



PROGETTO DI ALTERNANZA  
SCUOLA   
 LAVORO

# Istituto Tecnico Industriale e Liceo Scientifico “Luigi Trafelli” di Nettuno

Prof.ssa Pia Astone, Prof.ssa Xenia De Lucia, Prof. Daniele De Pedis, Dott. Fausto Casaburo  
a.s. 2020/21

Alunni: Oliviero Valentina, Fratticci Sara, Tedesco Luca, Agostinelli Martina, Brunori Francesco, Fraietta Valeria,  
Baldassarre Francesco e Ruggiero Natasha

Data 04/05/2021

## Misura della costante di Planck

**Obiettivo dell'esperimento:** Lo scopo dell'esperimento è misurare la costante di Planck con l'utilizzo di LEDs e della scheda Arduino.

### Richiami teorici:

La costante di Planck  $h$ , detta anche quanto di azione, è una costante fisica che rappresenta l'azione minima possibile, o elementare. Ha valore

$$h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

L'origine di tale costante si deve allo studio del corpo nero, un sistema in grado di assorbire totalmente la radiazione che lo colpisce senza rifletterla; oltre ad assorbire radiazione, può però emetterla a qualsiasi lunghezza d'onda. Alla fine dell'Ottocento, i fisici si accorsero che la fisica classica non era in grado di spiegare l'andamento spettro di emissione del corpo nero. La soluzione a tale problema fu fornita da Planck ipotizzando che l'energia  $E$  trasportata da un'onda elettromagnetica di frequenza  $\nu$  può assumere solo valori discreti dati da

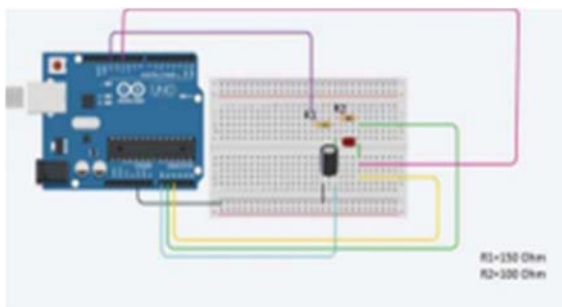
$$E = nh\nu \tag{1}$$

dove  $n$  è un numero naturale. Oltre a essere una costante fondamentale della meccanica quantistica, è stata anche utilizzata per la nuova definizione del chilogrammo.

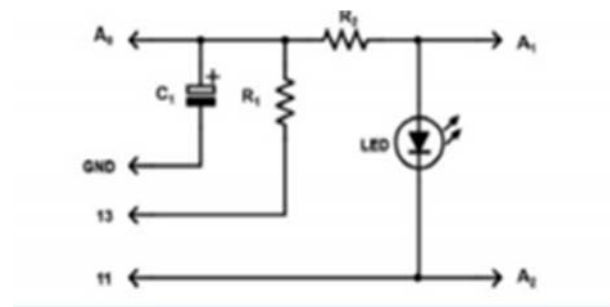
### Strumenti utilizzati:

1. Breadboard
2. Scheda Arduino UNO
3. LED di vari colori (Rosso, Giallo, Verde, Blu)
4. Condensatore  $C=22\text{mF}$
5. Cavi Dupont
6. Resistore  $R_1=220\ \Omega$
7.  $R_2=100\ \Omega$

### Schema dell'esperimento:



(a)



(b)

Fig. 1: Schema di collegamento.

### Acquisizione dati:

Per prima cosa, è stato costruito il circuito, costituito da una scheda Arduino, i due resistori, il condensatore e un LED come nello schema riportato in Fig. 1. Successivamente, abbiamo collegato la scheda Arduino, tramite la porta USB, a un PC ed eseguito lo sketch per Arduino col quale veniva caricato il condensatore e, quando il condensatore era carico, quest'ultimo alimentava il LED misurando la tensione di alimentazione e la corrente che circola nel LED, stampando tali valori su terminale (Fig. 2); dopodichè, abbiamo ripetuto l'operazione per LED di diversi colori.

