0,629±0,012	0	0
ISTANTE 1	0,976±0,019	0,446	0,778±0,071
ISTANTE 2	1,24±0,024	0,763	0,799±0,048
ISTANTE 3	1,36±0,027	0,952	0,768±0,041

Accelerazione media:  
0,781m/s<sup>2</sup>



Dai grafici si può capire che il moto del carrello è uniformemente accelerato.

- Abbiamo calcolato l'accelerazione di gravità con la formula:  $g = \frac{(M+m)xa}{m}$

Pesi (g)	Accelerazione
1,8	10,1±1,7
2,7	10,2±0,8
3,6	10,1±0,6
8,4	9,71±0,03

$$g = \frac{(M+m)}{m} \cdot a \quad \text{con} \quad \text{incertezza:}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \left( \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} \right) \cdot \frac{M}{M+m} + \frac{\Delta a}{a}$$

infatti:

$$g = \left( 1 + \frac{M}{m} \right) \cdot a$$

quindi:

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \left( 1 + \frac{M}{m} \right)}{\left( 1 + \frac{M}{m} \right)} + \frac{\Delta a}{a} \quad \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \left( \frac{M}{m} \right)}{\left( \frac{M+m}{m} \right)} + \frac{\Delta a}{a} \quad \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \left( \frac{M}{m} \right)}{\left( \frac{M+m}{m} \right)} + \frac{\Delta a}{a}$$

ma:  $\frac{\Delta \left( \frac{M}{m} \right)}{\left( \frac{M}{m} \right)} = \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} \quad \Delta \left( \frac{M}{m} \right) = \left( \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} \right) \cdot \frac{M}{m}$

e infine:

$$\frac{\Delta g}{g} = \left( \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} \right) \cdot \frac{M}{m} \cdot \frac{m}{M+m} + \frac{\Delta a}{a} \quad \frac{\Delta g}{g} = \left( \frac{\Delta M}{M} + \frac{\Delta m}{m} \right) \cdot \frac{M}{M+m} + \frac{\Delta a}{a}$$

Errore di g:

Abbiamo per finire constatato che i nostri risultati fossero attendibili verificando che l'indice R<sup>2</sup> stesse nell'intervallo 0-1. Nell'esempio (peso di 1,8g) sopra indicato il valore corrisponde è 0,99330..., essendo

OUTPUT RIEPILOGO				Test				
<b>Statistica della regressione</b>				Ipotesi a=0				
R multiplo	0,996645646	correlazione		Intervallo	0,282249934	0,338161969	0 non sta dentro --> non accetto	
R al quadrato	0,993302544	R <sup>2</sup>						
R al quadrato corretto	0,989953815							
Errore standard	0,015841201	stima di sigma						
Osservazioni	4							
<b>ANALISI VARIANZA</b>								
	gdl	SQ	MQ	F	Significatività F			
Regressione	1	0,074435113	0,0744351	296,6208309	0,003354354			
Residuo	2	0,000501887	0,0002509					
Totale	3	0,074937						
	Coefficienti	Errore standard	Stat t	Valore di significatività	Inferiore 95%	Superiore 95%	Inferiore 95,0%	Superiore 95,0%
Intercetta	0,310205952	0,014263274	21,748579	0,002107481	0,248836036	0,371575868	0,248836036	0,371575868
Tempo s	0,183999336	0,010683546	17,222684	0,003354354	0,138031747	0,229966925	0,138031747	0,229966925

molto vicino ad 1 possiamo affermare che il nostro modello è molto buono.

### CONCLUSIONE:

In conclusione abbiamo ricavato il valore dell'accelerazione gravitazionale sfruttando la seconda legge della dinamica. I risultati ottenuti si avvicinano al valore teorico di g e, grazie alla verifica di R<sup>2</sup> si è potuto constatare che i risultati sono attendibili.