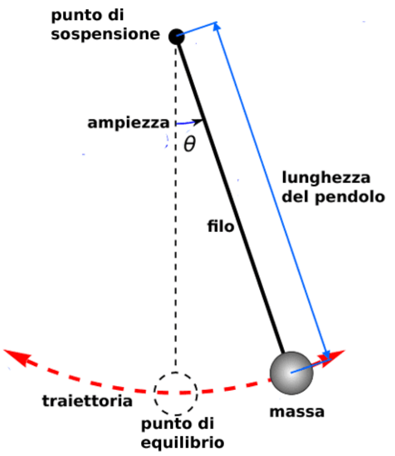
TISSI NICOLO'
Classe 1 C 15.12.2020

Verifica Sperimentale della Proporzionalità Quadratica tra Grandezze Fisiche

Introduzione



Lo scopo di questo esperimento è quello di misurare e dimostrare la Proporzionalità Quadratica tra la lunghezza di un pendolo semplice (L) e il periodo di oscillazione della sua massa (T).

Le serie dei valori L-T e L-T^2 ottenuti sono stati raccolti e rappresentati in vari modi:
-in tabelle
-in due grafici cartesiani L-T e L-T^2
-in formule
Lo scopo è quello di ricavare e dimostrare il loro rapporto di proporzionalita' attraverso il confronto delle diverse rappresentazioni visive (grafici).
La prova è stata realizzata in laboratorio, ma il rilievo di tutte le misure sono state effettuate in didattica a distanza. Nelle conclusioni sono stati ridiscussi gli errori presenti nella prova confrontando i nostri risultati con i risultati della classe 1 A

Elenco dei Materiali e degli Strumenti impiegati

Materiali usati:

-Pendolo semplice a massa sospesa costituito dai seguenti materiali:

- treppiede
- Filo di lunghezza inestensibile attorno ai 50 cm
- Massa costituita da una spera metallica
- Sostegno a cui appendere il filo

-Asta millimetrata dotata di due bandiere

portata	1 m
prontezza	è uno strumento graduato per misurare l'altezza grazie alla bandiera mobile è di forma rettilinea
sensibilita'	1 mm

-Cronometro smartphone

portata	59^{min} : 59^{sec} , 99^{cent}
prontezza	è uno strumento elettronico, con visualizzazione digitale: la prontezza non è percettibile dall'uomo (appena tocco lo schermo la misura parte)
sensibilita'	0,01 sec (1/100 di secondo)

I dati sono stati raccolti in tabella, ho usato Excel e la calcolatrice e il software ORIGIN per disegnare il grafico.

Introduzione Teorica Generale

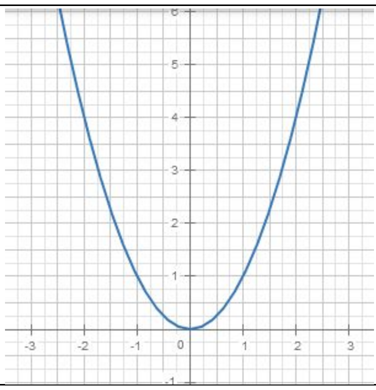
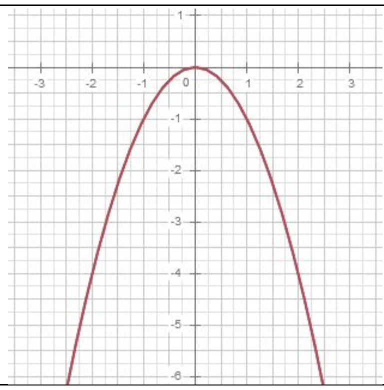
In matematica due grandezze di un insieme sono legate tra loro quando esiste una funzione cioe' una formula che le unisce. In generale se le due grandezze sono x e y e sono legate tra loro, la relazione si indica in questo modo:

$$y \propto x \quad \text{(y proporzionale a x)}$$

Le coppie di x e y possono essere rappresentate in un grafico cartesiano x-y detto grafico della funzione.
Si dice che x e y sono legati da una proporzionalità quadratica quando la grandezza y è direttamente proporzionale al quadrato della grandezza x cioe' se sono legate dalla seguente funzione:

$$y = K \cdot x^2$$

Le due rappresentazioni grafiche possibili sono le seguenti:

grafico x-y uscente dall'origine con K positivo è una PARABOLA concava verso alto	Grafico x-y uscente dall'origine K negativo è una PARABOLA concava verso il basso
	

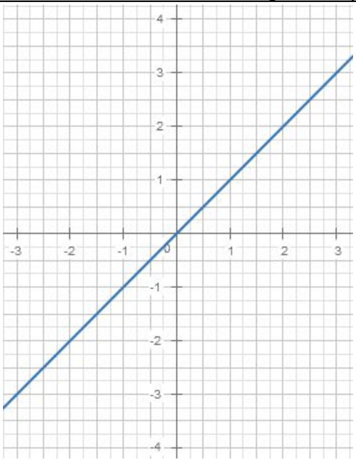
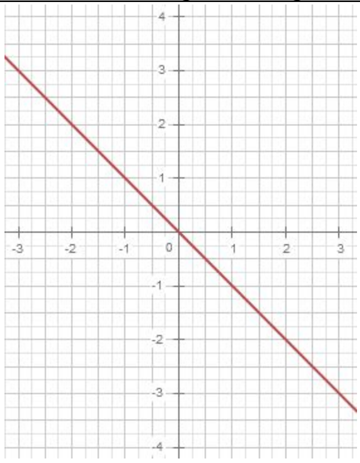
La formula equivalente è la seguente:

$$\frac{y}{x^2} = K$$

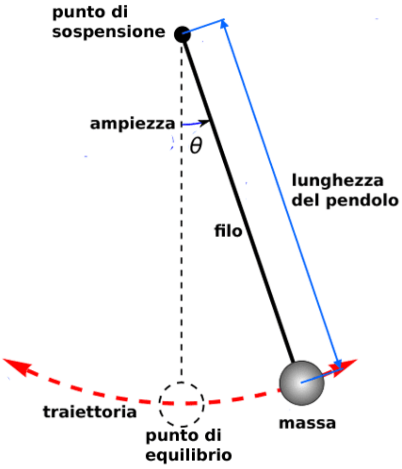
La costante K è chiamata COSTANTE DI PROPORZIONALITA' QUADRATICA

E' possibile rappresentare la formula in un piano cartesiano diverso dal solito dove l'asse delle ascisse non è x ma x^2 e l'asse delle ordinate y resta invariato.

In questo caso la rappresentazione grafica delle parabole diventa una retta:

grafico x^2-y è una RETTA uscente dall'origine K positivo	Grafico x^2-y uscente dall'origine K negativo
	

Una grandezza fisica che rispetta la proporzionalita' quadratica è l'oscillazione di un pendolo semplice.



