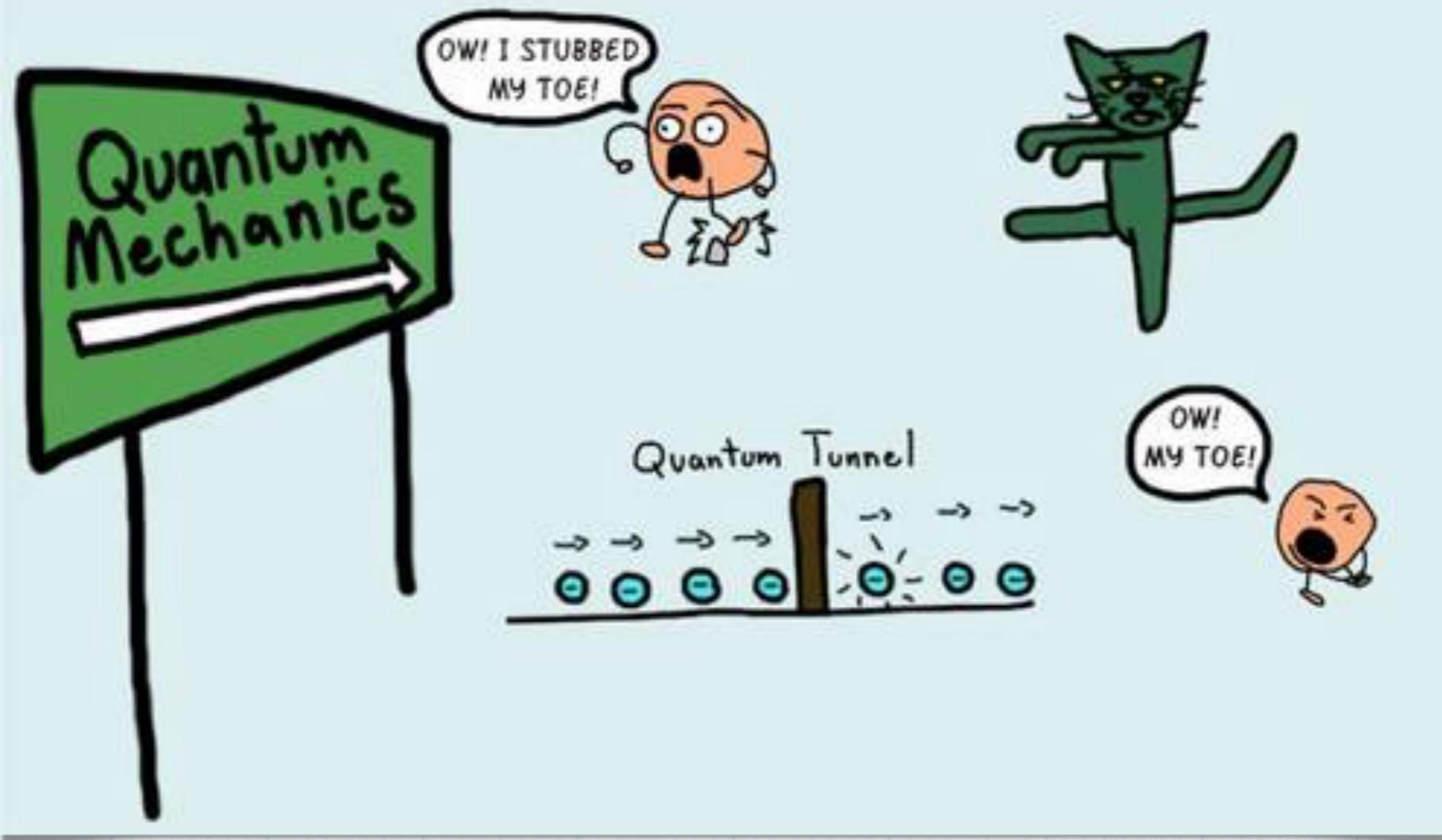


... THE WONDERFULLY WEIRD WORLD OF QUANTUM MECHANICS!



Se credete di aver capito la teoria dei quanti, vuol dire che non l'avete capita

Richard Feynman

# Il mestiere del fisico: leggere e comunicare un esperimento

Giovanni Cantele  
CNR-SPIN



Consiglio Nazionale delle Ricerche

# Il mestiere del fisico

- \* La fisica si propone di studiare i fenomeni al fine di individuare le leggi che li descrivono

## Matematica

- \* science assiomatico-deduttiva

- \* i teoremi discendono dagli assiomi mediante un procedimento dimostrativo

- \* le verità matematiche sono astratte e non richiedono conferme sperimentali

## Fisica

- \* scienza sperimentale

- \* leggi fisiche dedotte da osservazione e misurazione di fenomeni concreti

- \* le verità della Fisica sono concrete e devono essere verificate da osservazioni sperimentali

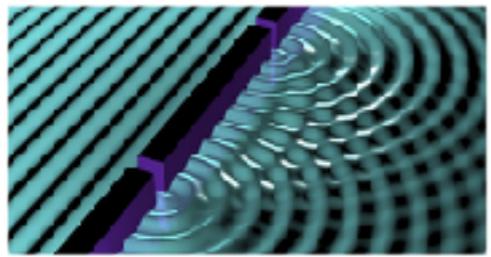
# Il mestiere del fisico

- \* In matematica, un teorema è per sempre....  
- \* Il metodo sperimentale ci consente invece di elaborare leggi che risultano valide per determinate classi di fenomeni, e FINO A PROVA CONTRARIA!!!!   
- \* “Nessuna quantità di esperimenti potrà dimostrare che ho ragione; un unico esperimento potrà dimostrare che ho sbagliato”, A. Einstein, lettera a Max Born del 4 dicembre 1926

