

---

# La Costante di Planck

---

Misura della  
costante di Planck  
mediante LED e  
Spettrometro  
ottico

---

Lodovico Lappetito

---

## Sommario

La Costante di Planck.....	3
Metodo di Misura della Costante di Planck.....	3
Spettrometro a Reticolo di Diffrazione .....	4
Spettri ottici dei LED utilizzati.....	5
Circuito per la misura della Tensione di attivazione LED .....	6
Dati ottenuti dalle Misurazioni .....	7
Calcolo della costante di Planck .....	8

## La Costante di Planck

La costante di Planck, anche detta quanto d'azione e indicata con  $h$ , è una costante fisica che rappresenta la quantità d'azione elementare, determinando che le grandezze fisiche fondamentali non evolvano in modo continuo, ma siano quantizzate, cioè possano assumere solo valori multipli di tale costante.

La costante di Planck ha le dimensioni di un'energia per un tempo e nel sistema di unità di misura delle unità atomiche compone l'unità di misura del momento angolare. Essa permette la quantizzazione di grandezze come l'energia, la quantità di moto e il momento angolare, e la sua scoperta ha avuto un ruolo determinante per la nascita e la successiva evoluzione della meccanica quantistica.

È inoltre una delle costanti fondamentali che definiscono la costante di struttura fine o costante di Sommerfeld. Prende il nome da Max Planck, che la introdusse nel 1900 in seguito agli studi sullo spettro della radiazione di corpo nero.

La costante di Planck è legata alla quantizzazione delle grandezze dinamiche che caratterizzano lo stato della materia a livello microscopico, ovvero delle particelle che compongono materia e luce: elettroni, protoni, neutroni e fotoni.

Ad esempio, l'energia  $E$  trasportata da un'onda elettromagnetica con frequenza costante  $\nu$  può assumere solo valori pari a :

$$E = nh\nu \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

## Metodo di Misura della Costante di Planck

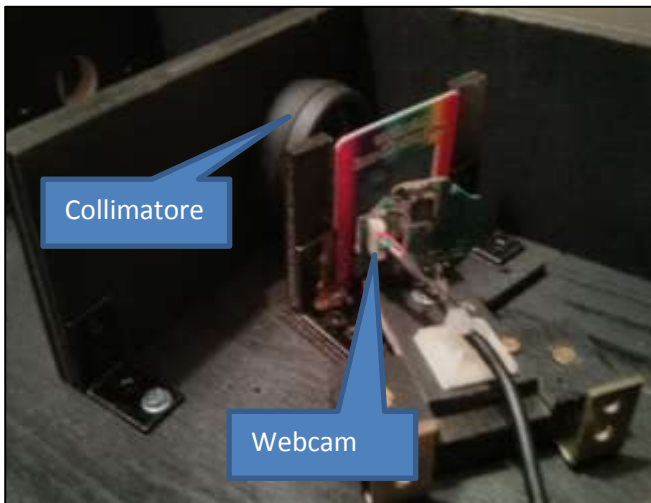
Il metodo di misura proposto sfrutta l'emissione luminosa da parte dei dispositivi a semiconduttore noti come LED.

L'idea dell'esperimento con i LED è la seguente: si fa passare attraverso la giunzione una corrente diretta (elettroni dalla zona drogata N alla zona drogata P e lacune nel verso opposto): gli elettroni ricombinandosi radiativamente con le lacune in vicinanza della giunzione producono fotoni di energia  $h \times f$  prossima al valore dell'energy gap (intervallo di energie proibite fra la banda di valenza e quella di conduzione) del materiale di cui è fatta la giunzione. L'energia dei fotoni emessi è fornita dal lavoro fatto dal campo elettrico applicato alla giunzione ( $V_{LED} \times e$ , dove  $V_{LED}$  è la tensione diretta applicata al diodo) e quindi ci deve essere una relazione lineare:

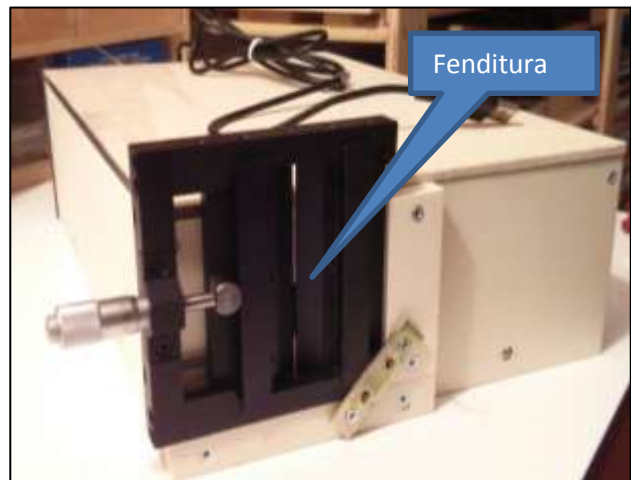
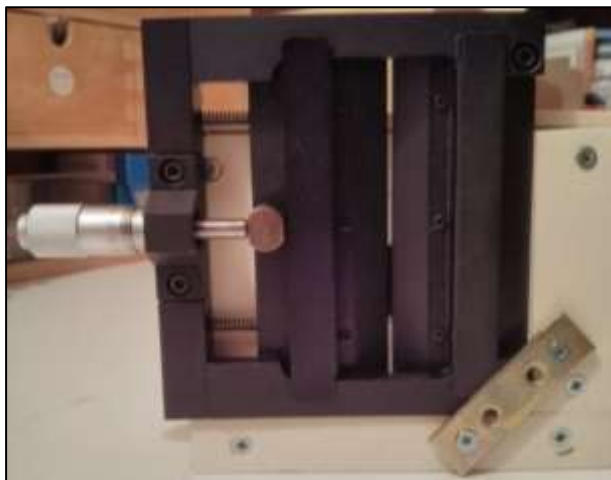
$$E = V_{LED} \times e = hf$$

I materiali più usati per costruire diodi elettroluminescenti sono Arseniuro di Gallio (GaAs) per l'emissione nell'infrarosso e Arseniuro-Fosforo di Gallio ( $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ), dove la  $x$  dà la percentuale di Fosforo nella lega, per l'emissione nel visibile. Al crescere di  $x$  l'energy gap del materiale passa da 1.43 eV per  $x=0$  a 2.26 eV per  $x=1$ ; la lunghezza d'onda di picco, che è legata all'energy gap dalla relazione  $\lambda(\text{nm}) = hc/E_g = 1.24/E_g(\text{eV})$ , di conseguenza passa da circa 850 a circa 550 nm. Anche la presenza o meno di impurità tipo Azoto influisce fortemente sia sulla lunghezza d'onda di picco che sull'efficienza luminosa del dispositivo. Per ottenere emissione nel blu si usa il Carburo di Si (SiC) oppure la lega  $\text{In}_{0.06}\text{Ga}_{0.94}\text{N}$  e per il rosso si ottengono LED molto luminosi con  $\text{Al}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{As}$  drogato con Zn su substrato di GaAs.