Il periodo di oscillazione di una massa è dato dalla formula:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

dove:

T=periodo di oscillazione, tempo impiegato dalla massa per compiere un intero percorso di andata e ritorno

L=lunghezza del pendolo

g=accelerazione di gravita' (sulla Terra è 9.81 m/s^2)

L'oscillazione del pendolo ha le seguenti proprietà ricavate per la prima volta da Galileo Galilei osservando dei lampadari che oscillavano al Duomo di Pisa:

- Le oscillazioni del pendolo sono complanari cioè ' sullo stesso piano.
- Il periodo dipende solo dalla lunghezza L del pendolo.
- Se l'ampiezza delle oscillazioni è piccola (ampiezza fino a circa 10 gradi) il periodo non dipende dall'angolo di oscillazione (cioè abbiamo lo stesso periodo se angolo di oscillazione è 5 gradi o 10 gradi)
- Il periodo non dipende dalla massa a parita' di lunghezza L (cioè abbiamo lo stesso periodo se la massa è 1 kg o 10 kg)

Possiamo quindi elaborare la formula isolando le due variabili T e L come segue:

$$T^2 = 4\pi^2\frac{L}{g}$$

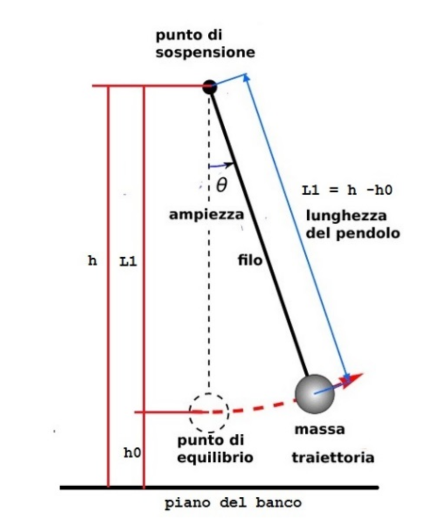
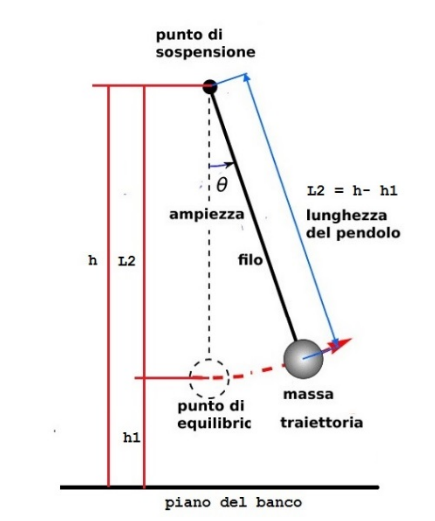
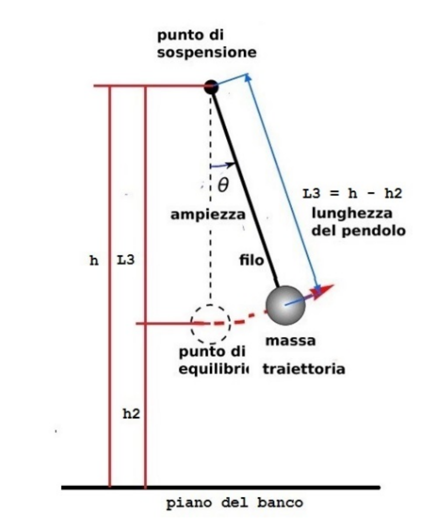
ricavo L e chiamo K le costanti

$$L = \frac{g}{4\pi^2}\ T^2 = K\ T^2$$

$$L = K\ T^2\ oppure\quad \frac{L}{T^2} = K$$

Le formule rappresentano una proporzionalita' quadratica tra L e T^2

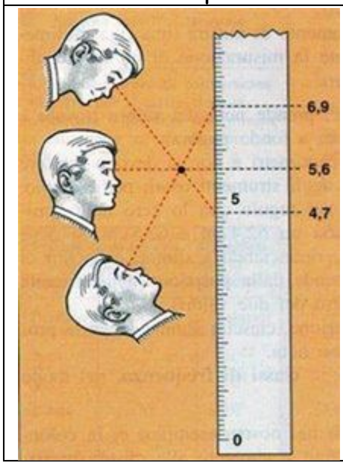
Durante la prova di laboratorio verranno rilevate le misure del periodo di 10 oscillazioni del pendolo e verranno messe in relazione con la sua lunghezza L. Ripeteremo la prova con lunghezza diverse per 5 volte, cioè ricaveremo 5 periodi riducendo la lunghezza del pendolo da L_1 a L_5.

Prima prova	Seconda prova	Terza prova e successive
		

riportando in tabella:

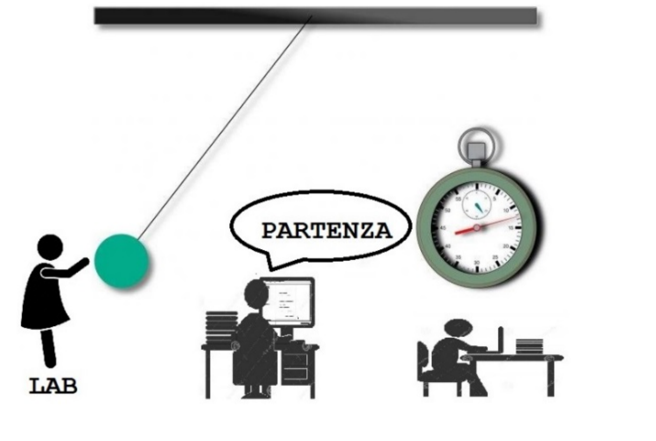
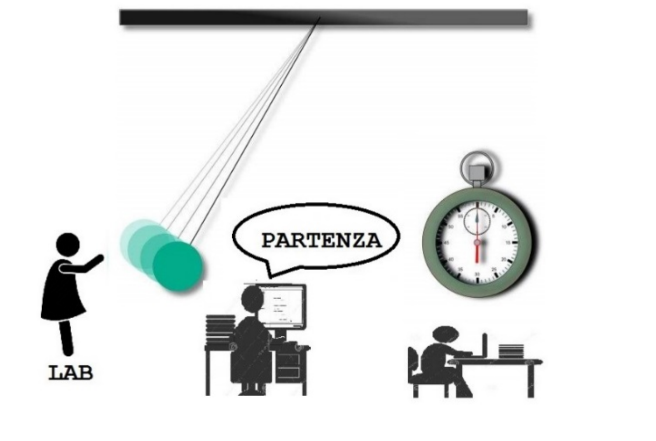
Lunghezza pendolo	Periodo
[cm]	[s]
$L_1 = h - h_0$	T_1
$L_2 = h - h_1$	T_1
≈	≈
$L_5 = h - h_4$	T_5

La lettura dell'altezza h_0 e successive può essere viziata da un errore di lettura dovuta a errori di parallasse come per la precedente esperienza di laboratorio:

errori di parallasse	Misura corretta	Misura dubbia/non corretta
		

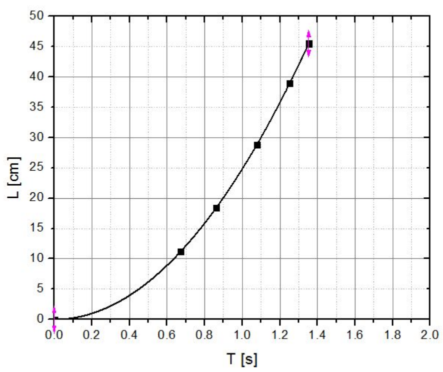
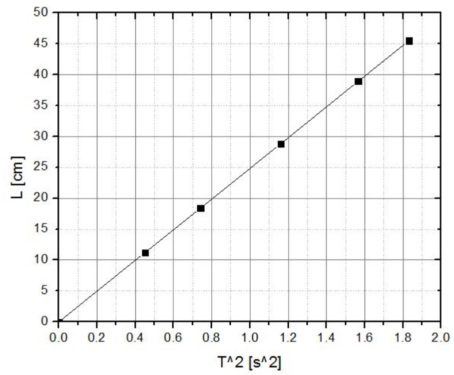
E' un errore "accidentale" che però noi consideriamo "sistematico" perché avviene ogni volta che facciamo la misura. Solo la misura 5.6 cm è quella corretta: se si guarda dall'alto, si commette un errore di parallasse e si legge 4,7 cm. Anche se si guarda dal basso si commette un errore di parallasse e si legge 6,9 cm.