# Il mestiere del fisico

## \* Un esempio:

- ◆ La meccanica classica descrive il moto di un corpo soggetto a forze esterne, tutte le principali osservazioni nel mondo che ci circonda (inclusi il moto dei pianeti o l'orbita dei satelliti attorno alla Terra!) confermano le sue leggi
- ◆ Tuttavia emergono osservazioni che non trovano riscontro nelle leggi della meccanica classica



particelle "invisibili" all'occhio umano e ai comuni strumenti di osservazione (come un microscopio): ad esempio gli elettroni → la **MECCANICA QUANTISTICA**

$$E=mc^2$$

particelle "veloci", "molto veloci" → la **MECCANICA RELATIVISTICA**

# Il metodo sperimentale



Osservazione del fenomeno

1

Individuazione delle grandezze fisiche

2

Ipotesi



3

Esperimento



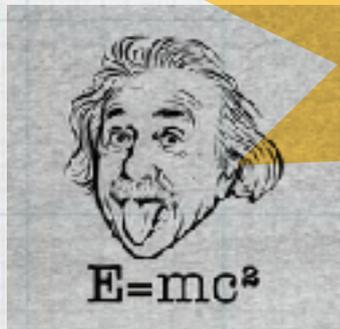
4

Ipotesi confermata?

SI

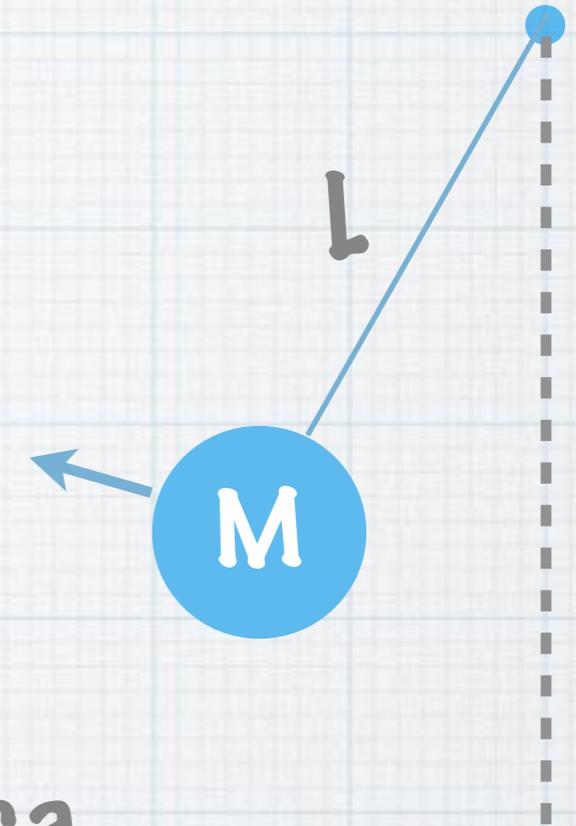
NO

Legge





# Esempio



## \* Oscillazione del pendolo

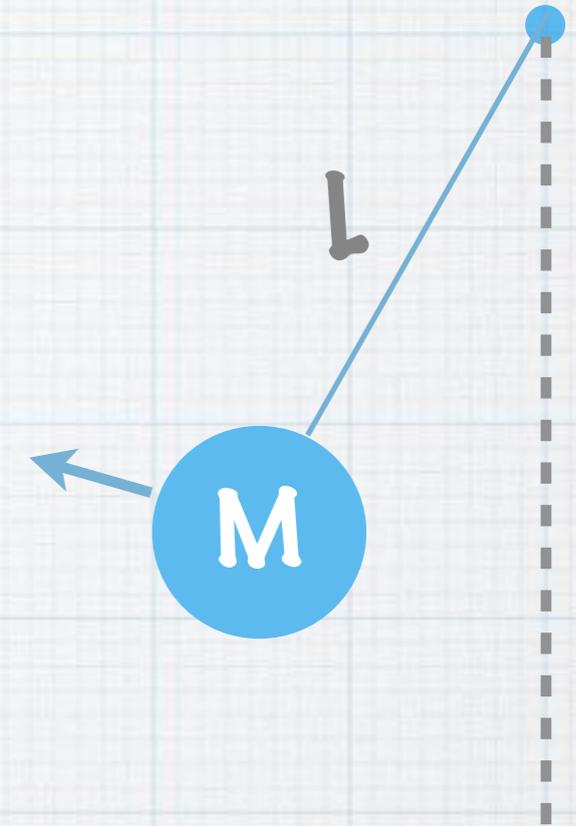
osservazione: oscillazione della massa

grandezze fisiche: massa  $M$ , lunghezza del filo  $L$ , angolo di oscillazione, periodo di oscillazione  $T$ , attrito, velocità e angolo iniziali, ....

