



**Samantha  
Aimi**

Liceo Scientifico  
"E. Mattei"  
Fiorenzuola (PC)

# La misura della costante di Planck: una proposta di attività laboratoriale

**Raffaella  
Raschella**

Liceo Scientifico  
"Lorenzo Respighi"  
Piacenza

## ABSTRACT

In the 2014/2015 school year, the Respighi Scientific High School started the "Fare Fisica: Planck 2.0" (Making Physics: Planck 2.0) project, aiming to challenge our best students thanks to the use of the laboratory. For this purpose we chose a modern physics experiment: the measurement of the Planck constant by means of the characteristic voltage – current of a LED. This type of experiment, though being well known and used in teaching practice, lends itself to various insights about the involved physics, the experimental apparatus and the data processing. In this paper we are introducing a version of the experiment that combines the "classical" devices of the physics laboratory with the information technology, in order to improve the laboratory skills, along with the collection and data analysis, the collaboration and involvement of the students.

## Introduzione

Durante l'anno scolastico 2014/2015, il Liceo Scientifico Respighi ha attivato il progetto "Fare Fisica: Planck 2.0", con la finalità di stimolare e valorizzare le eccellenze attraverso l'uso del laboratorio.

L'attività è stata impostata su base volontaria, e rivolta agli studenti delle classi quarte e quinte, con l'intenzione di proporre un approfondimento di fisica moderna. La ricorrenza dell'Anno Internazionale della Luce [1], e l'assegnazione del Premio Nobel per la Fisica del 2014 a tre ricercatori giapponesi, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura per l'invenzione dei LED (*Light-Emitting Diode*) blu [2], ha fatto ricadere la scelta dell'esperimento su un'attività di misura della costante di Planck tramite la caratteristica tensione – corrente di un LED.

Questo tipo di esperimento è ben noto e utilizzato nella pratica didattica [3], essendo relativamente semplice, sia dal punto di vista operativo sia della teoria essenziale da sapere per comprenderne i risultati. D'altra parte, si presta a diversi approfondimenti, sul piano della fisica coinvolta, dell'apparato sperimentale e dell'elaborazione dei dati.

In questo lavoro presenteremo una versione dell'esperimento studiata appositamente per stimolare le competenze laboratoriali, integrando gli strumenti "classici" del laboratorio di fisica con la tecnologia per ottimizzare non solo la raccolta e l'analisi dei dati, ma anche la collaborazione e il coinvolgimento degli studenti.

## Sintesi dell'esperimento

L'esperimento di misura della costante di Planck tramite LED sfrutta il concetto di quantizzazione dell'energia della radiazione elettromagnetica, attraverso la relazione che lega l'energia di ogni "pacchetto" alla sua frequenza:

$$E = hf$$

dove  $E$  è il quanto di energia della radiazione,  $h$  la costante di Planck,  $f$  la frequenza della radiazione. In sintesi, bisogna quindi riuscire a misurare l'energia e la frequenza dei quanti di radiazione emessi dal LED, per poi ricavare la costante  $h$  dal loro rapporto.

Un LED è un diodo che possiede un *gap* di energia tra banda di valenza e banda di conduzione corrispondente a una frequenza nel visibile, quindi oltre al comportamento classico del diodo (conduce in un solo verso, la caratteristica

tensione-corrente non è lineare) è in grado di emettere luce grazie agli elettroni che dalla banda di conduzione si ricombinano in banda di valenza.

L'emissione luminosa avviene quindi solo quando il LED è alimentato con tensioni superiori alla cosiddetta tensione di soglia, cioè quella differenza di potenziale in grado di fornire all'elettrone un'energia sufficiente a superare il *gap*.

Per gli scopi dell'esperimento, i LED usati devono essere il più possibile monocromatici.

L'esperimento è stato diviso in due: una misura voltamperometrica per ricavare la tensione di soglia  $V_0$ , e una misura sulla figura di diffrazione prodotta dalla luce del LED attraverso un reticolo per ricavare la lunghezza d'onda  $\lambda$  della radiazione emessa dal LED.

Questa scelta è interessante non solo perché coinvolge gli studenti nella misura di ogni parametro (invece che, ad esempio, ricavare  $\lambda$  dal *datasheet* del LED), ma anche perché mostra bene i due aspetti della luce: la misura della tensione di soglia suppone un'interpretazione corpuscolare, dove la radiazione è pensata come composta da unità tutte uguali; la misura della lunghezza d'onda richiede invece di applicare le leggi dell'ottica ondulatoria.