Un altro errore è quello sulla misura del periodo del pendolo dovuto al tempo di reazione di avvio e stop del cronometro da parte degli studenti incaricati: il comando di "partenza" e di "arresto" della prova è vocale.
La catena di azione (cioe' rilasciare la massa e avviare il cronometro) è affidata a troppe persone per cui gli errori di ritardo o anticipo dell'azione si sommano.
Infatti al comando "partenza" da parte del professore (in DAD) avviene il rilascio della sfera da parte della professoressa (in Laboratorio). Iniziano le oscillazioni e nello stesso tempo inizia la misura del tempo da parte degli studenti incaricati (in DAD). Tutto questo avviene attraverso la piattaforma informatica con i possibili errori come in figura:

Il cronometro è partito ma il pendolo è fermo. Possibili errori: il Lab non ha rilasciato la massa oppure il cronometro è partito in anticipo	Il cronometro è fermo ma il pendolo è partito. Possibili errori: Il Lab ha rilasciato la massa in anticipo oppure il cronometro è in ritardo
 	

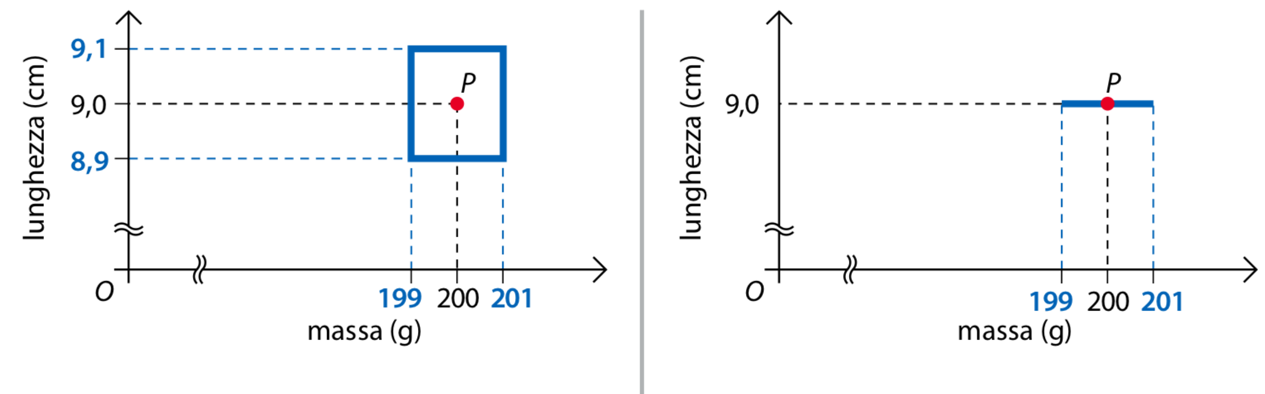
Stessa cosa puo' avvenire al comando "arresto": gli studenti incaricati (in DAD) arrestano il cronometro con errori di anticipo o ritardo rispetto al comando.
Gli errori in "partenza e in "arresto" sono errori accidentali e non possiamo intervenire per migliorare la misura.

Una volta raggruppati i dati nella tabella ed elaborati, realizziamo dei grafici cartesiani.
Primo grafico L-T: otteniamo una parabola. Secondo grafico L-T^2 otteniamo una retta.

Grafico cartesiano x-y Periodo T – lunghezza L	Grafico cartesiano x^2-y > quadrato del Periodo T-lunghezza L
 	

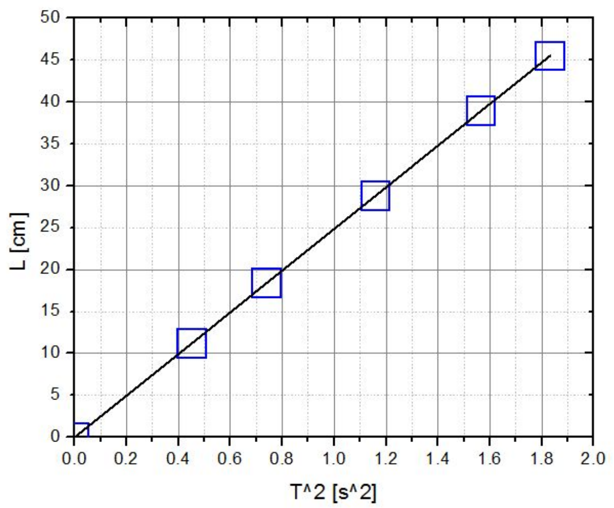
Poiche' è difficile riconosce se i punti ottenuti sperimentalmente corrispondano ad una parabola, riporteremo i punti in un grafico L-T^2 cioe' cercheremo di ricavare una semiretta uscente dall'origine.

Il risultato della misura di una grandezza è pero' affetto da errore. L'incertezza di un punto del grafico è rappresentata da un rettangolo. I lati del rettangolo sono pari agli errori assoluti sulle due variabili come per esempio:



a Il rettangolo rappresenta l'incertezza sulle misure.

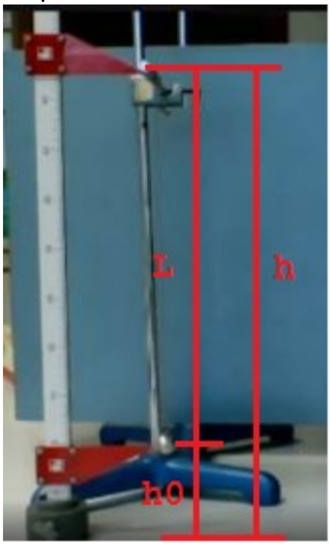
b Se l'errore di una variabile è trascurabile, il rettangolo si riduce a un segmento.



La proporzionalita' sara' QUADRATICA se troveremo una semiretta uscente dall'origine che attraversa contemporaneamente i punti sperimentali all'interno dei i rettangoli degli errori nel grafico L-T^2

Esecuzione dell'esperienza

La prova di laboratorio è stata eseguita in questo modo:



per prima cosa abbiamo posizionato il pendolo su di un piano e abbiamo misurato con l'asta millimetrata le altezze come in figura:

h = altezza del punto di sospensione (fulcro) dal piano;

h_0 = posizione del baricentro della sfera dal piano;

Esse sono necessarie per ricavare la lunghezza L del pendolo.

Abbiamo misurato:

h = 55.5 cm con un errore di ± 0,1 cm dovuto agli errori di parallasse.

h_0 = 10.0 cm con un errore di ± 0,1 cm dovuto agli errori di parallasse.

Abbiamo quindi ricavato la lunghezza del pendolo per la prima prova:

$$L_1 = h - h_0 = (55.5 \pm 0.1)cm - (10.0 \pm 0.1)\ cm = \ (45.5 \pm 0.2)\ cm$$

A questo punto abbiamo effettuato la prova di laboratorio mettendo in oscillazione la sfera e abbiamo misurato con un cronometro il periodo di 10 oscillazioni. Abbiamo scelto 10 oscillazioni perche' il periodo di una singola oscillazione è troppo breve e difficile da rilevare. Ogni misura del periodo è stata effettuata da 10 incaricati così da poter creare una tabella con tutti i rilievi cronometrici:

	Tempo [s]
T1	13.51
T2	13.64
T3	13.63
T4	14.15
T4	13.43
T6	14.06
T7	13.52
T8	13.92
T9	13.62
T10	14.16

Abbiamo poi elaborato i dati statistici:

media aritmetica	somma di tutti i dati diviso il numero di dati (2 cifre significative)	$\overline{T_{10osc}} = \frac{T_1 + T_2 + .. + T_{10}}{10} = 13.76\ s$

errore assoluto ε o semi dispersione massima	valore massimo meno valore minimo diviso due (2 cifre significative)	$\varepsilon_{ass} = \frac{T_{max} - T_{min}}{2} = \frac{14.16 - 13.43}{2} = 0.37\ s$

