

Laboratorio di fisica sperimentale

Marco Toppi - canale L-Z

marco.toppi@uniroma1.it

meccanica Ingegneria



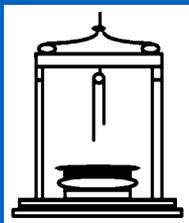
<https://corsidilaurea.uniroma1.it/it/users/marcotoppiuniroma1i>

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica



A.A. 2023-2024



Seconda esperienza la molla:

- il regime di Hooke
- l'oscillatore armonico

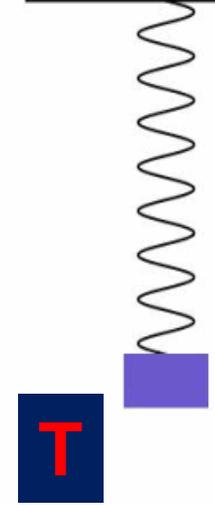
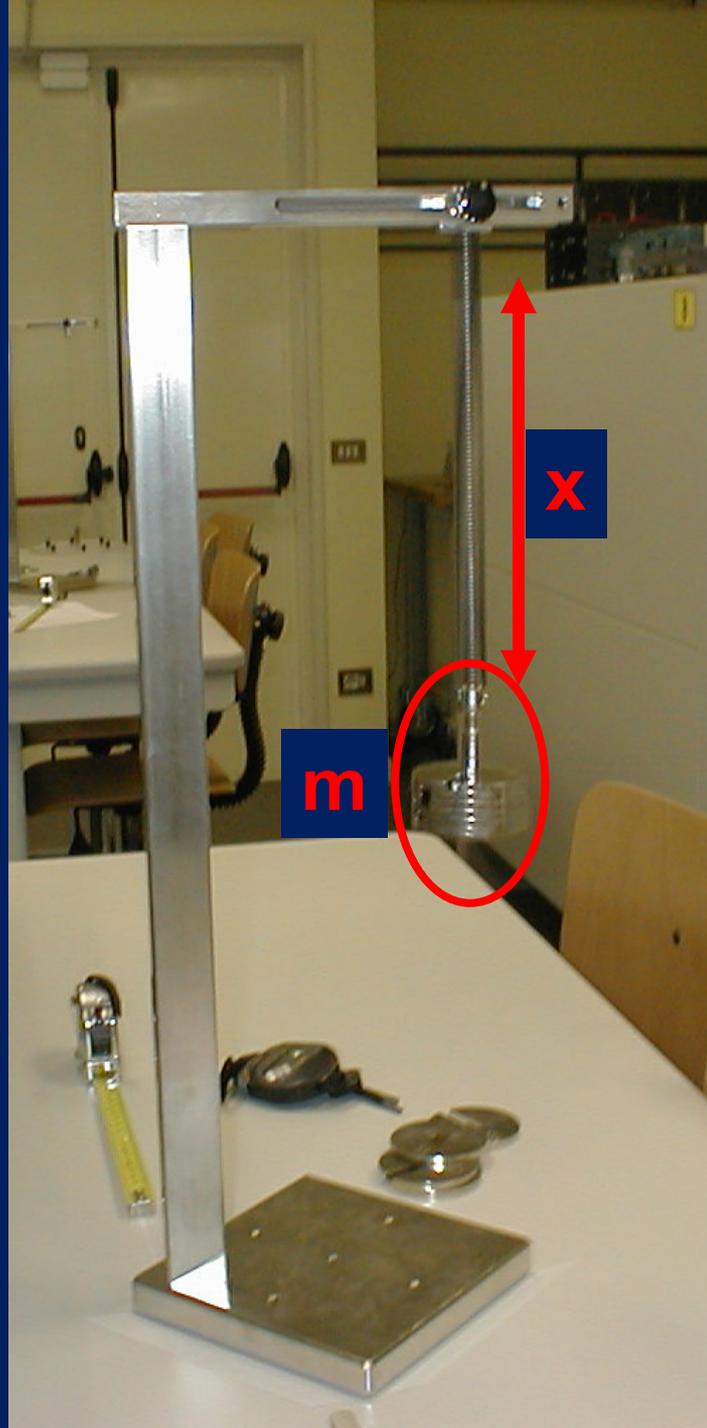
lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;
ne siete responsabili (anche della strumentazione)