Nella pratica, la caratteristica tensione-corrente è stata determinata dagli studenti montando il circuito necessario (Figura 1) e raccogliendo i dati letti su multimetri analogici.

La resistenza variabile (ottenuta grazie a un potenziometro) in serie al LED ha la funzione di limitare la corrente, perché correnti troppo elevate potrebbero rovinare la giunzione. Dovendo i ragazzi tenere il LED acceso per diverso tempo, abbiamo consigliato di utilizzare valori di corrente non superiori ai 5 mA come precauzione. I valori di corrente al variare della tensione sono stati raccolti usando un'unica scala dell'amperometro perché nell'intervallo di conduzione la resistenza del LED è molto bassa e quindi la resistenza interna dell'amperometro non è trascurabile; variando scala, le diverse resistenze interne avrebbero falsato le misure raccolte.

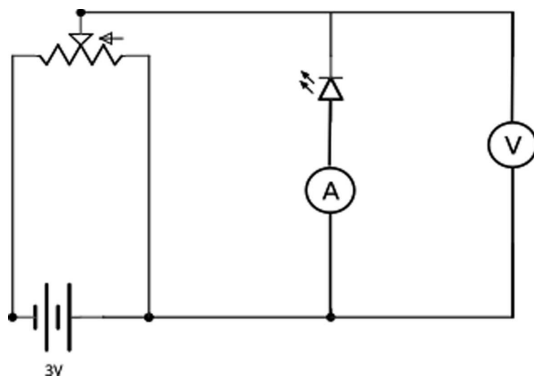


Figura 1. Schema del circuito per la misura della caratteristica tensione – corrente del LED. Un generatore di tensione è collegato a un reostato per variare la differenza di potenziale ai capi del LED; un amperometro A e un voltmetro V permettono di misurare rispettivamente corrente e differenza di potenziale.

La tensione di soglia è stata poi determinata come l'intersezione sull'asse delle tensioni della regressione lineare del tratto della caratteristica corrispondente all'intervallo di valori in cui il LED emette (Figura 2), approssimando quindi il grafico come lineare a tratti [4].

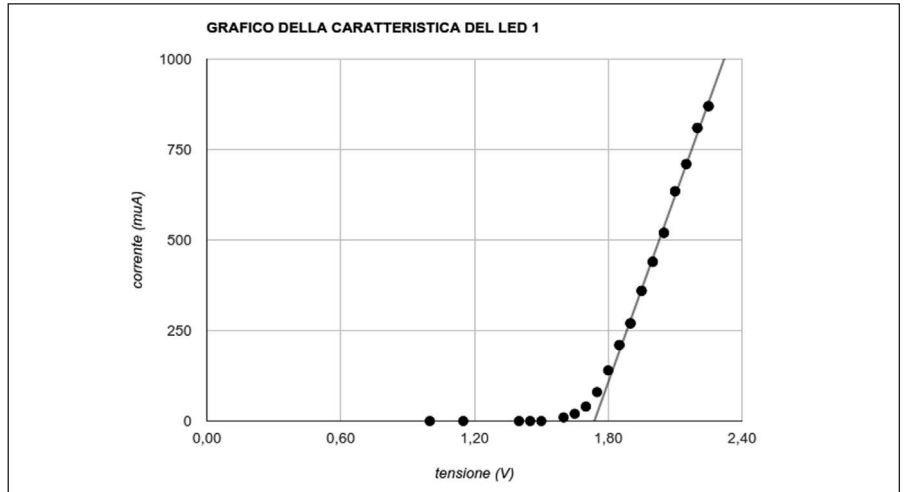


Figura 2. Esempio di dati raccolti con la regressione del tratto lineare.