Ottengo così il tempo medio di 10 oscillazioni

$$\overline{T_{10osc}} = (13.76\ \ \pm 0.37\ )\ s$$

Per 1 oscillazione devo dividere per 10 (3 cifre significative):

$$\overline{T} = \frac{T_{10osc}}{10} = \frac{(13.76 \ \pm 0.37\ )\ s}{10} = (1.376 \ \pm 0.037)\ s$$

Abbiamo ricavato il primo punto per il grafico L-T per la costruzione della parabola

L	T
$(45.5 \pm 0.2)\ cm$	$(1.376 \ \pm 0.037)\ s$

Ricavo ora T^2 necessario per la costruzione del secondo grafico L - T^2

$$T^2 = [(1.376 \ \pm 0.037)\ s]^2 = (\bar{T})^2 \pm (\Delta T)^2$$

$$(\bar{T})^2 = 1.376^2 = 1.893\ s^2$$

$$(\Delta T)^2 = \ \varepsilon_{rel} \cdot (\bar{T})^2 = 0.054 \ \cdot 1.893 = 0.102\ s^2$$

dove $\varepsilon_{rel} \ = 2\ \frac{\Delta T}{\bar{T}} = 2 \cdot \frac{0.037}{1.376} = 0.054$

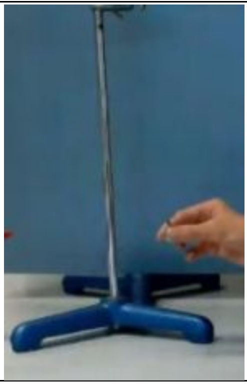
Per cui:

$$T^2 = (\bar{T})^2 \pm (\Delta T)^2 = (1.893 \pm 0.102)\ s^2$$

Abbiamo ricavato il primo punto per il grafico L-T^2 per la costruzione della retta

L	T^2
$(45.5 \pm 0.2)\ cm$	$(1.893 \pm 0.102)\ s^2$

Abbiamo ripetuto tutti i passaggi per un totale di 5 prove riducendo di volta in volta la lunghezza del pendolo e riportando sul quaderno in ogni prova le altezze h e h_0 e tutte le misure del periodo rilavate dai 10 incaricati

Prima prova	Seconda prova	Terza prova	Quarta prova	Quinta prova
L= (45,5 ± 0,2) cm	L= (38,9 ± 0,2) cm	L= (28,8 ± 0,2) cm	L= (18,4 ± 0,2) cm	L= (11,2 ± 0,2) cm
				

Abbiamo poi riportato tutti i dati in una tabella, ripetuti i calcoli necessari per la costruzione dei grafici L-T e L-T^2

Descrizione dei Risultati Ottenuti

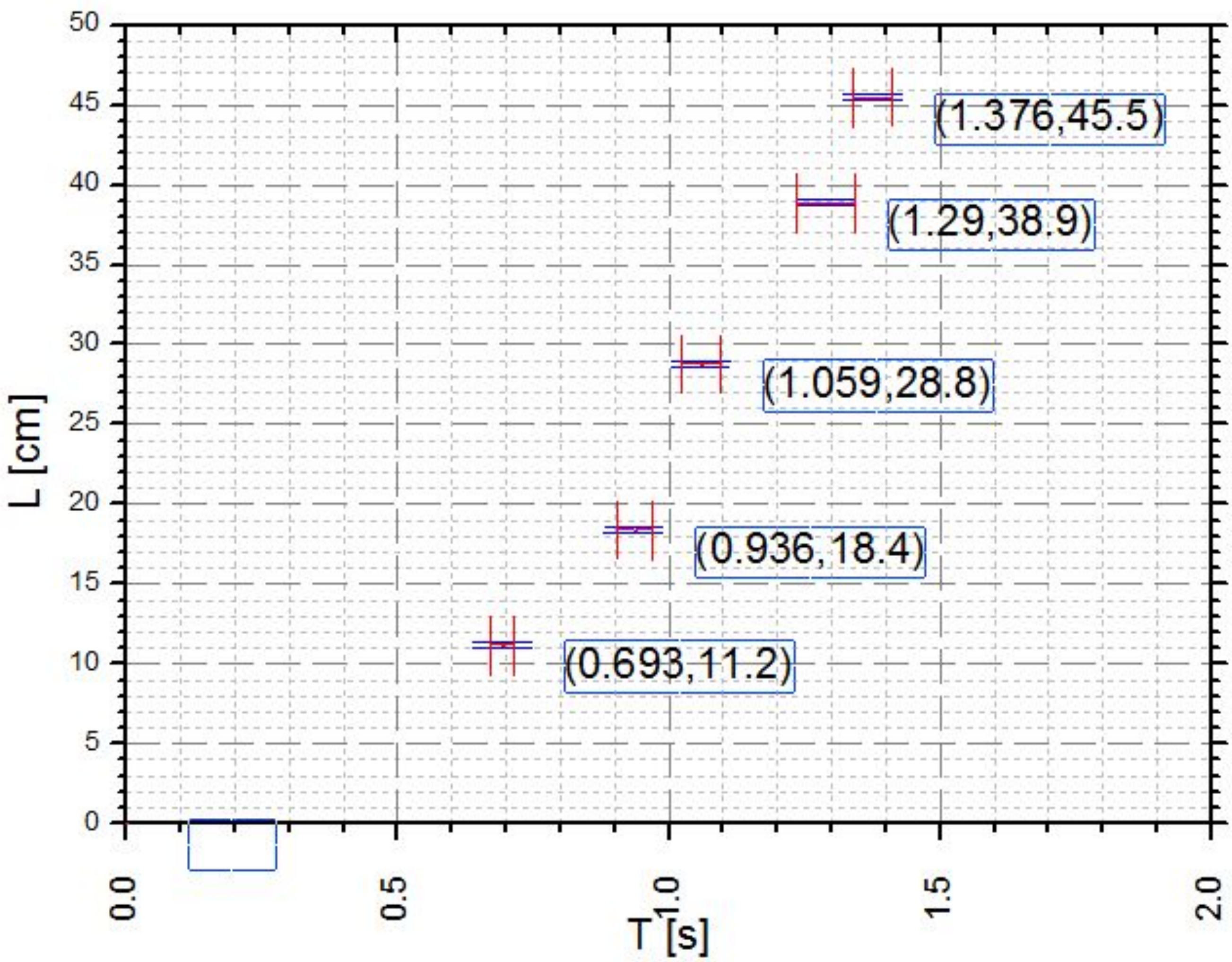
I dati relativi a tutte le prove sono stati raccolti ed elaborati in una tabella Excel:

DATI SPERIMENTALI					
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	5 prova
altezza sfera h0 [cm]	(10.0 ± 0,1) cm	(16,6 ± 0,1) cm	(26,7 ± 0,1) cm	(37,1 ± 0,1) cm	(44,3 ± 0,1) cm
altezza sospens. h [cm]	(55.5 ± 0.1) cm	(55.5 ± 0.1) cm	(55.5 ± 0.1) cm	(55.5 ± 0.1) cm	(55.5 ± 0.1) cm
L pendolo L=h-h0 [cm]	(45,5 ± 0,2) cm	(38,9 ± 0,2) cm	(28,8 ± 0,2) cm	(18,4 ± 0,2) cm	(11,2 ± 0,2) cm