1) Relazione fra x e m

2) Relazione fra T e m

3) Conclusioni

4) Isocronismo (forse)



$$\sum_{i=1,N} \vec{F}_i = m \vec{a}$$

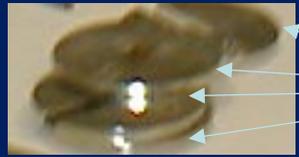
forza peso $F_p = m g$
 forza elastica $F_e = -K(x - x_0)$

Per non smontare l'apparecchiatura
 NON viene misurato il valore m_0
 della massa complessiva della molla
 e del supporto delle masse

dove $m = m_0 + \Delta m$

Δm assume i valori:

- $\Delta m_0 = 0$
- $\Delta m_1 = m_1$
- $\Delta m_2 = m_1 + m_2$
- $\Delta m_3 = m_1 + m_2 + m_3$
- $\Delta m_n = m_1 + m_2 + \dots + m_n$



x

$$(m_0 + \Delta m) g - K(x - x_0) = (m_0 + \Delta m) \frac{d^2 x}{dt^2}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{K}{m_0 + \Delta m} x = \frac{K x_0}{m_0 + \Delta m} + g$$

$m_0 + \Delta m$



La molla è pretensionata \rightarrow la lunghezza a riposo x_0 non è misurabile perché è inferiore allo spessore delle N spire

Studiare (misure, tabella, grafico, LabCalc)
la relazione fra x e Δm (x vs Δm) $\rightarrow K_s = g/p$

$$Y = f(X) \leftrightarrow Y \text{ VS } X$$

$$Y = p X + q$$

$$x = g/K \Delta m + c$$

Δm assume i valori:

$$\Delta m_0 = 0$$

$$\Delta m_1 = m_1$$

$$\Delta m_2 = m_1 + m_2$$

$$\Delta m_3 = m_1 + m_2 + m_3$$

$$\Delta m_n = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

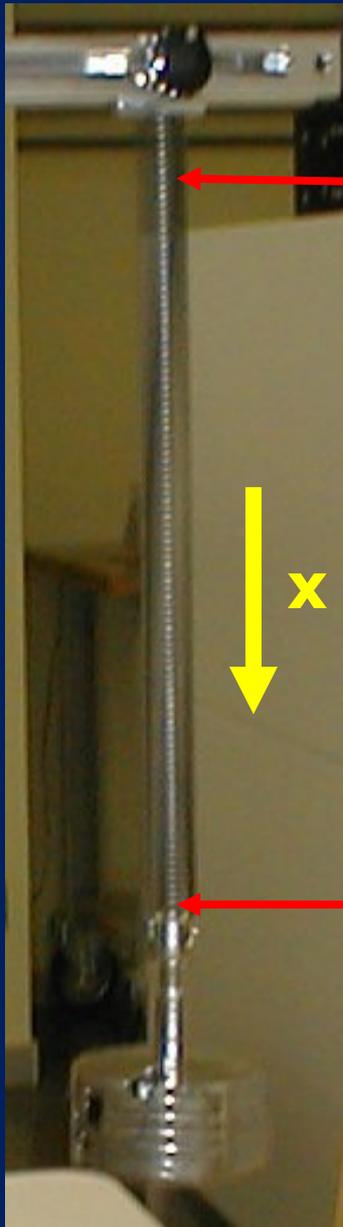
$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m_0 + \Delta m} x = \frac{K x_0}{m_0 + \Delta m} + g$$

STATICA

$$\frac{K}{m_0 + \Delta m} x = \frac{K x_0}{m_0 + \Delta m} + g$$

$$x = x_0 + \frac{g}{K} (m_0 + \Delta m) = c + \frac{g}{K} \Delta m$$

Confermare se si è in regime di Hooke, l'esistenza o meno del pretensionamento della molla e determinare K_s