SCARICA		
tempo (s)	tensione (V)	corrente (mA)
0.000	3.079	15.885
1.023	2.937	11.388
2.025	2.849	8.260
3.027	2.786	6.012
5.029	2.688	3.275
9.031	2.586	1.124
14.032	2.522	0.391
19.034	2.483	0.196
24.036	2.458	0.147
29.038	2.439	0.098
34.040	2.429	0.049
39.042	2.414	0.098
44.044	2.410	0.049
49.046	2.400	0.049
54.047	2.395	0.000
59.049	2.390	0.000
64.051	2.385	0.049
69.053	2.380	0.000
74.055	2.375	0.000
79.057	2.370	0.000
84.058	2.366	0.049
89.060	2.361	0.049
94.062	2.361	0.000
99.064	2.356	0.049
104.066	2.356	0.000
109.068	2.351	0.000
114.070	2.351	0.000
119.071	2.346	0.049
124.073	2.346	0.000
129.075	2.341	0.049
134.077	2.341	0.000
139.079	2.341	0.000
144.081	2.336	0.000
149.083	2.331	0.000
SCARICA TERMINATA		

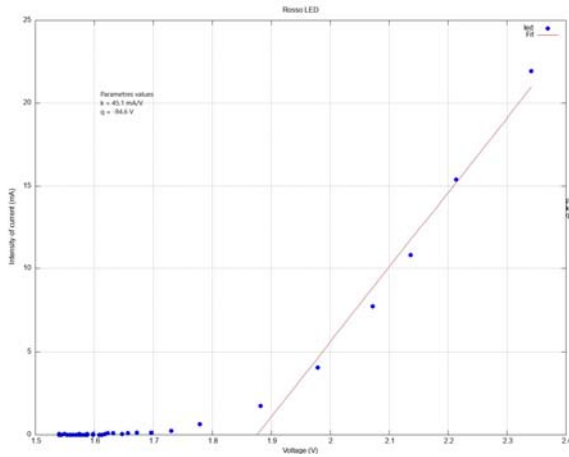
Fig. 2: Esempio di valori di tensione e corrente misurati da Arduino.

### Risultati:

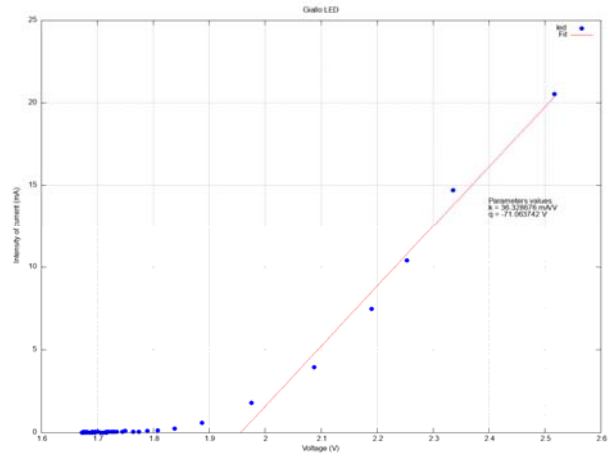
Per poter misurare il valore della costante di Planck, abbiamo innanzitutto riportato in un grafico i valori di corrente in funzione della tensione per ognuno dei LED usati (tale grafico è detto *curva caratteristica*). Dai grafici è possibile notare che inizialmente la corrente  $i$  che circola è nulla; dopodichè, quando la tensione  $V$  fornita è maggiore della tensione di gap  $V_g$  (tensione minima necessaria per far accendere il LED), inizia a crescere linearmente con la tensione secondo la funzione:

$$i(V) = kV + q \quad (2)$$

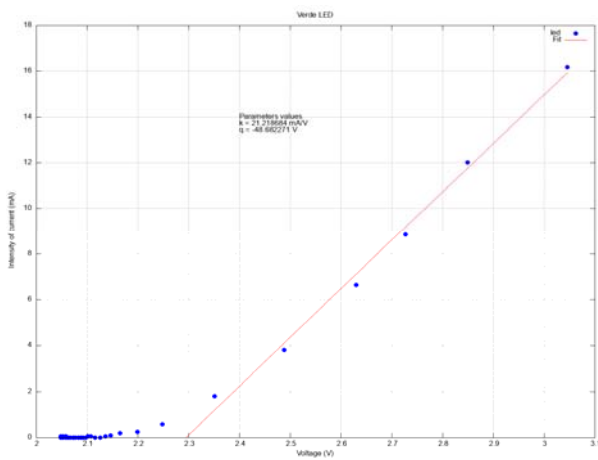
Le zone lineari delle curve caratteristiche di ogni LED, sono state quindi interpolate effettuando un fit con l'equazione di una retta  $y = kx + q$  (Fig. 3).