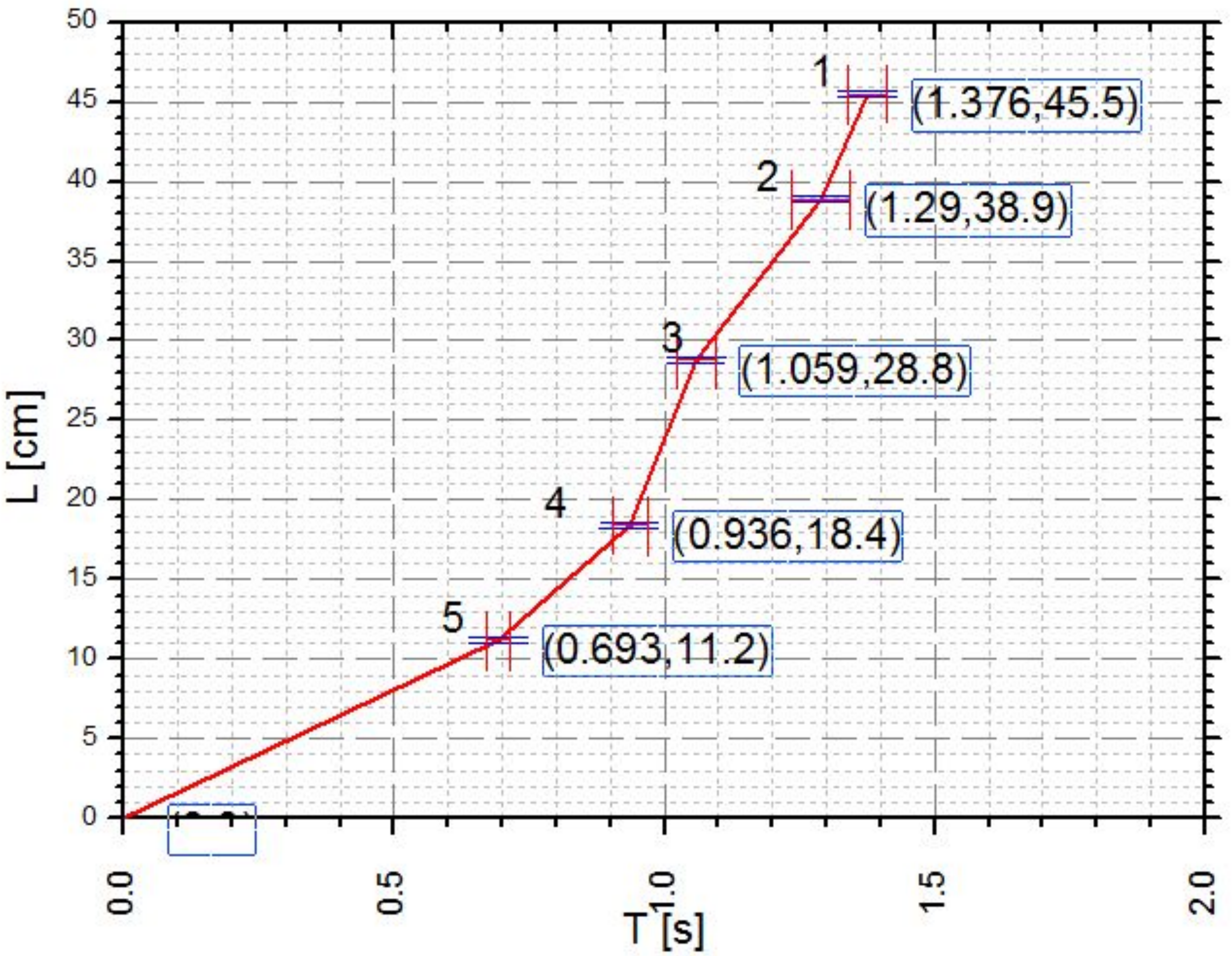
PROVA SPERIMENTALE					
10 oscillazioni	Tempo [s]	Tempo [s]	Tempo [s]	Tempo [s]	Tempo [s]
1	13.51	12.95	10.69	9.62	6.97
2	13.64	13.15	10.49	9.43	6.83
3	13.63	12.24	10.25	9.1	7.09
4	14.15	12.41	10.43	9.29	6.68
5	13.43	12.99	10.86	9.36	7.01
6	14.06	12.91	10.53	9.22	6.85
7	13.52	12.83	10.99	9.75	6.71
8	13.92	13.05	10.91	9.21	7.09
9	13.62	13.3	10.36	9.12	7.01
10	14.16	13.18	10.4	9.54	7.04
CALCOLO DELLA MEDIA DEL PERIODO E DEGLI ERRORI					
Media 10 prove	13.7640	12.9010	10.5910	9.3640	6.9280
media arrot. 2 cifre	13.76	12.9	10.59	9.36	6.93
Tempo medio 1 oscillazione [s]	1.376	1.29	1.059	0.936	0.693
Tempo medio arrot. a 3 cifre	1.376	1.29	1.059	0.936	0.693
tempo max 10osc	14.16	13.30	10.99	9.75	7.09
tempo min 10osc	13.43	12.24	10.25	9.10	6.68
errore su 10 osc	0.365	0.53	0.37	0.325	0.205
errore 10 oscill. Arrot. a 2 cifre	0.37	0.53	0.37	0.33	0.21
errore su 1 osc	0.037	0.053	0.037	0.033	0.021
errore 1 oscill. arrot. 3 cifre	0.037	0.053	0.037	0.033	0.021
Tempo medio 1 oscillazione con errore	(1.376 ± 0.037) s	(1.29 ± 0.053) s	(1.059 ± 0.037) s	(0.936 ± 0.033) s	(0.693 ± 0.021) s
L pendolo L=h-h0 [cm]	(45,5 ± 0,2) cm	(38,9 ± 0,2) cm	(28,8 ± 0,2) cm	(18,4 ± 0,2) cm	(11,2 ± 0,2) cm
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	5 prova

Successivamente ho creato un grafico con il programma ORIGIN mettendo in asse x (ascisse) la misura del periodo e in asse y (ordinate) la lunghezza del pendolo con i relativi errori evidenziando in rosso e in blu gli errori:

	A(X)	B(Y)	C(yEr±)	D(xEr±)
Long Name	T	L	errore B(Y)	errore A(X)
Units	[s]	[cm]	[cm]	[s]
Comments	periodo di oscillazione	lunghezza pendolo	errore di L	errore di T
1	1.376	45.5	0.2	0.037
2	1.29	38.9	0.2	0.053
3	1.059	28.8	0.2	0.037
4	0.936	18.4	0.2	0.033
5	0.693	11.2	0.2	0.021
6	0	0	0	0



Unendo i punti noto che i punti non sono allineati secondo una parabola.