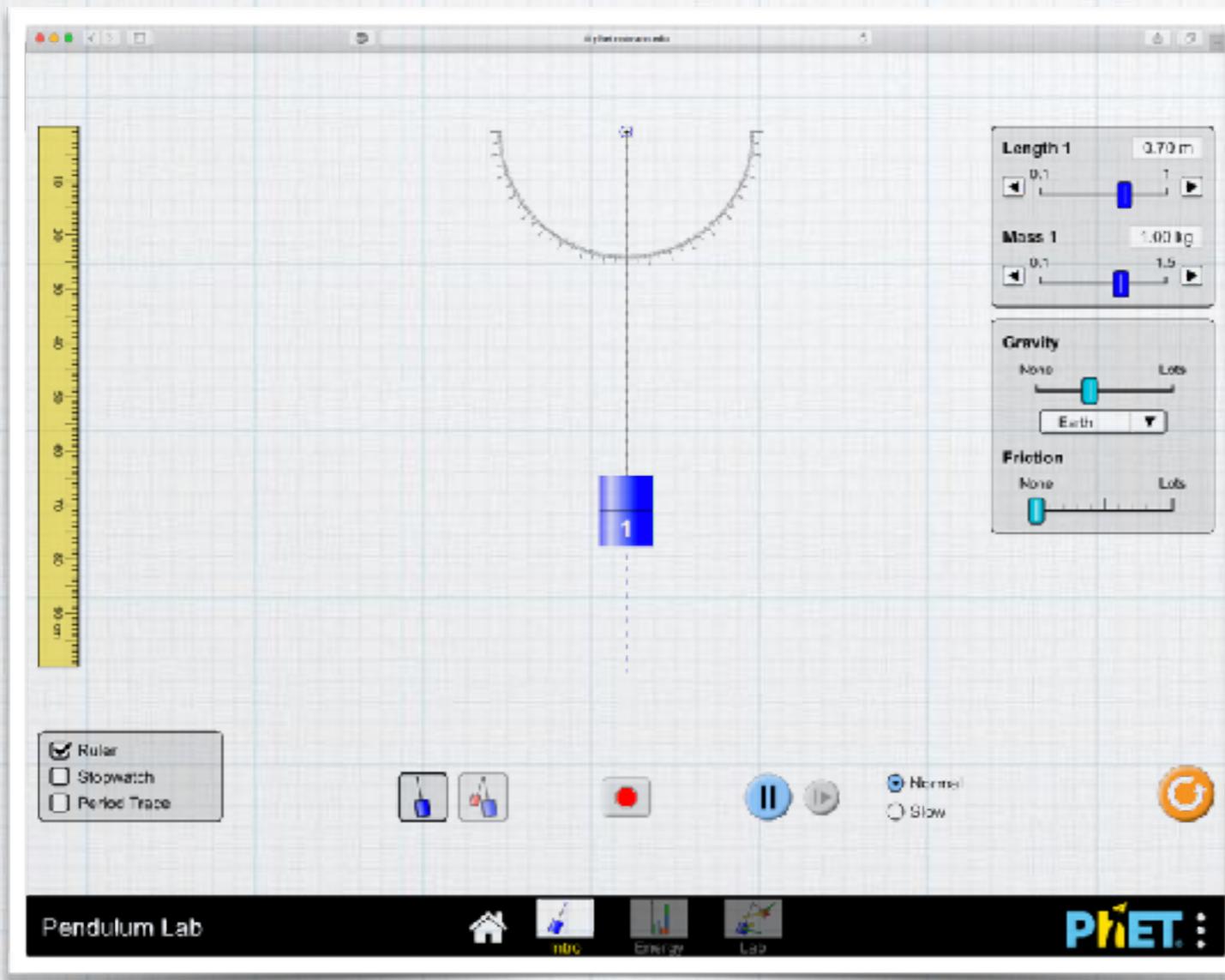
ipotesi n. 1: il periodo di oscillazione dipende da  $M$



# Esempio



## \* Oscillazione del pendolo

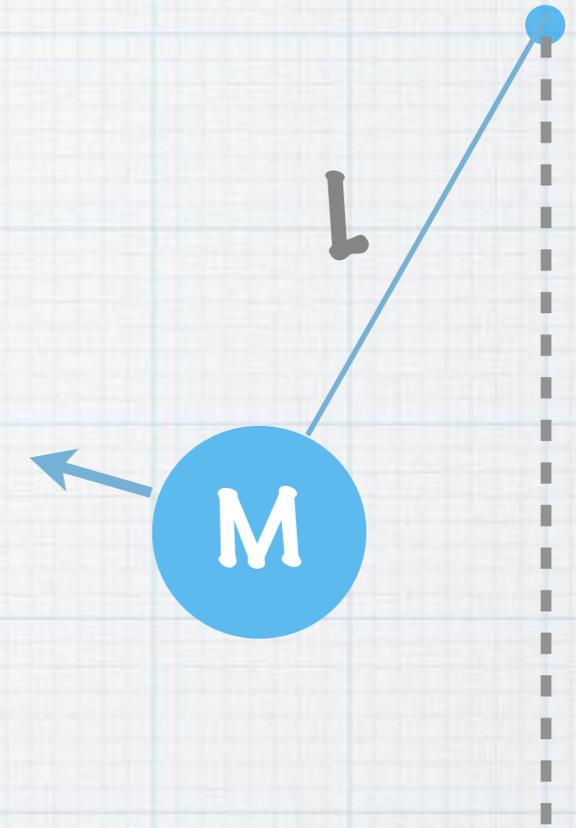


Laboratorio virtuale

[https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab\\_en.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/pendulum-lab/latest/pendulum-lab_en.html)