La lunghezza d’onda è stata determinata costruendo un semplice banco ottico costituito dal LED, una lente posta a una distanza dal LED pari alla lunghezza focale, in modo da rendere paralleli i raggi, un reticolo di passo noto  $d$ , e uno schermo (Figura 3). Gli studenti hanno misurato la distanza  $D$  reticolo – schermo e la distanza  $y$  tra il picco principale e il successivo della figura di diffrazione formata sullo schermo, quindi hanno ricavato  $\lambda$  da:

$$\lambda = d \frac{y}{\sqrt{D^2 + y^2}}$$

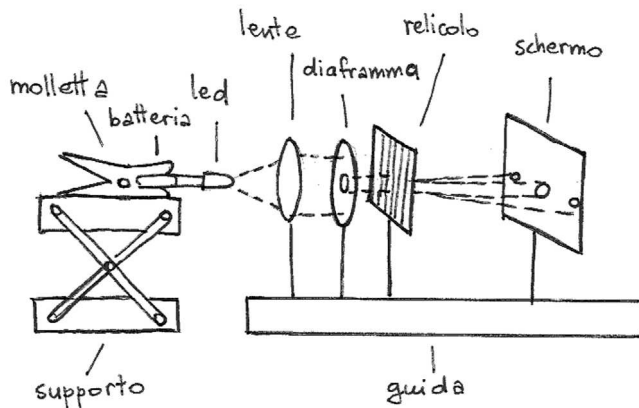


Figura 3. Schema del setup sperimentale per le misure di diffrazione. La molettina funge da supporto per il LED e mantiene il contatto tra la batteria a bottone e le zampe del LED.

Quindi in definitiva:

- $E$  è stato determinato dalla misura della tensione di soglia  $V_0$  usando la relazione  $E = e V_0$ ;
- $f$  è stato determinato da misure di diffrazione da reticolo, che fornendo la lunghezza d’onda  $\lambda$  consentono di ricavare  $f = c/\lambda$ .

Per aumentare la precisione, si sono effettuate misure su quattro LED di colore diverso, e la costante di Planck  $h$  è stata ricavata sia dalla media dei diversi valori del rapporto  $h = eV_0/f$  ottenuti, sia dalla pendenza della retta di  $E$  in funzione di  $f$ .

I dettagli delle scelte operative e didattiche, e dell'elaborazione dei dati, sono illustrati nei prossimi paragrafi.

### Descrizione dell'attività svolta

L'attività si è sviluppata in tre turni, in modo da suddividere gli iscritti in quattro gruppi da due o tre persone al massimo, per garantire la partecipazione di tutti. Ogni turno durava due pomeriggi. Durante il primo si sono introdotti brevemente l'obiettivo dell'esperimento e la fisica sottesa attraverso una presentazione, seguita da poche indicazioni sulle modalità operative dell'esperimento: gli studenti cominciavano quindi subito a lavorare autonomamente, seguendo una scheda – guida [5], mentre le docenti davano indicazioni quando richieste o quando notavano difficoltà. Nel secondo pomeriggio si sono completate le misure e si sono commentati insieme i risultati.

Tutta l'attività è stata pensata per esercitare il più possibile gli aspetti laboratoriali. Per questo motivo i gruppi hanno dovuto montare da zero il circuito ed effettuare i collegamenti necessari alle misure voltamperometriche, e allestire il banco ottico per le misure di diffrazione (Figura 4). Hanno avuto quindi modo di impegnarsi a risolvere anche problemi pratici e operativi, per realizzare e ottimizzare l'apparato, esercitando competenze laboratoriali generali, oltre a comprendere a fondo l'esperimento specifico che stavano compiendo.

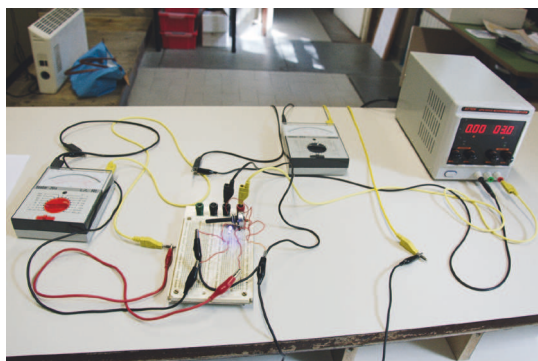


Figura 4a. Un esempio di circuito per le misure voltamperometriche montato dagli studenti e in funzione.

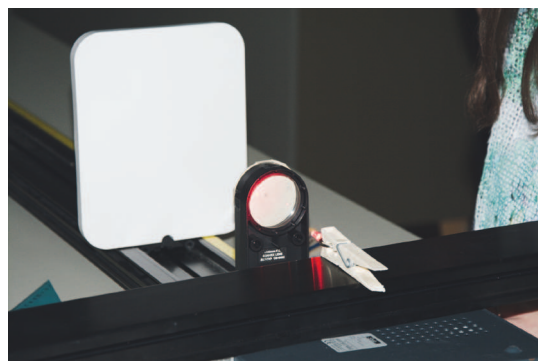


Figura 4b. Il banco ottico allestito e allineato dagli studenti per la misura della lunghezza d'onda. Durante le misure si sono spente le luci e si è oscurato il più possibile lo schermo in modo da visualizzare meglio la figura di diffrazione.