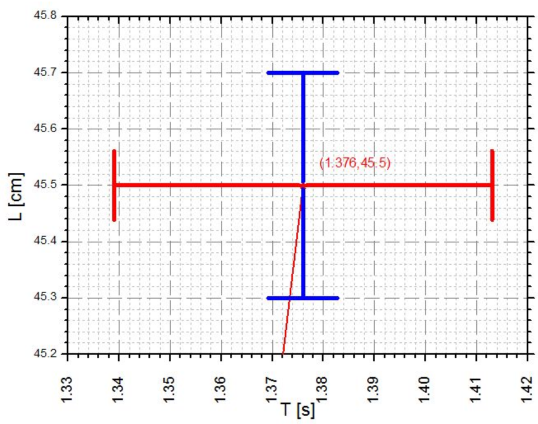
Ingrandimento dell'immagine per vedere gli errori per il primo punto:

	L pendolo	T periodo
Punto 1	$(45.5 \pm 0.2)\ cm$	$(1.376\ \pm 0.037)\ s$

- in blu gli errori ±0.2 cm sulla lunghezza L del pendolo
- in rosso gli errori ± 0,037 s sul periodo del pendolo

L'incertezza del punto del grafico è rappresentata dal rettangolo di lato

0.074 unita' (base) x 0.4 unita' (altezza)

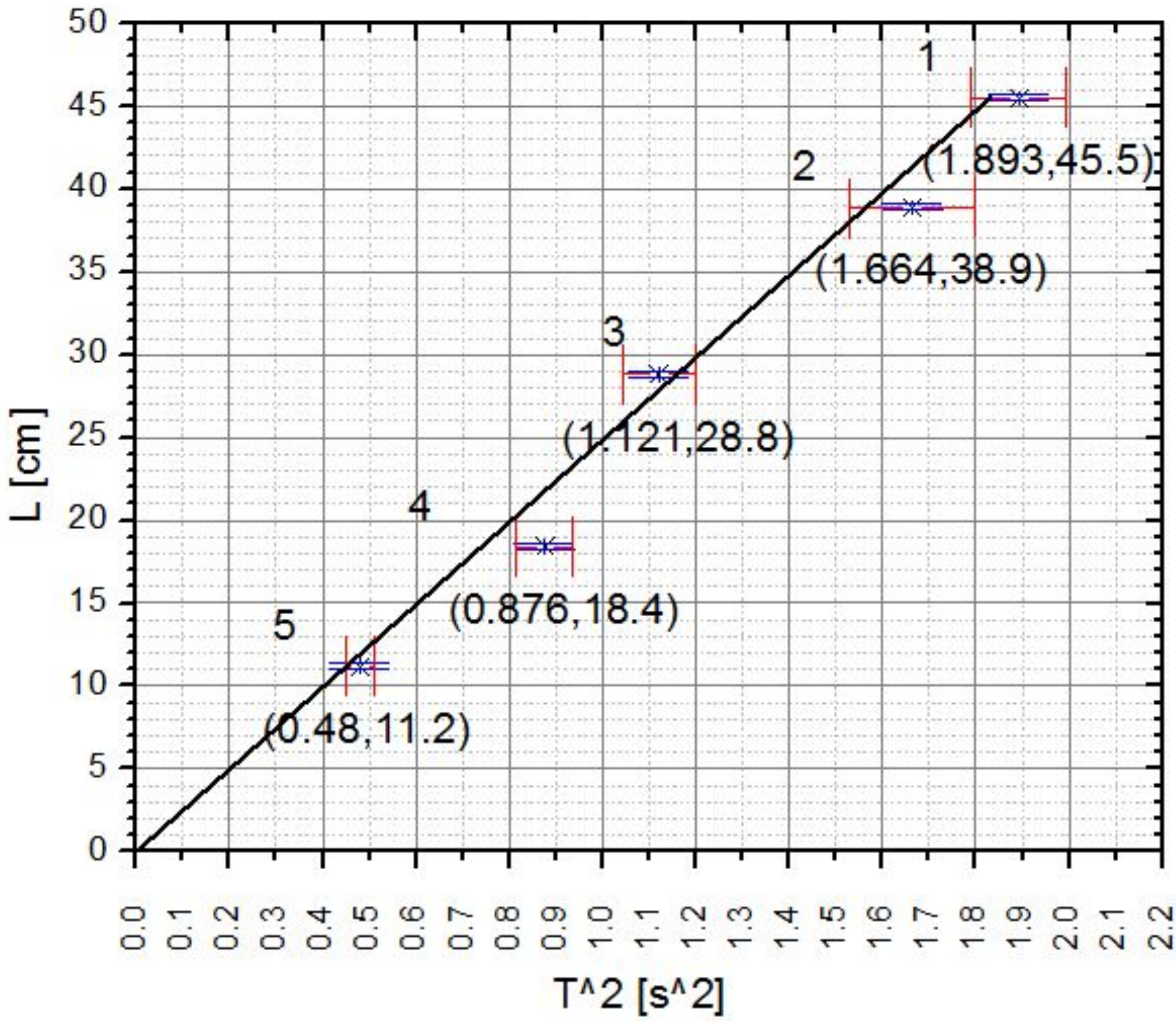


Per poter verificare la proporzionalita' quadratica elaboro i dati in Excel L - T^2 :

CALCOLO DEL QUADRATO DEL PERIODO E DEGLI ERRORI					
Periodo al quadrato [s^2]	1.893376	1.6641	1.121481	0.876096	0.480249
Periodo al quadrato [s^2] arrotondato 3 cifre	1.893	1.664	1.121	0.876	0.48
errore rel (T)	0.026889535	0.041085271	0.034938621	0.03525641	0.03030303
errore rel (T) arrot. 3 cifre	0.027	0.041	0.035	0.035	0.03
errore rel (T^2)	0.054	0.082	0.07	0.07	0.06
errore ass (T^2) [s^2]	0.102222	0.136448	0.07847	0.06132	0.0288
errore ass [s^2] arrot. 3 cifre	0.102	0.136	0.078	0.061	0.029
Quadrato del Periodo 1 oscillazione con errore	(1.893 ± 0.102) s^2	(1.664 ± 0.136) s^2	(1.121 ± 0.078) s^2	(0.876 ± 0.061) s^2	(0.48 ± 0.029) s^2
L pendolo L=h-h0 [cm]	(45,5 ± 0,2) cm	(38,9 ± 0,2) cm	(28,8 ± 0,2) cm	(18,4 ± 0,2) cm	(11,2 ± 0,2) cm
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	5 prova

Ho creato un grafico con il programma ORIGIN mettendo in asse x (ascisse) la misura del quadrato del periodo T^2 e in asse y (ordinate) la lunghezza del pendolo con i relativi errori evidenziando in rosso gli errori di T^2 e in blu gli errori di L:

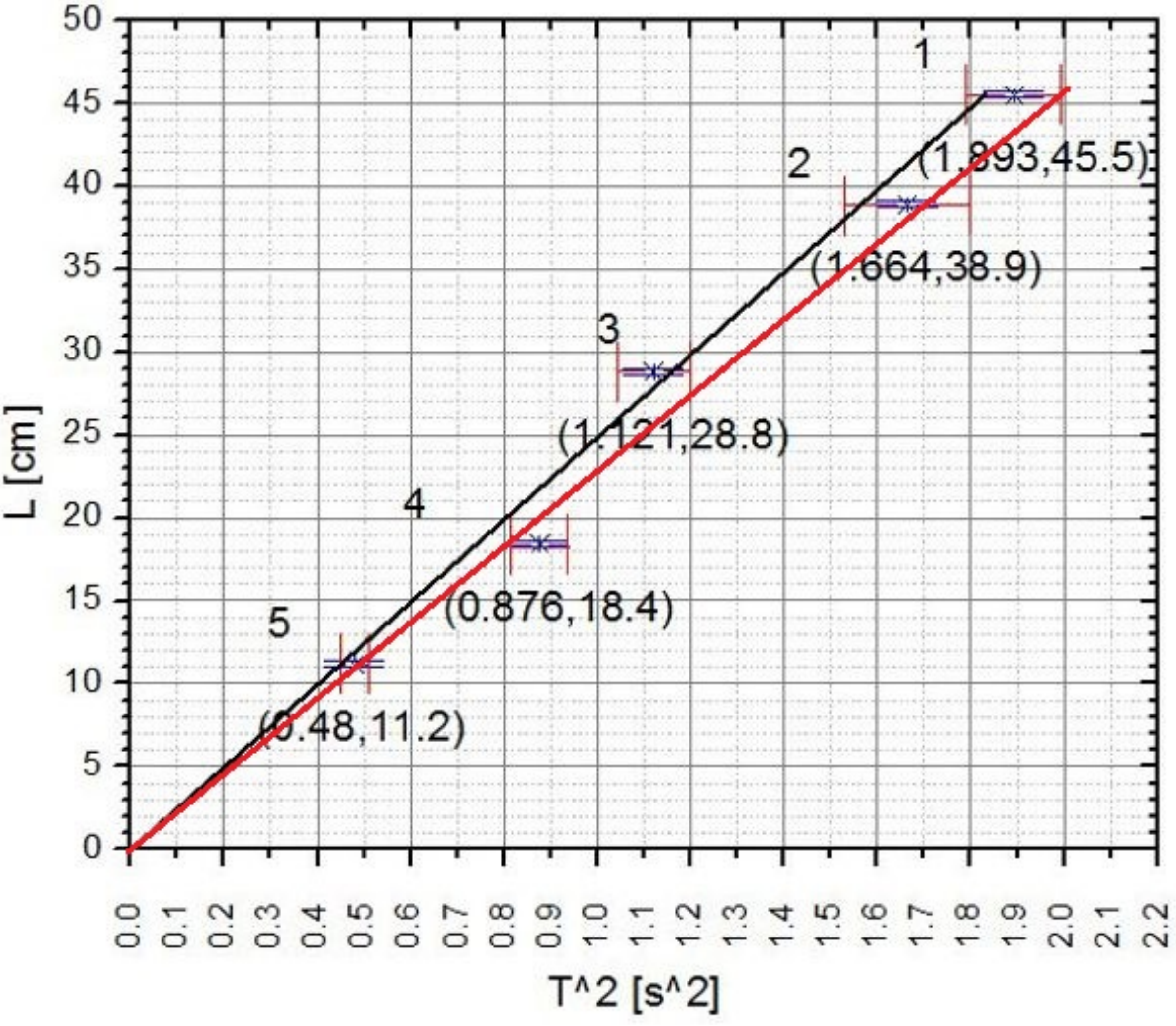
	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)
Long Name	T^2	L	errore B(Y)	errore A(X)
Units	[s^2]	[cm]	[cm]	[s^2]
Comments	Quadrato del Periodo	lunghezza pendolo	errore di L	errore di T^2
1	1.893	45.5	0.2	0.102
2	1.664	38.9	0.2	0.136
3	1.121	28.8	0.2	0.078
4	0.876	18.4	0.2	0.061
5	0.48	11.2	0.2	0.029
6	0	0	0	0



Conclusioni

Analizzando il grafico L-T^2 osservo che non riesco a tracciare una semiretta uscente dall'origine che passi per tutti i punti all'interno dei rettangoli degli errori:

- il punto 4 con il suo errore è sempre esterno alla semiretta NERA uscente dall'origine
- i punti 1, 2, 3 e 5 con i relativi errori sono interni per poco alla semiretta NERA
- se cambio semiretta un punto e' sempre fuori (vedere punto 3 per la semiretta ROSSA)



Deduco che sono stati compiuti i seguenti errori:

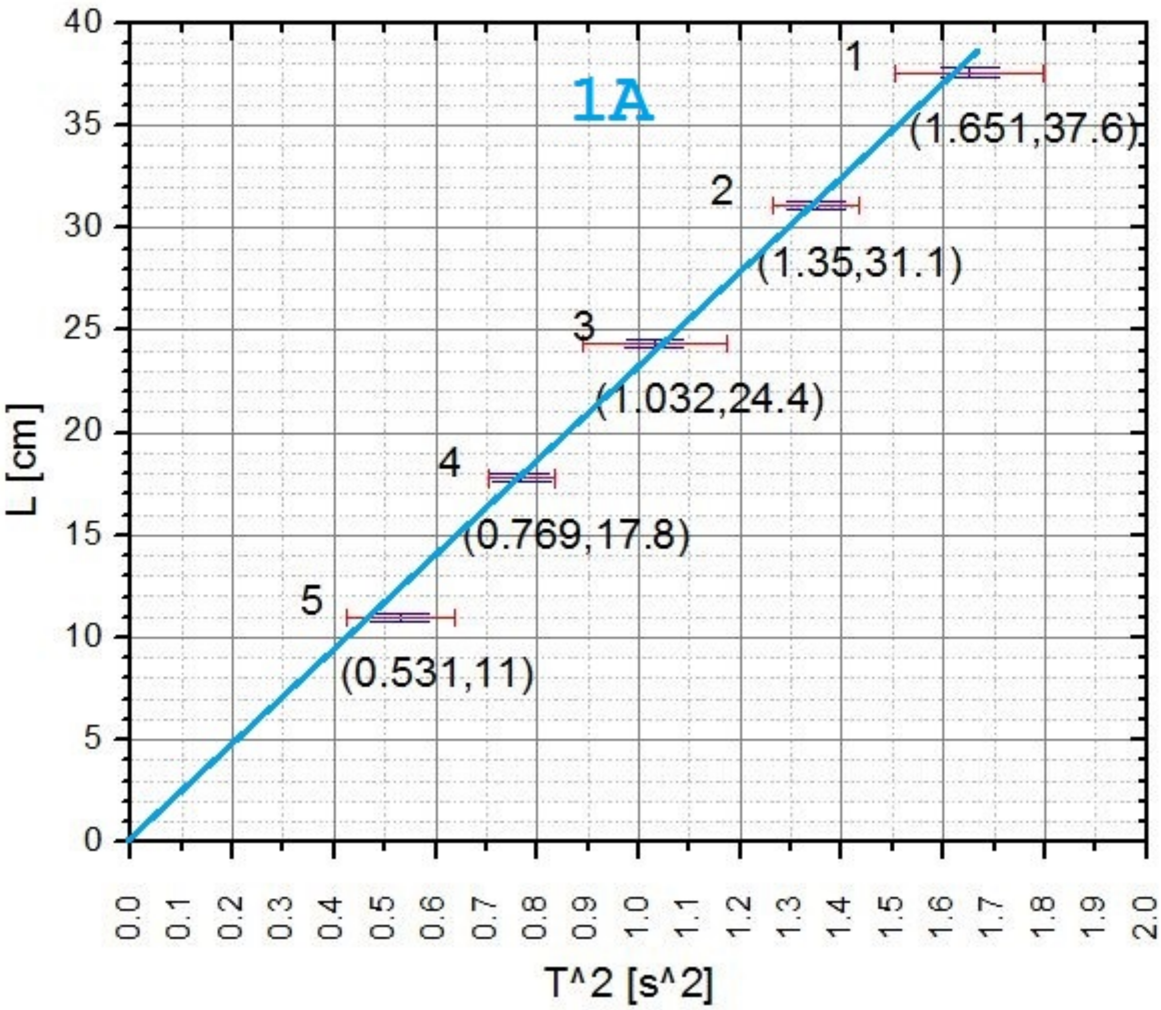
1. errori nella misurazione del tempo delle oscillazioni da parte degli incaricati.
   sono errori di anticipo o ritardo sia in avvio che in arresto del cronometro.

Ipotizzo anche errori nel rilascio della sfera del pendolo

I punti 3 e 4 sono l'evidenza di questi errori.