Δm assume gli 11 valori:

$$\Delta m_0 = 0$$

$$\Delta m_1 = m_1$$

$$\Delta m_2 = m_1 + m_2$$

$$\Delta m_3 = m_1 + m_2 + m_3$$

$$\Delta m_n = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

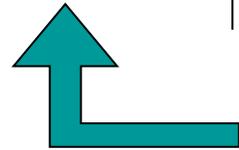


i	m_i (g)	Δm_i (g)	x (cm)	t_{10} (s)	T^2 (s ²)
0	0	0	10,8		
1	80,7	80,7	10,7		
2	79,9	160,6	10,5		
3	78,7	239,3	12,1		
4	81,0	320,3	13,8		
5	...	...	...
6	...	...	...
7	...	...	...
8	...	...	...
9	...	...	...
10	...	...	...

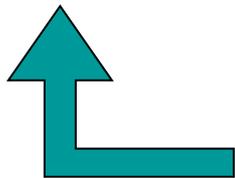
x (cm)	$\Delta m(g)$
10,6	0
10,7	80,7
10,5	160,6
12,1	239,3
13,8	320,3
16,1	400,1
18,9	479,6
20,1	561,2
21,7	628,7
24,3	701,4
25,6	796,4

simbolo della grandezza
con unità di misura

Attenzione: questi valori sono simulati.
Le misure reali possono essere
molto diverse



tutte le cifre fornite dallo strumento
digitale



tutte le cifre corrispondenti a 1/10 della divisione
dello strumento **analogico**.

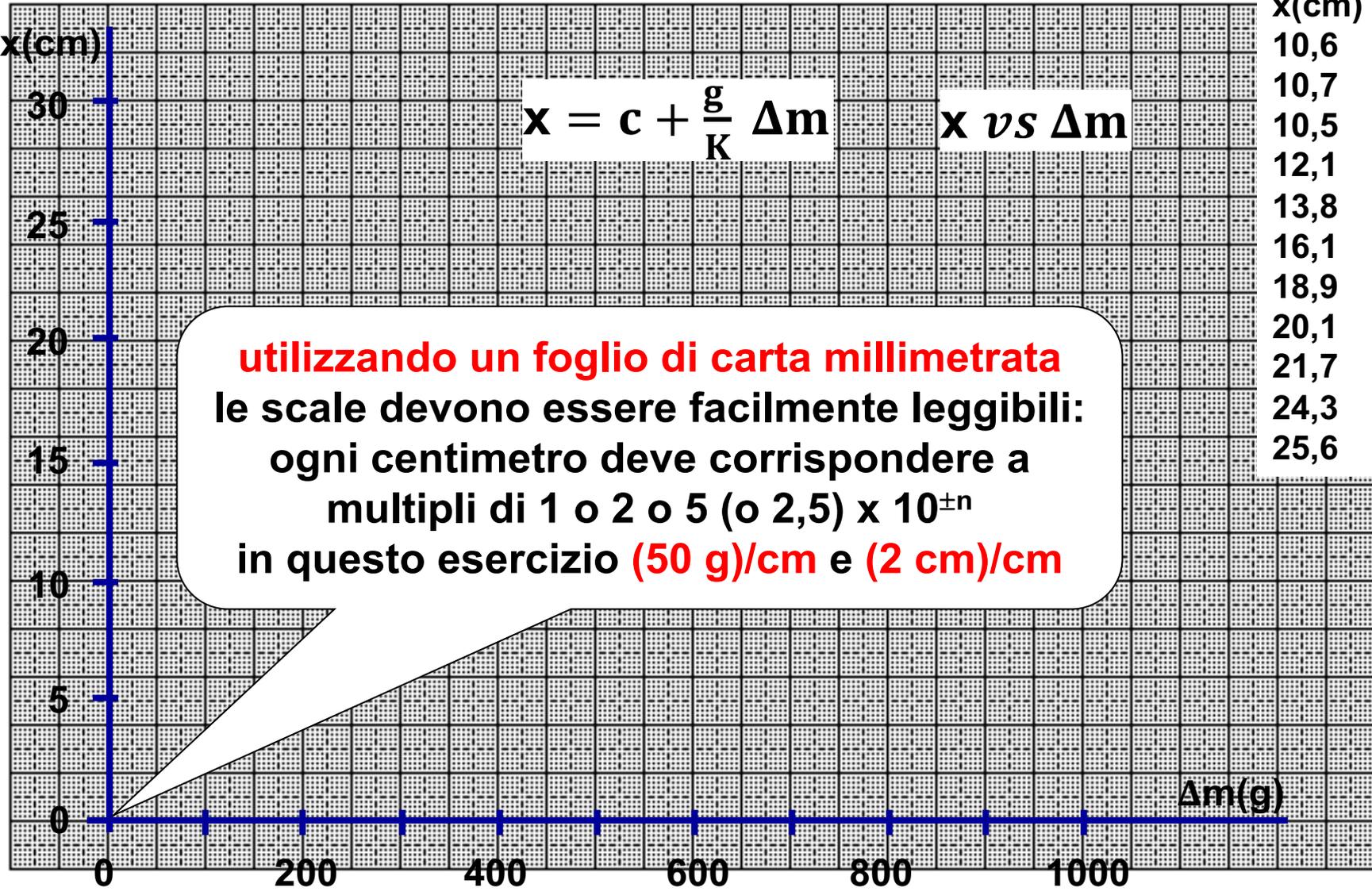
In questo caso, data la difficoltà della misura,
tutte le cifre corrispondenti alla divisione