## Spettrometro a Reticolo di Diffrazione

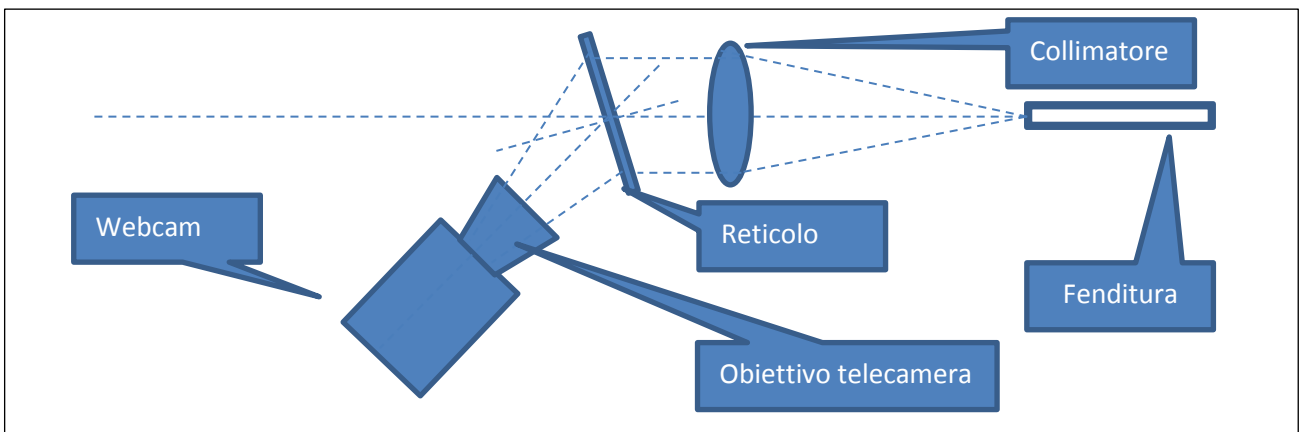


Interno dello strumento con obiettivo collimatore, reticolo e webcam

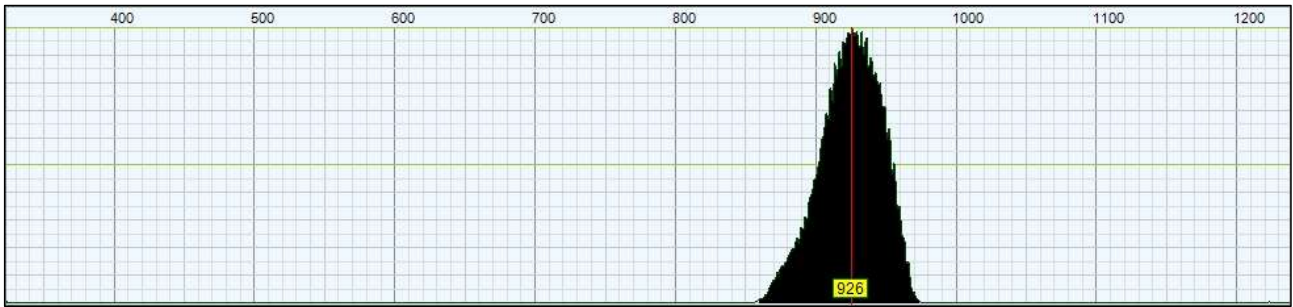


Dettaglio della fenditura micrometrica e vista dello spettrometro assemblato

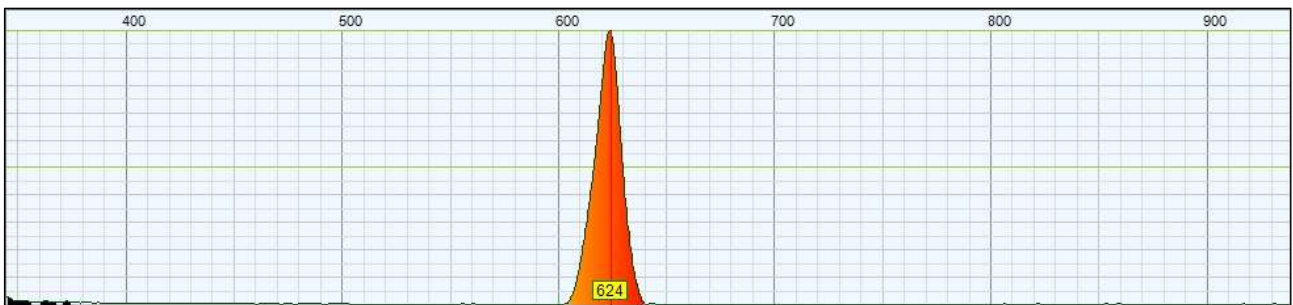
### Schema costruttivo dello spettrometro :