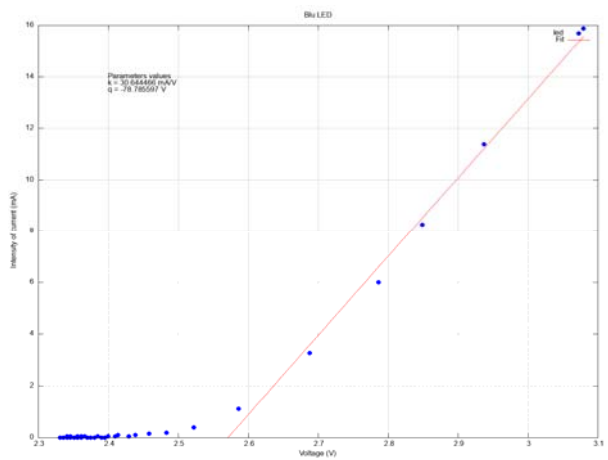
(a) LED Rosso



(b) LED Giallo



(c) LED Verde



(d) LED Blu

Fig. 3: Curve caratteristiche dei LED.

I risultati dei fit sono riportati in tabella 1.

LED	$k \pm \sigma_k$ (mA/V)	$q \pm \sigma_q$ (mA)
Rosso	$45.1 \pm 3.2$	$-84.6 \pm 6.8$
Giallo	$36.3 \pm 2.3$	$-71.1 \pm 5.2$
Verde	$21.20 \pm 0.86$	$-48.7 \pm 2.3$
Blu	$30.6 \pm 1.3$	$-78.8 \pm 3.7$

Tab. 1: Risultati dei fit alle curve caratteristiche.

Dai valori riportati in Tab. 1, sono state calcolate le tensioni di gap  $V_g$  di ogni LED:

$$V_g = -\frac{q}{k} \quad (3)$$

e l'incertezza data da:

$$\sigma_{V_g} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2} V_g \quad (4)$$

I risultati delle tensioni di gap ottenuti sono riportati in tabella 2.

LED	V <sub>g</sub> ± σ <sub>Vg</sub> (V)
Rosso	1.876 ± 0.096
Giallo	1.94 ± 0.10
Verde	2.297 ± 0.062
Blu	2.575 ± 0.063

Tab. 2: Tensioni di gap.

La tensione di gap dipende dalla lunghezza d'onda λ del LED secondo la legge:

$$V_g = \frac{ch}{e\lambda} \quad (5)$$

dove  $e = 1.602176634 \cdot 10^{-19} \text{C}$  è la carica elettrica elementare e  $c = 299792458 \text{ m/s}$  è la velocità della luce. I valori delle tensioni di gap (Tab. 2) sono stati dunque riportati su un grafico in funzione di  $\lambda_{max}^{-1}$  (Fig. 5 a) e  $\lambda_{min}^{-1}$  (Fig. 5 b) dove  $\lambda_{max}$  e  $\lambda_{min}$  sono rispettivamente le lunghezze d'onda massima e minima dichiarati dalla casa costruttrice dei LED (Tab. 3) e interpolati con l'equazione di una retta passante per l'origine  $y = kx$ .

LED	λ <sub>max</sub> (nm)	λ <sub>min</sub> (nm)
Rosso	630	625
Giallo	595	580
Verde	525	520
Blu	470	460