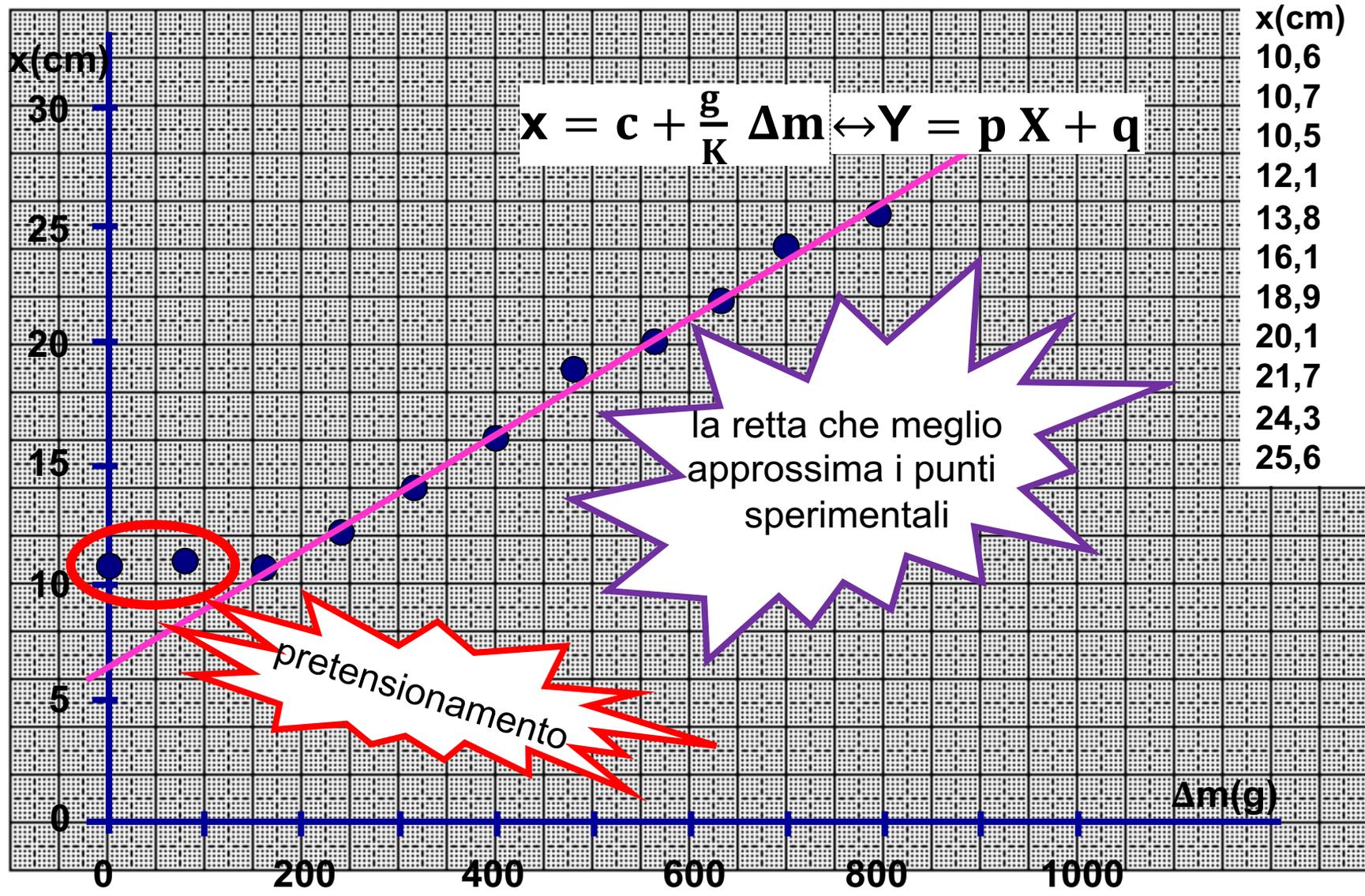
x(cm)	$\Delta m(g)$
10,6	0
10,7	80,7
10,5	160,6
12,1	239,3
13,8	320,3
16,1	400,1
18,9	479,6
20,1	561,2
21,7	628,7
24,3	701,4
25,6	796,4