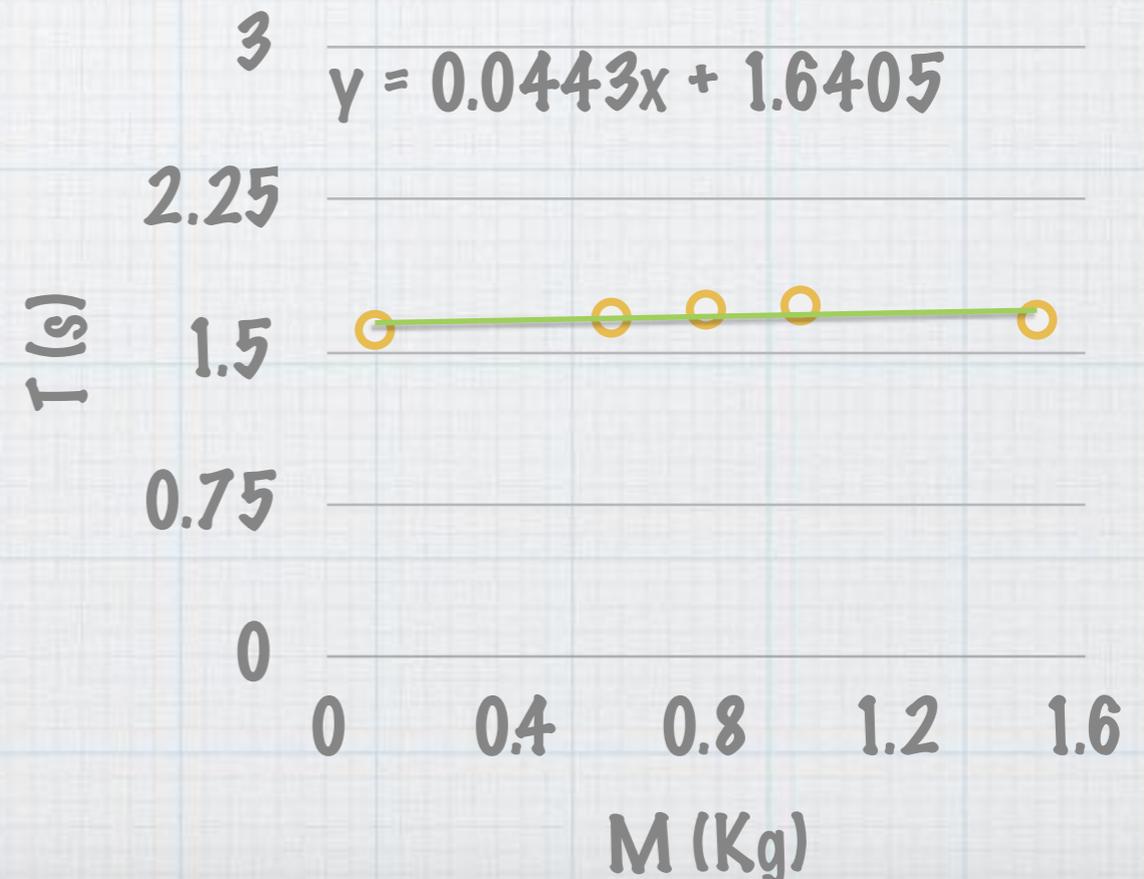
# Esempio



\* Oscillazione del pendolo

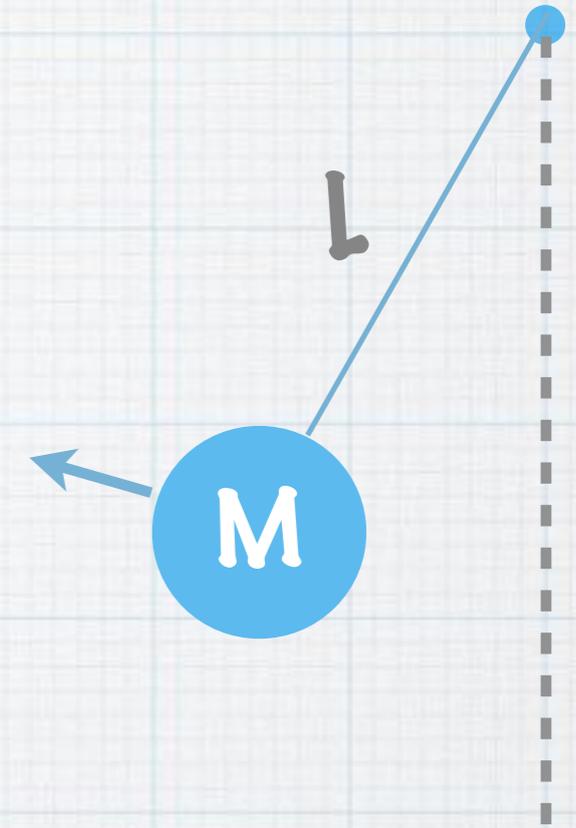
◆ misuro  $T$  in funzione di  $M$

$M$ (Kg)	$T$ (s)
0.1	1.61
0.6	1.67
0.8	1.71
1	1.73
1.5	1.66





# Esempio

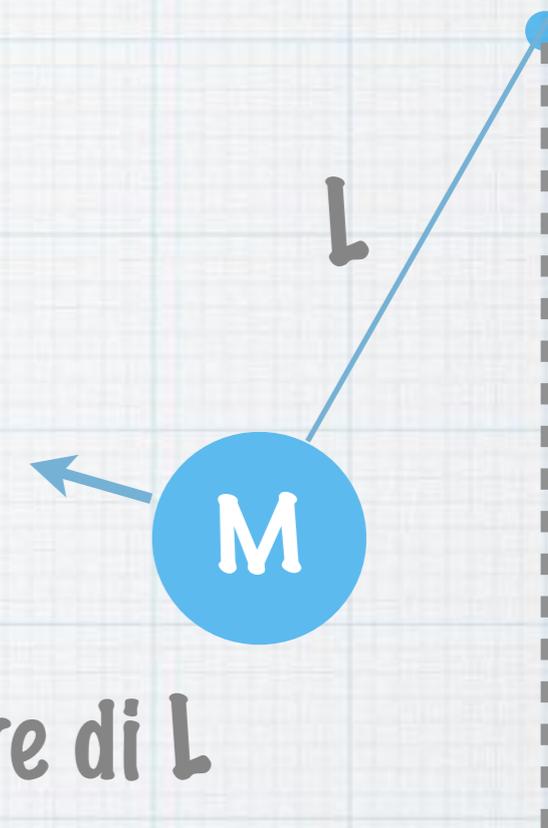


## \* Oscillazione del pendolo

- ◆ l'ipotesi n. 1 non è confermata dall'osservazione
- ◆ ipotesi n. 2: il periodo di oscillazione dipende da  $L$