Tab. 3: Lunghezze d'onda dei LED

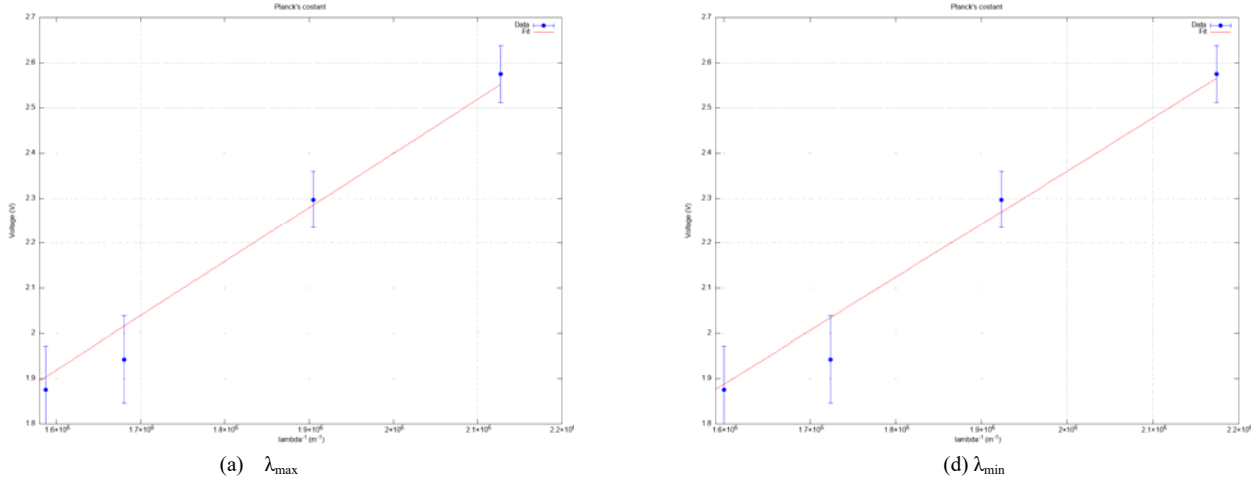


Fig. 4: Tensioni di gap in funzione delle lunghezze d'onda dei LED.

I risultati dei fit sono riportati in tabella 4.

Lunghezza d'onda	$k \pm \sigma_k \text{ (V/m}^{-1}\text{)}$
Massima	$(1.200 \pm 0.010) \cdot 10^{-6}$
Minima	$(1.180 \pm 0.019) \cdot 10^{-6}$

Tab. 4: Risultati dei fit ai grafici di tensione di gap in funzione delle lunghezze d'onda.

Dal valore dei coefficienti angolari riportati in Tab. 4 è quindi possibile ricavare il valore della costante di Planck, per ognuna, delle due lunghezze d'onda come:

$$h = \frac{ek}{c} \quad (6)$$

La cui incertezza è data da:

$$\sigma_h = \sqrt{\left(\frac{\sigma_k}{k}\right)^2} h \quad (7)$$

I valori ottenuti di  $h_{max}$  e  $h_{min}$  (calcolati rispettivamente con  $\lambda_{max}$  e  $\lambda_{min}$ ), sono riportati in tabella 5.

$h_{max} \pm \sigma_{hmax} \text{ (Js)}$	$h_{min} \pm \sigma_{hmin} \text{ (Js)}$	$\langle h \rangle \pm \sigma_{\langle h \rangle} \text{ (Js)}$
$(6.411 \pm 0.055) \cdot 10^{-34}$	$(6.306 \pm 0.063) \cdot 10^{-34}$	$(6.359 \pm 0.042) \cdot 10^{-34}$

Tab. 5: Valore massimo e minimo della costante di Planck ottenuti dai risultati dei fit.

Infine, dai valori di  $h_{max}$  e  $h_{min}$  è stato calcolato il valor medio:

$$\langle h \rangle = \frac{h_{max} + h_{min}}{2} \quad (8)$$

la cui incertezza è data da:

$$\sigma_{\langle h \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{h_{max}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{h_{min}}}{2}\right)^2} \quad (9)$$

Il risultato ottenuto è

$$\langle h \rangle = (6.359 \pm 0.042) \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

Tale valore è stato quindi confrontato con il valore che si trova in letteratura calcolando la differenza percentuale:

$$diff\% = \left| \frac{\langle h \rangle - h}{\langle h \rangle} \right| \cdot 100 \quad (10)$$

e il numero di  $\sigma$  di accordo

$$n_{\sigma} = \left| \frac{\langle h \rangle - h}{\sigma_{\langle h \rangle}} \right| \quad (11)$$

ottenendo rispettivamente una differenza percentuale del 4% e un accordo entro le  $7\sigma$ .

### **Conclusioni:**

L'idea di misurare la costante di Planck con l'utilizzo di LED ricostruendone la curva caratteristica risale agli anni '70 quando l'esperimento fu proposto per la prima volta sulla rivista *The Physics Teacher*. L'idea originale prevedeva la misura di tensione e corrente con l'utilizzo rispettivamente di voltmetro e amperometro, rendendo possibile tale misura anche in un laboratorio scolastico o a casa. Una variante a tale esperimento consiste nell'uso dell'ormai molto diffusa scheda Arduino, il cui uso nella fisica permette non solo di effettuare numerosi esperimenti a basso costo, pur senza disporre di costosi strumenti da laboratorio, ma permette anche di apprendere competenze trasversali quali la programmazione. Inoltre, per questo specifico esperimento, l'uso di Arduino ci ha permesso di svolgere l'esperimento in modo molto più veloce rispetto all'utilizzo di un voltmetro e di un amperometro. Il risultato ottenuto

$$\langle h \rangle = (6.359 \pm 0.042) \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

differisce del 4% rispetto al valore in letteratura

$$h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{Js}$$

e il numero di  $\sigma$  di accordo è entro le  $7\sigma$ .