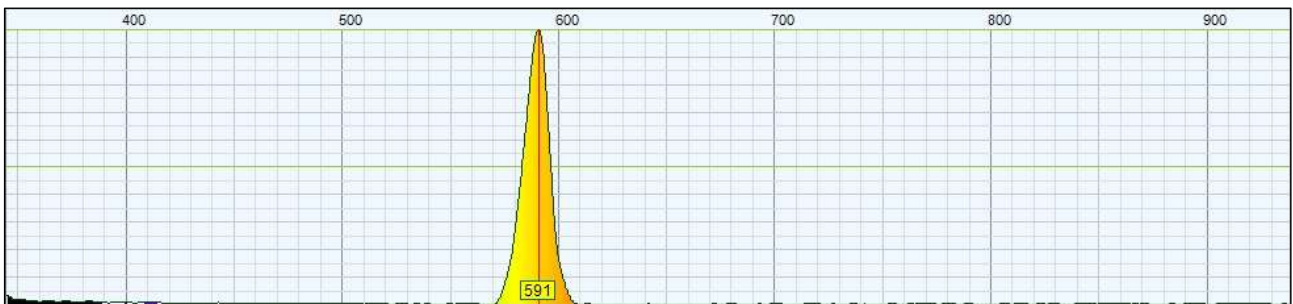
## Spettri ottici dei LED utilizzati



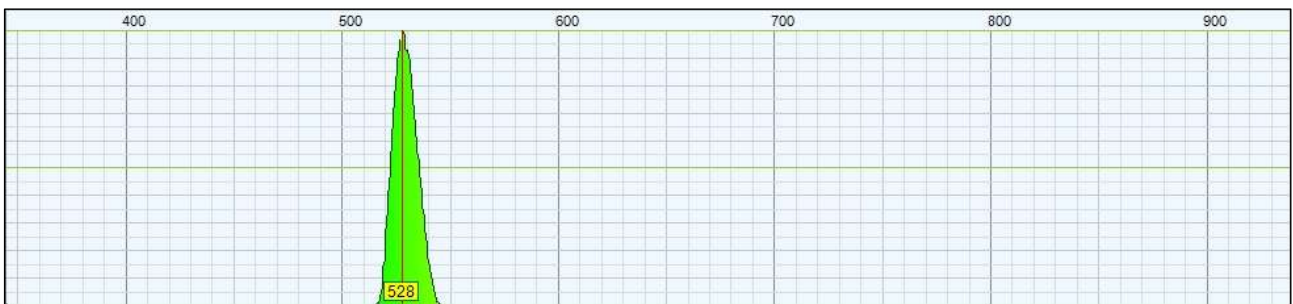
LED infrarosso - 930nm



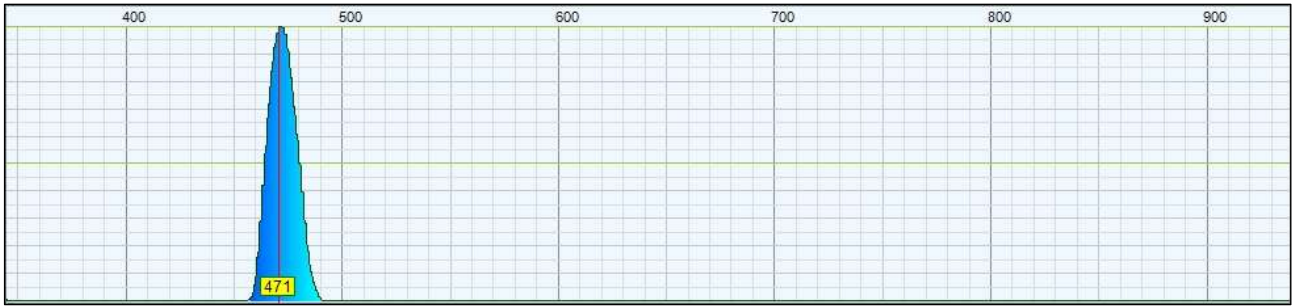
LED rosso - 624nm



LED giallo - 590nm



LED verde - 530nm

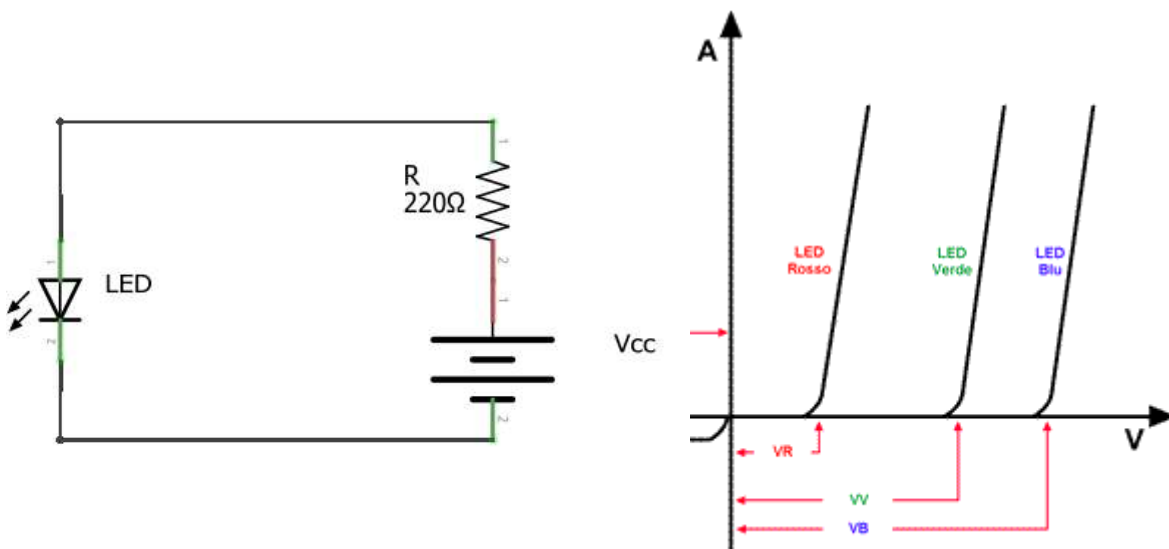


LED blu – 470nm



LED viola – 400nm

## Circuito per la misura della Tensione di attivazione LED

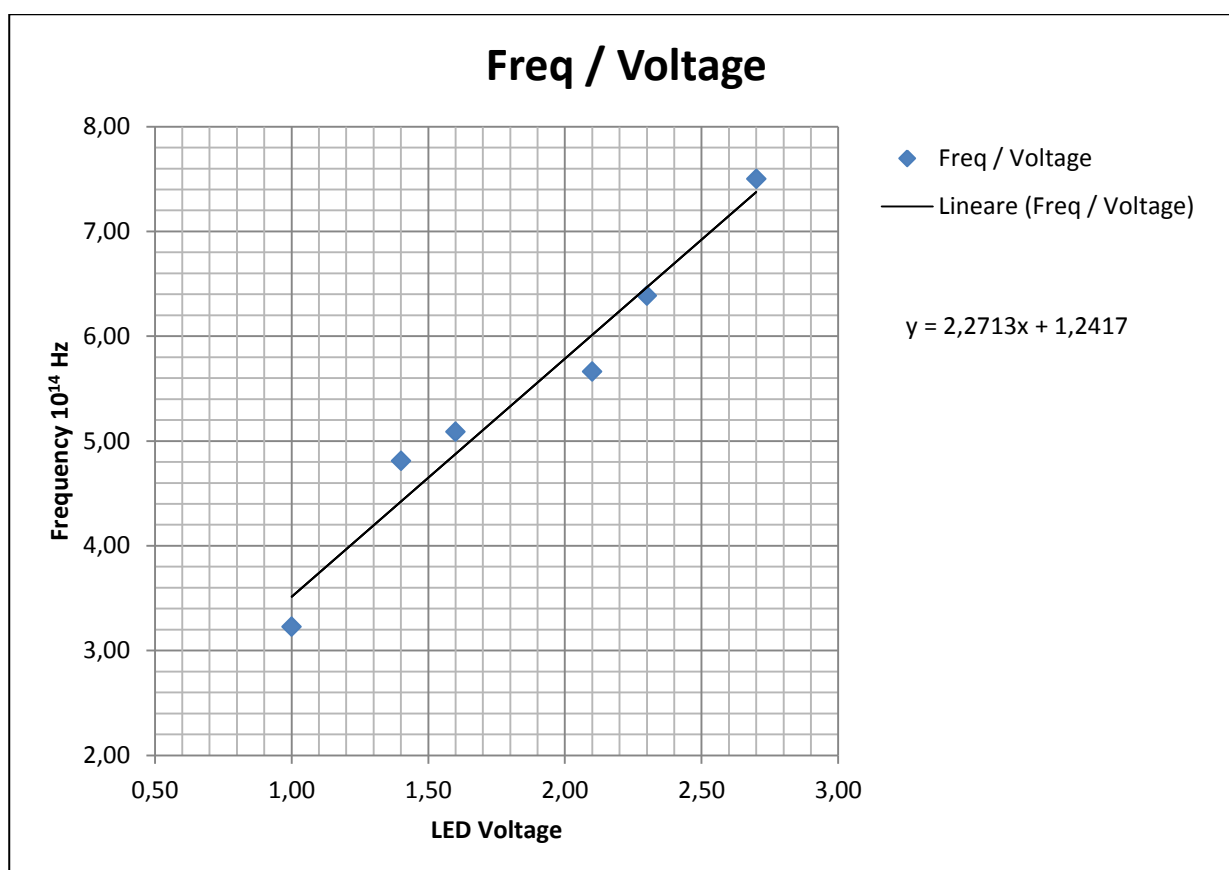


La tensione di attivazione del LED viene determinata misurando la tensione che si presenta ai capi del diodo LED nel momento in cui il LED comincia ad emettere luce. Al fine di determinare