$$x = c + \frac{g}{K} \Delta m$$

x vs Δm

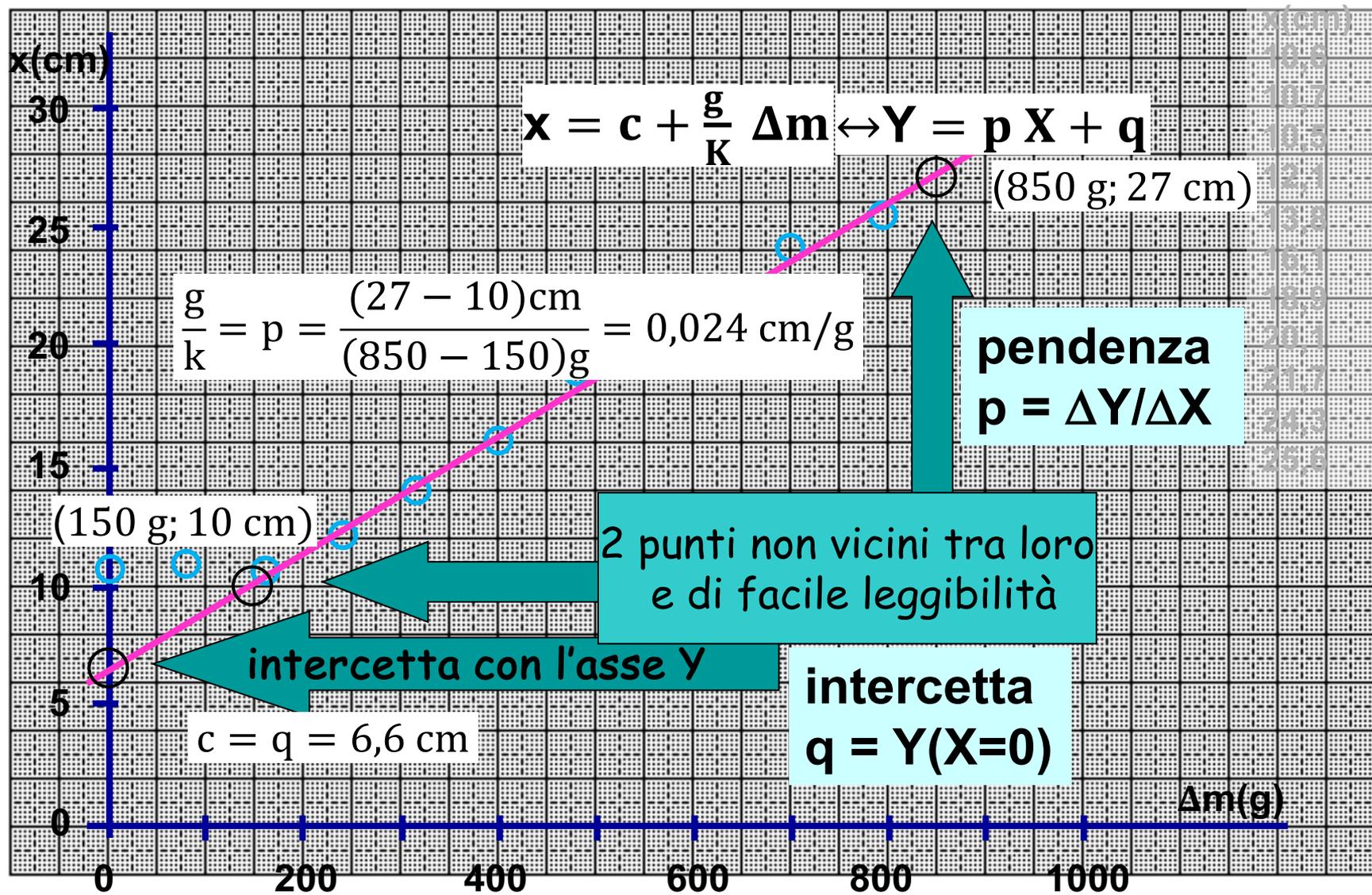
utilizzando un foglio di carta millimetrata
 le scale devono essere facilmente leggibili:
 ogni centimetro deve corrispondere a
 multipli di 1 o 2 o 5 (o 2,5) x 10^{±n}
 in questo esercizio **(50 g)/cm** e **(2 cm)/cm**