Si è sacrificata invece l'attività di calcolo, automatizzando l'elaborazione dei dati; per velocizzare la raccolta e la successiva rappresentazione ed elaborazione dei dati infatti, si è preparato un unico file con lo strumento Fogli di Google, condiviso tramite Google Drive con tutti gli studenti, già predisposto con le tabelle da completare e le funzioni per il calcolo automatico delle diverse grandezze: ogni gruppo riportava i valori raccolti sul proprio foglio, e in tempo reale poteva visualizzare il grafico tensione – corrente, il calcolo della tensione di soglia, della frequenza e della corrispondente costante di Planck (Figura 5). Un ulteriore foglio sintetizzava i risultati relativi ai quattro LED (ogni gruppo aveva un LED di frequenza diversa), ricavando la costante di Planck dalla media e dalla pendenza della retta tensione di soglia – frequenza (Figura 6).

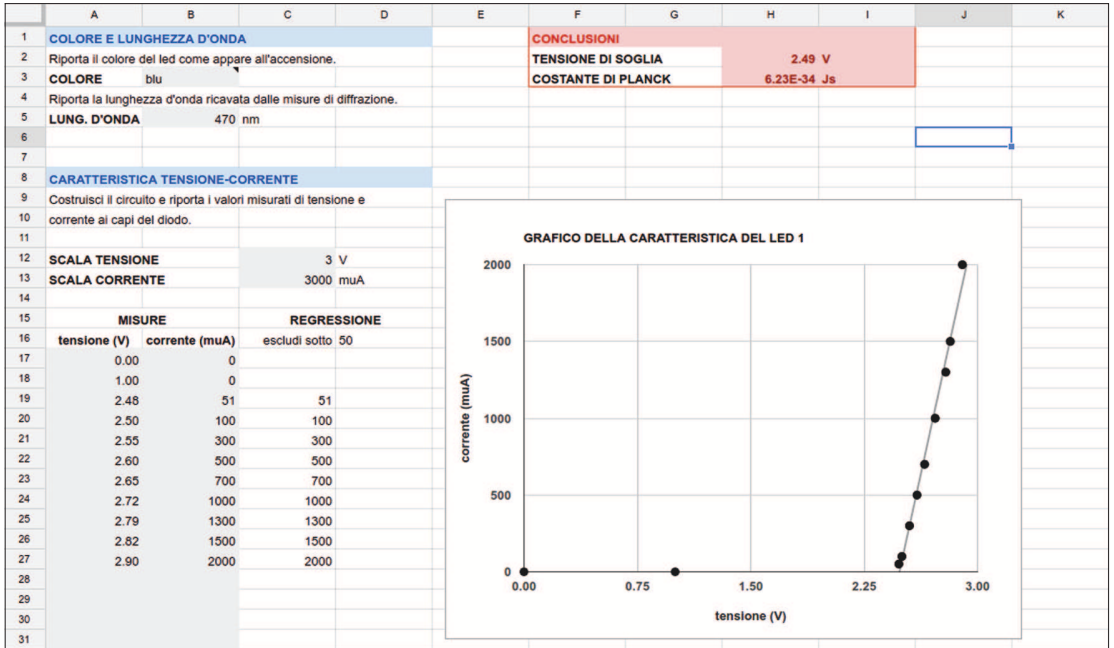


Figura 5. Esempio di foglio di calcolo per il singolo gruppo. Gli studenti dovevano compilare le caselle grigie, mentre il resto era precompilato e si aggiornava automaticamente.