Per verificare i miei calcoli e le mie deduzioni ho visto la lezione della 1A su YouTube e ho sostituto i loro dati nella mia tabella in Excel. Non riporto le tabelle Excel ma solo i risultati ottenuti.
Tabella ORIGIN e grafico L-T^2 classe 1A :

	A(X)	B(Y)	C(Y)	D(Y)
Long Name	T^2	L	errore B(Y)	errore A(X)
Units	[s^2]	[cm]	[cm]	[s^2]
Comments	Quadrato del Periodo	lunghezza pendolo		
1	1.651	37.6	0.2	0.145
2	1.35	31.1	0.2	0.084
3	1.032	24.4	0.2	0.142
4	0.769	17.8	0.2	0.065
5	0.531	11	0.2	0.105
6	0	0	0	0



In questo caso è stato possibile tracciare una semiretta uscente dall'origine tale che tutti i 5 punti vengano toccati (semiretta BLU).
E' quindi dimostrata la proporzionalita' diretta tra la lunghezza del pendolo L e il quadrato del periodo del periodo T^2.

Con i dati della classe 1A è possibile calcolare il coefficiente K di proporzionalita' quadratica:
Per il primo punto:

L dati classe 1A	T^2 dati classe 1A
$(37.6 \pm 0.2)\ cm$	$(1.651 \pm 0.145)\ s^2$

$$K = \frac{L}{T^2} = \frac{(37.6 \pm 0.2)\ cm}{(1.651 \pm 0.145)\ s^2} = \bar{K} \pm \Delta K$$
$$\bar{K} = \frac{37.6}{1.651} = 22.77\ \frac{cm}{s^2}$$
$$\overline{\Delta K} = \bar{K} \cdot (\varepsilon_{rel}) = 22.77 \ = 22.77 \cdot 0.093 = 2.12 \frac{cm}{s^2}$$
$$\varepsilon(L) = \frac{0.2}{37.6} = 0.005$$
$$\varepsilon(T^2) = \frac{0.145}{1.651} = 0.088$$
$$\varepsilon_{rel} = \varepsilon(L) + \varepsilon(T^2) = 0.005 + 0.088 = 0.093$$

$$K = \frac{L}{T^2} = \bar{K} \pm \Delta K = (\ 2.77 \pm \ 2.12)\ \frac{cm}{s^2}$$

Ho ricavato il primo valore. Costruisco ed elaboro la tabella Excel per tutti gli punti

CALCOLO della K = L / T^2 classe 1A					
	1 prova	2 prova	3 prova	4 prova	5 prova
L pendolo	(37,6 ± 0,2) cm	(31,1 ± 0,2) cm	(24,4 ± 0,2) cm	(17.8 ± 0,2) cm	(11,0 ± 0,2) cm
L	37.6	31.1	24.4	17.8	11
Errore di L	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
T^2	(1.651 ± 0.145) s^2	(1.35 ± 0.084) s^2	(1.032 ± 0.142) s^2	(0.769 ± 0.065) s^2	(0.531 ± 0.105) s^2
T^2	1.651	1.35	1.032	0.769	0.531
errore T^2	0.145	0.084	0.142	0.065	0.105
K = L / T^2	22.77407632	23.03703704	23.64341085	23.14694408	20.71563089
K appross 2 cifre	22.77	23.04	23.64	23.15	20.72
Errore ΔK	2.120905029	1.581767203	3.446561189	2.216874388	4.473902414
ΔK appr 2 cifre	2.12	1.58	3.45	2.22	4.47
K con errori	(22.77 ± 2.12) cm/s^2	(23.04 ± 1.58) cm/s^2	(23.64 ± 3.45) cm/s^2	(23.15 ± 2.22) cm/s^2	(20.72 ± 4.47) cm/s^2

Riordino in tabella :

Classe 1A	L	T^2	$K=L/T^2$
1	(37,6 ± 0,2) cm	(1.651 ± 0.145) s^2	(22.77 ± 2.12) cm/s^2
2	(31,1 ± 0,2) cm	(1.35 ± 0.084) s^2	(23.04 ± 1.58) cm/s^2
3	(24,4 ± 0,2) cm	(1.032 ± 0.142) s^2	(23.64 ± 3.45) cm/s^2
4	(17.8 ± 0,2) cm	(0.769 ± 0.065) s^2	(23.15 ± 2.22) cm/s^2
5	(11,0 ± 0,2) cm	(0.531 ± 0.105) s^2	(20.72 ± 4.47) cm/s^2

Il valore medio di K e'

$$\overline{K} = \frac{K_1 + K_2 + .. + K_5}{5} =$$

$$= \frac{(22.77 \pm 2.12) + (23.04 \pm 1.58) + (23.64 \pm 3.45) + (23.15 \pm 2.22) + (20.72 \pm 4.47)}{5}$$

$$= \frac{113.32 \pm 13.84}{5} = 22.66 \pm 2.77 \frac{cm}{s^2}$$

$$\overline{K} = (22.66 \pm 2.77) \frac{cm}{s^2}$$

Conclusione finale

In questa prova di esperienza è stato interessante confrontare gli errori sperimentali delle prove effettuate da due classi diverse.

I dati sperimentali della classe 1C non portano a dimostrare la relazione di proporzionalita' quadratica tra la lunghezza del pendolo L e il quadrato del suo periodo di oscillazione: ci sono evidenti errori di misurazione e non è possibile ricavare una semiretta nel grafico L-T^2 passante per tutti i punti.

Con i dati della classe 1A possiamo invece affermare:

la lunghezza del pendolo L e' direttamente proporzionale al quadrato del suo periodo di oscillazione T e quindi e' rispettata la relazione di proporzionalità quadratica come dalla formula:

$$\frac{L}{T^2} = K \ \ (che\ si\ puo\ scrivere\ anche\ L = K\, T^2)$$

e la costante di proporzionalità quadratica media e' :

$$\overline{K} = (22.66 \pm 2.77) \frac{cm}{s^2}$$

Bibliografia

Appunti alle lezioni di Fisica e alle lezioni di matematica e libri
Fisica :Ugo Amaldi La fisica per i licei scientifici ,
Matematica:Sasso-Zenone Colori della Matematica

https://www.matematicamente.it/appunti/fisica-per-le-superiori/misure-ed-errori/gli-errori-misura/
video 1A https://www.youtube.com/watch?v=c9pnj1Gg_sc

https://www.originlab.com/index.aspx?go=Products/Origin/Graphing#Line_.26_Symbol_Graphs

Materiali di Supporto

Foglio Excel
1C : 1C_prop quadratica_1C.xls
1A : 1A_prop quadratica_1°.xls

File ORIGINLAB
1C_2020.12.15_proporzionalita quadratica.opj
1A_2020.12.15_proporzionalita quadratica.opj

Funzioni Excel usate:

	DESCRIZIONE	**SINTASSI**	**ESEMPIO**	**DESCRIZIONE**
MIN	restituisce il valore minimo di un insieme di valori.	MIN(cella_1:cella_n)	=MAX(A2:A6)	Il valore più piccolo nell'intervallo A2:A6
MAX	restituisce il valore maggiore di un insieme di valori.	MAX(cella_1:cella_n)	=MAX(A2:A6)	Il valore più grande nell'intervallo A2:A6
MEDIA	restituisce la media aritmetica di un insieme di valori.	MEDIA(cella_1:cella_n)	=MEDIA(A2:A3)	se A2=8 e A3=12 restituisce 10
ARROTONDA	arrotonda un numero al numero di cifre specificato	ARROTONDA(cella; num_cifre)	=ARROTONDA(A2;1)	se A2=2,149 arrotonda a una cifra decimale,restituisce 2,1
PI.GRECO()	pi greco	PI.GRECO()	=PI.GRECO()	restituisce 3,141592654
RADQ	restituisce la radice quadrata di un numero	RADQ(cella)	=RADQ(A2)	se A2=16 restituisce 4
	concatenamento di numeri e caratteri	i caratteri " " e & & si usano per concatenare i caratteri di testo con le formule	="(" &A2& " ± " &A3&")cm/s^2"	Se A2=24.4 e A3=1.4 restituisce (24.04 ± 1.4) cm/s^2