x(cm)	$\Delta m(g)$
10,6	0
10,7	80,7
10,5	160,6
12,1	239,3
13,8	320,3
16,1	400,1
18,9	479,6
20,1	561,2
21,7	628,7
24,3	701,4
25,6	796,4





$\Delta m(\text{g})$	$x(\text{cm})$
0	10,6
80,7	10,7
160,6	10,5
239,3	12,1
320,3	13,8
400,1	16,1
479,6	18,9
561,2	20,1
628,7	21,7
701,4	24,3
796,4	25,6

$$Y = p X + q$$

più quantitativamente

Per il calcolo dei parametri di una retta (verificato che sia una retta!!!) si può utilizzare **LabCalc** che fornisce la pendenza con la deviazione standard l'intercetta con la deviazione standard

$$p \pm \sigma_p$$

inserire tutti i dati

$$q \pm \sigma_q$$

tranne

quelli influenzati dal pretensionamento

i	X _i	Y _i
1	60,84	48
2	144	113
3	246,49	193
4	404,01	322
5	571,21	442
6	784	613
7	1024	806
8	1288,81	1000

Pendenza
 p 0,783304
 σ_p 0,003073

Intercetta
 q 0,354039
 σ_q 2,145561

Correlazione lineare
 r 0,999954

Cancella
Azzerà

Stabilire se la misura della pendenza della relazione **x vs Δm** è:

- molto precisa: $\sigma_p / |p| < 1\%$
- precisa: $1\% < \sigma_p / |p| < 5\%$
- poco precisa: $5\% < \sigma_p / |p| < 20\%$
- imprecisa: $\sigma_p / |p| > 20\%$

ATTENZIONE

- 1) durante il moto il numero di spire "attive" della molla non deve variare
- 2) le oscillazioni devono essere quanto più possibile solo in direzione verticale
- 3) la base non deve oscillare

sollevare le masse per non più di 1-2
cm

dal punto di equilibrio e
lasciare scendere liberamente



DINAMICA

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{K}{m_0 + \Delta m} x = \frac{K x_0}{m_0 + \Delta m} + g$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = c \quad \omega^2 = \frac{K}{m_0 + \Delta m} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$$

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{m_0 + \Delta m}{K} = \frac{4\pi^2 m_0}{K} + \frac{4\pi^2}{K} \Delta m$$

Studiare (misure, tabella, grafico, LabCalc)
la relazione fra T^2 e M : T^2 vs $\Delta m \rightarrow K_d = 4\pi^2/p$