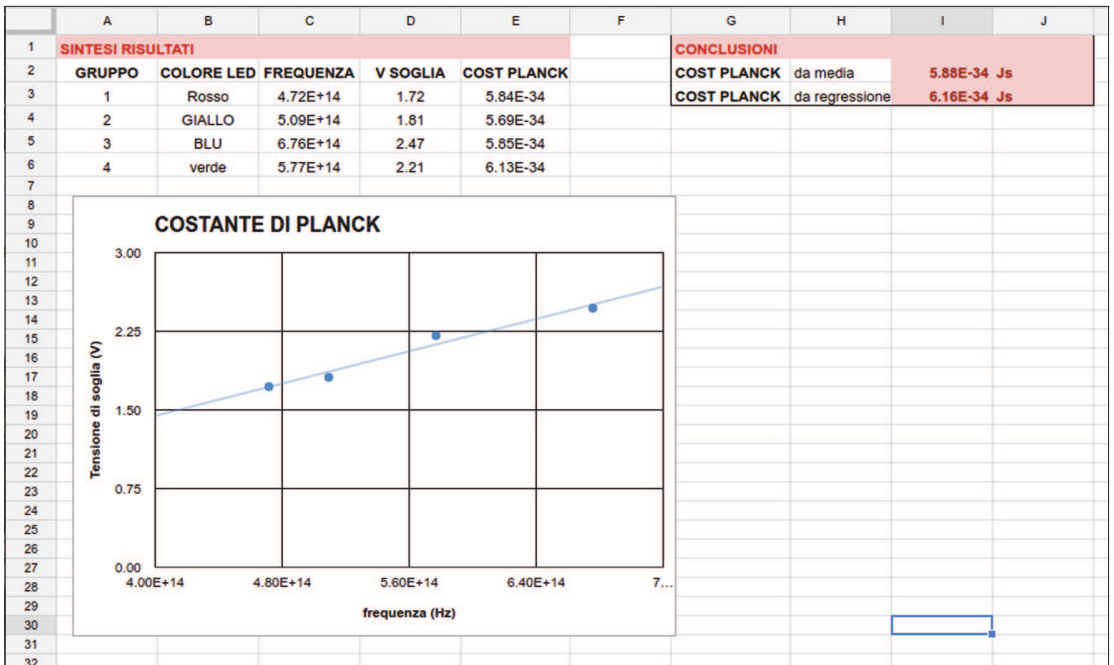


Figura 6. Esempio di foglio di calcolo di sintesi del turno. Vengono riassunti i risultati dei quattro gruppi e viene ricavata la costante di Planck dalla media e dalla regressione della retta  $V_0 = (h/e) f$ .

Questa modalità è stata possibile grazie alla copertura *wireless* all'interno della scuola, che fornisce inoltre a ciascun studente un *account Google*. È stato quindi semplice comunicare con gli studenti via *email* e condividere il *file* di elaborazione dati e altri materiali, senza dover far attivare nuovi *account* o insegnare a utilizzare strumenti diversi da quelli già a loro noti. Inoltre è stato sufficiente che un componente per gruppo portasse un portatile o un *tablet* per accedere al foglio da compilare, e in caso di problemi tecnici è stato possibile utilizzare uno *smartphone*.

Potendo osservare in tempo reale il grafico delle misure di tensione-corrente, gli studenti avevano la possibilità di riconoscere eventuali discrepanze dall'andamento atteso, cercando quindi di capire se fosse un problema di lettura, di collegamenti, degli strumenti o altro.

A fine turno, ogni gruppo aveva i propri risultati, con il calcolo della costante di Planck ottenuta dalle proprie misure, e i risultati complessivi del turno, con la costante ottenuta dalla combinazione dei risultati dei diversi LED. Si è potuto quindi subito accennare qualche riflessione sull'accuratezza e la precisione dell'esperimento.

Una discussione più dettagliata dei risultati, dei problemi aperti e di come migliorare l'esperimento, è stata lasciata a una riunione plenaria organizzata a fine attività, dove si sono riuniti tutti gli studenti che avevano partecipato partecipato, in cui si è presentata una sintesi del lavoro svolto, e una spiegazione estesa delle cause e delle soluzioni delle differenze osservate tra valori attesi e valori ottenuti, come descritto nei paragrafi successivi.

### Analisi dei dati sperimentali

Nella Tabella 1 sono riportati in modo sintetico i risultati sperimentali dell'attività:

TURNO	GRUPPO	COLORE LED	L. D'ONDA (nm)	FREQUENZA (Hz)	V SOGLIA (V)	h PLANCK (Js)
1	1	blu	470	6,38E+14	2,49	6,23E-34
	2	verde	532	5,64E+14	2,31	6,55E-34
	3	rosso	670	4,48E+14	1,66	5,92E-34
	4	arancione	579	5,18E+14	1,71	5,28E-34
2	1	blu	478	6,28E+14	2,45	6,24E-34
	2	verde	546	5,49E+14	2,20	6,41E-34
	3	rosso	619	4,85E+14	1,72	5,67E-34
	4	arancione	590	5,08E+14	1,76	5,55E-34
3	1	rosso	636	4,72E+14	1,74	5,90E-34
	2	arancione	589	5,09E+14	1,81	5,69E-34
	3	blu	460	6,52E+14	2,46	6,05E-34
	4	verde	520	5,77E+14	2,21	6,13E-34

Tabella 1. Tabella riepilogativa delle misure raccolte nei diversi turni di lavoro. Sono riportate per ciascun LED le misure di lunghezza d'onda, di frequenza, di tensione di soglia e della costante di Planck.