- ◆ per verificare questa ipotesi eseguo misure ripetute del tempo impiegato per compiere 10 oscillazioni complete (misuro  $10T$  anziché  $T$ , poi spiegheremo perché)



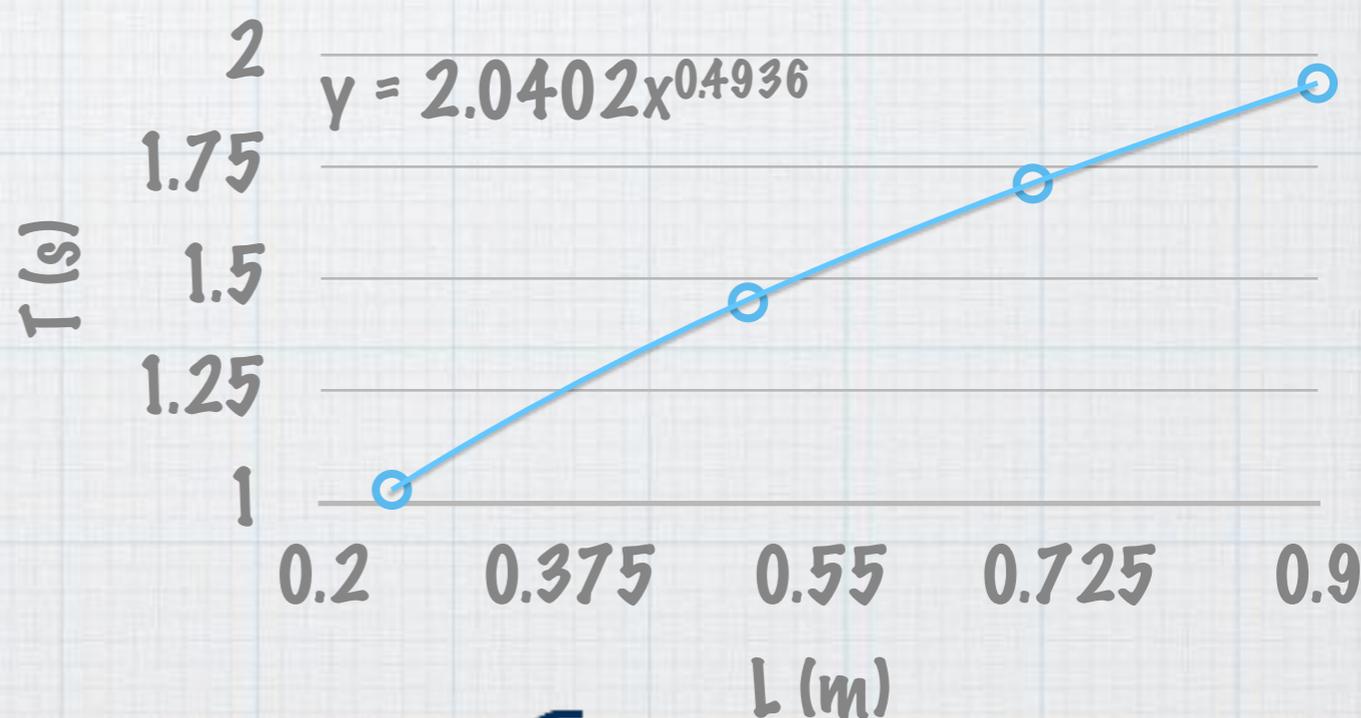
# Esempio



## \* Oscillazione del pendolo

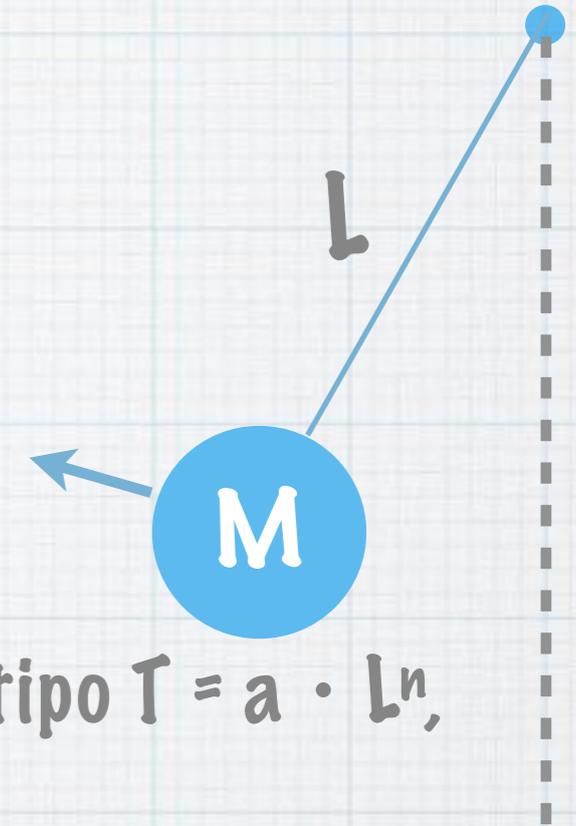
- ◆ misure ripetute fissata  $M = 1 \text{ kg}$  al variare di  $L$
- ◆ nel grafico riporto le medie