Per ridurre gli errori misurare
la durata t_{10} di 10 periodi

$$T^2 = (t_{10}/10)^2$$

determinare K_d

per bassi valori di massa il
sistema non oscilla liberamente
 $\rightarrow \Delta m_3 \Delta m_4 \Delta m_6 \Delta m_7 \Delta m_8 \Delta m_9$

Δm_{10}

Δm NON assume tutti gli 11 valori:

$$\Delta m_0 = 0$$

$$\Delta m_1 = m_1$$

$$\Delta m_2 = m_1 + m$$

$$\Delta m_3 = m_1 + m_2 + m_3$$

$$\Delta m_n = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$



1) Stabilire se la misura della **pendenza** della relazione T^2 vs Δm è stata **più o meno precisa**.

2) Ricavare dalla pendenza il valore K_d della costante elastica della molla ottenuta dallo studio dinamico

3) **Calcolare: la media aritmetica** dei due valori $(K_s + K_d)/2$ che rappresenta la migliore stima che possiamo ottenere della costante elastica;

lo **scarto relativo** $S = \frac{K_s - K_d}{(K_s + K_d)/2}$ che indica l'accordo fra i due risultati e

quindi dà un'indicazione dell'accuratezza della misura:

- molto accurata: $|s| < 1\%$
- accurata: $1\% < |s| < 5\%$
- poco accurata: $5\% < |s| < 20\%$
- inaccurata: $|s| > 20\%$

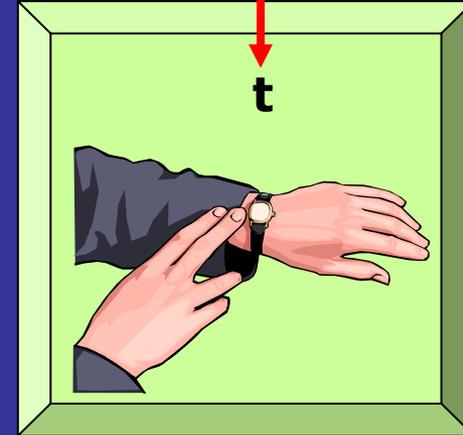
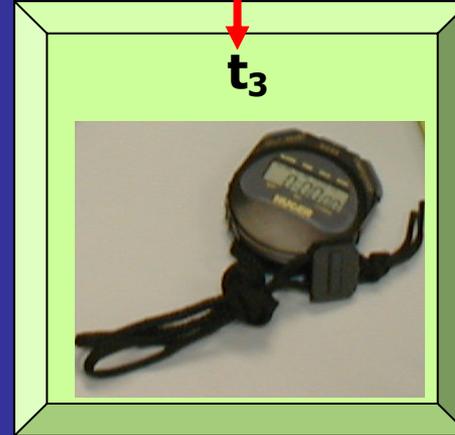
RISULTATO FINALE $K = 30-50$ N/m

RIPORTARE I COMMENTI NEL FOGLIO

INSERIRE 5 DISCHI

MOLLA [4/4]

Verificare l'isocronismo delle oscillazioni misurando t_3 11 volte (ogni 30 s, fino a 300 s)



t_3 : durata di 3 oscillazioni per migliorare la precisione

Se le oscillazioni fossero isocrone allora t_3 vs t avrebbe l'andamento di una retta di pendenza nulla...
 t_3 è sostanzialmente costante?

LabCalc: $|p| < \sigma_p$? oppure $< 2\sigma_p$? oppure $< 3\sigma_p$?

RIPORTARE I COMMENTI NEL FOGLIO

quanto abbiamo influenzato le misure effettuate col cronometro?

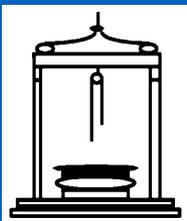
TEMPO DI REAZIONE

SI', cioè: NO!

LABORATORIO DI FISICA SPERIMENTALE

Ingegneria meccanica

A.A. 2023-2024



A giovedì 11 APRILE

lasciate il tavolo di laboratorio in ordine e pulito;
ne siete responsabili (anche della strumentazione)