con precisione questo valore di tensione la prova è stata fatta all'interno di una stanza oscurata.

Come alternativa per la determinazione della tensione di attivazione si può misurare la caratteristica I/V del diodo LED in modo da determinare con precisione il valore di tensione corrispondente al "ginocchio" della curva.

## Dati ottenuti dalle Misurazioni

Tipo LED	Lunghezza d'onda (nm)	Frequenza $10^{14}$ Hz	Tensione di Attivazione (V)
Infrarosso	930	3.22581	1.0
Rosso	624	4.80769	1.4
Giallo	590	5.08475	1.6
Verde	530	5.66038	2.1
Blu	470	6.38298	2.3
Viola	400	7.50000	2.7



Interpolazione lineare dei dati di tensione e frequenza

## Calcolo della costante di Planck

L'energia dei fotoni emessi dal LED si può calcolare con la seguente equazione, in cui  $V_{LED}$  è la tensione alla quale il LED inizia ad accendersi ed  $f$  è la frequenza del fotone emesso :

$$E = V_{LED} \times e = hf$$

$$h = \frac{V_{LED}}{f} \times e$$

Dove  $V_{LED} / f$  è l'inverso della pendenza della retta ottenuta nel grafico riportato. Sostituendo i valori otteniamo :

$$h = \frac{1}{2.2713 \times 10^{14}} \times 1,602 \times 10^{-19} = 7.05 \times 10^{-34}$$

Contro il valore corretto che risulta essere :

$$h = 6.626 \times 10^{-34}$$