MISURA 10T (s)	L=0.25 m	L=0.50 m	L=0.70 m	L=0.90 m
1	10.37	14.55	17.12	19.36
2	10.27	14.38	17.19	19.42
3	10.27	14.42	17.13	19.36
4	10.27	14.55	17.06	19.32
<b>MEDIE</b>	10.295	14.475	17.125	19.365





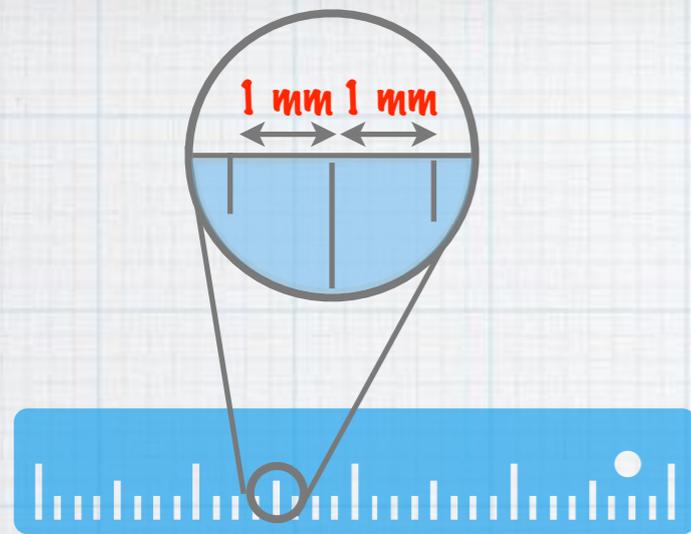
# Esempio



## \* Oscillazione del pendolo

- ◆ i dati vengono “ben rappresentati” da una curva del tipo  $T = a \cdot L^n$ , con  $a \approx 2.04$ ,  $n \approx 0.49$
- ◆ L'ipotesi n. 2 è confermata, inoltre le leggi della meccanica classica prevederebbero  $T = 2\pi \cdot (L/g)^{1/2}$ , con  $g = 9.807 \text{ m/s}^2$
- ◆ quindi la predizione teorica è  $a = 2\pi \cdot (1/g)^{1/2} \approx 2.006$ ,  $n = 0.5$

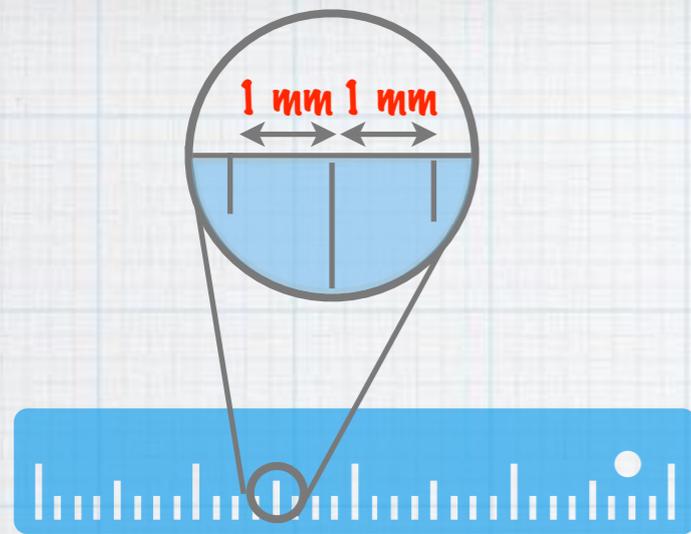
◆ L'osservazione sperimentale, opportunamente corredata da una stima degli errori di misura, conferma la predizione teorica!!!



# Gli errori



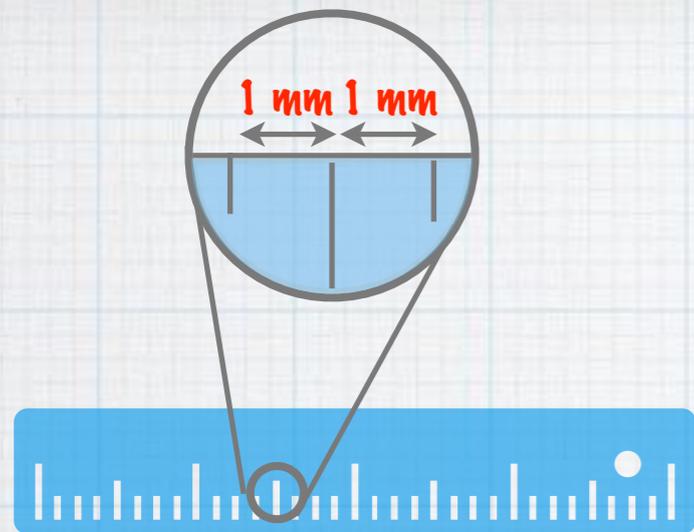
- \* Nell'eseguire un esperimento ci imbattiamo nel fatto che misurando una stessa quantità, a parità di condizioni, i risultati non sono sempre gli stessi
- \* Le misure sono affette da errori che, in modo casuale, possono modificare il risultato della misura
- \* Gli errori dipendono da limiti intrinseci dello strumento di misura (sensibilità) e dall'operatore (ad es. tempo di risposta nell'azionare START/STOP di un cronometro)



# Gli errori



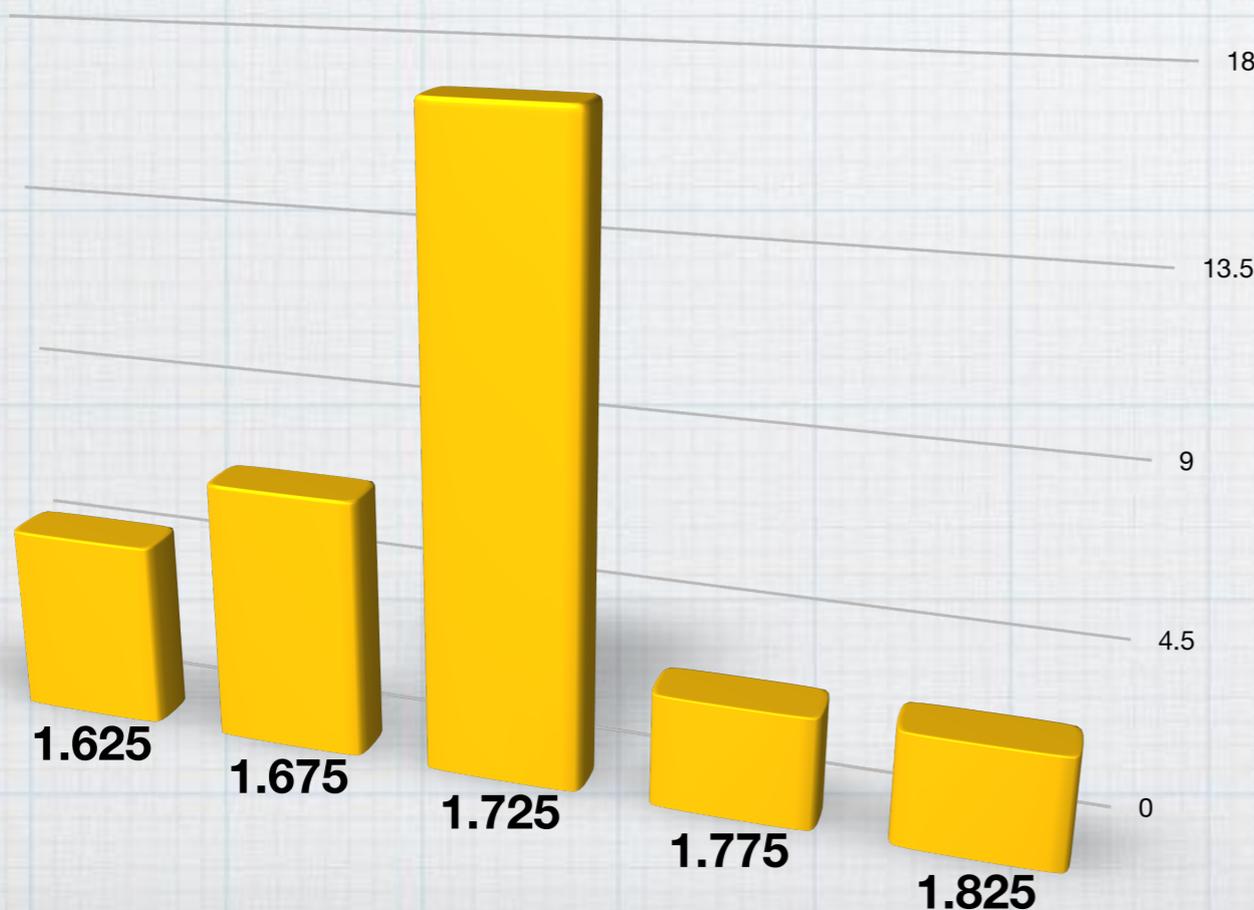
- \* Per ridurre l'errore di cui risente una data misura dobbiamo ricorrere a strumenti sensibili e ad utilizzarli in modo appropriato
- \* Nel caso di un cronometro, uno strumento sensibile e' capace di misurare i decimi o anche i millesimi di secondo!
- \* Tuttavia, se i riflessi tipici di un operatore (voi!) consentono, al piu', di ottenere misure con un accuratezza di decimi di secondo, uno strumento l'accuratezza dello strumento viene "oscurata" dalla prontezza dell'operatore che lo utilizza



# Gli errori

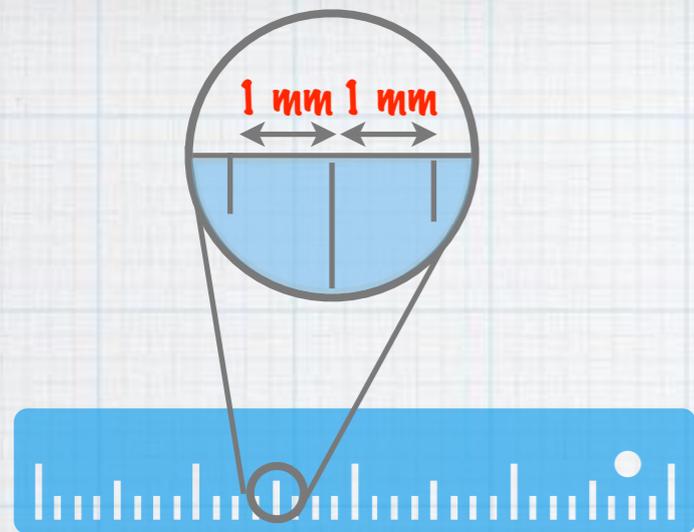


- \* Nel nostro caso possiamo provare a misurare  $T$ , e ci accorgiamo proprio come le misure siano “distribuite” attorno ad un valore medio (circa 1.71 s nell’esempio qui sotto), in un intervallo di ampiezza circa 0.2 s centrato attorno ad esso



- \* Possiamo quindi dedurre che la misura del periodo  $T$ , per il pendolo considerato, possa essere scritta come:

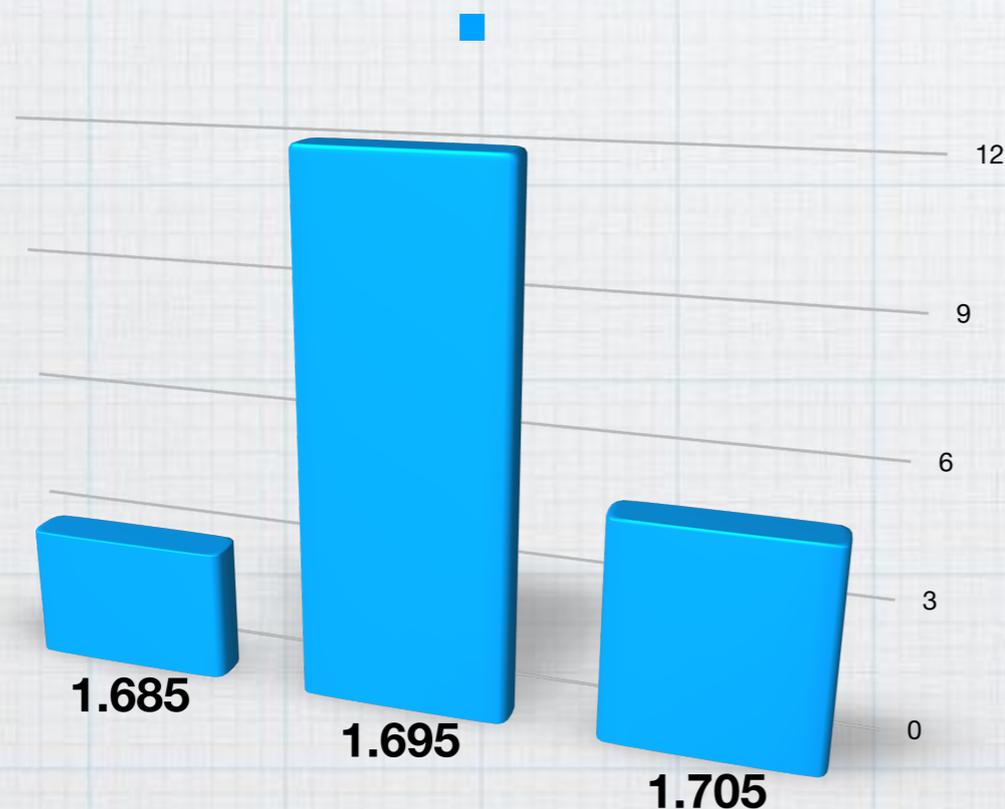
$$T = 1.7 \pm 0.1 \text{ s}$$



# Gli errori



- \* Tuttavia, poiché l'errore associato alla prontezza di un operatore si "distribuisce" su una singola misura (cioè commetto circa lo stesso errore se con lo stesso cronometro misuro un tempo di 1s o un tempo di 10s), possiamo provare a misurare anziché il periodo di un'oscillazione, quello di 10 oscillazioni, e poi dividere i risultati per 10



- \* Seguendo lo stesso ragionamento, vediamo che in questo caso possiamo stimare:

$$T = 1.70 \pm 0.01 \text{ s}$$

Abbiamo ridotto l'errore di un fattore 10!!!





# Il vademecum di un esperimento

- \* Identificare il problema, o la domanda per la quale ricerchiamo una risposta
- \* Eseguire con metodi e strumenti opportuni la misura diretta o indiretta delle grandezze di interesse
- \* Raccogliere e analizzare i risultati, stimando opportunamente gli errori dei dati ottenuti
- \* Formulare le conclusioni, che possono confermare o smentire le ipotesi iniziali



# Il vademecum di una relazione o report

\* Le domande, alle quali rispondere in modo CHIARO e CONCISO sono:

◆ Cosa ho fatto?

◆ Perché?

◆ Quali sono stati i procedimenti seguiti?

◆ Cosa ho osservato? Con quale/i errore/i?

◆ Cosa, quanto ho osservato, mi permette di concludere?



# Il vademecum di una relazione o report

## \* Un possibile format

- ◆ Titolo
- ◆ Introduzione
- ◆ Strumentazione e materiali utilizzati
- ◆ Procedimento di misura
- ◆ Risultati (corredati di immagini, grafici, tabelle, etc.)
- ◆ Discussione dei risultati e conclusioni

Grazie per  
l'attenzione