Il valore della costante di Planck, ricavato dalla media dei singoli valori trovati, risulta  $(6,0 \pm 0,6) \cdot 10^{-34}$  Js, cioè differisce dal valore noto di circa il 10%. Per stimare l'incertezza sui valori di  $h$  relativi a ciascun LED, abbiamo calcolato la semidisersione dei valori ottenuti dai diversi gruppi che hanno lavorato sullo stesso LED, trovando per la lunghezza d'onda incertezze comprese tra l'1% e il 4%, e per la tensione di soglia circa il 2%. Considerando che le altre grandezze che entrano nel calcolo di  $h$  sono la velocità della luce, il cui valore è assunto come esatto, e la carica dell'elettrone, che è nota con una precisione molto mag-

giore, l'incertezza su  $h$  varia tra il 3 e il 6%. Calcolare la media dovrebbe ridurre, non aumentare, l'incertezza, quindi evidentemente le misure effettuate su LED diversi non danno risultati coerenti.

D'altra parte, i valori misurati risultano tutti sottostimati, suggerendo la presenza di un errore sistematico e quindi la necessità di ricercarne le cause rivedendo la progettazione dell'attività.

Il calcolo tramite regressione, cioè dalla pendenza del grafico della tensione di soglia in funzione della frequenza, fornisce un valore di  $h = 7,75 \cdot 10^{-34}$  Js, apparentemente sovrastimato. In realtà con soli quattro valori non si riesce a determinare con precisione i due coefficienti della retta che meglio approssima i dati, e infatti se si impone il passaggio per l'origine (coerentemente con la nostra ipotesi che  $eV_0 = hf$ ), il valore diventa  $h = 6,1 \cdot 10^{-34}$  Js, cioè molto vicino a quello ottenuto dalla media, e anch'esso sottostimato.

La sottostima è abbastanza comune nei risultati riportati in esperienze didattiche [6, 7], anche se difficilmente il risultato viene sottolineato e interpretato.

Per cercare l'origine dell'errore sistematico, dapprima abbiamo controllato la progettazione del foglio di lavoro, con particolare attenzione alle funzioni costruite per elaborare i dati raccolti, escludendo quindi banali errori di calcolo. In un secondo momento abbiamo esaminato le condizioni operative. Il valore della costante deriva dal rapporto  $h = eV_0/f$ , quindi la sottostima può derivare da una sottostima della tensione di soglia o da una sovrastima della frequenza di emissione del LED. Durante gli esperimenti si è sempre lavorato con correnti basse (rimanendo al di sotto dei 3 mA) per evitare di cambiare scala sia nell'ampmetro sia nel voltmetro all'interno di uno stesso set di misure di corrente e di tensione, così che la curva caratteristica del diodo LED fosse costituita da valori omogenei. Per verificare se fosse questa la scelta operativa responsabile dell'errore, abbiamo rifatto le misure su due LED usando correnti più grandi (fondoscala a 30 mA e 100 mA), trovando valori di  $h$  più vicini al valore noto, come mostrato in Tabella 2:

LED usato	Fondoscala corrente	Costante di Planck
Media tra tutti	3 mA	$6,0 \cdot 10^{-34}$ Js
verde	30 mA	$6,4 \cdot 10^{-34}$ Js
rosso	100 mA	$6,7 \cdot 10^{-34}$ Js

Tabella 2. In questa tabella viene riportata la misura della costante di Planck ricavata in tre casi: come media di tutte le misure ottenute (indipendentemente dal colore del LED) lavorando con correnti fino a 3 mA, dalla curva caratteristica del LED verde con correnti fino a 30 mA, dalla curva caratteristica del LED rosso con correnti fino a 100 mA.

Osservando il grafico della caratteristica tensione – corrente per i diversi fondoscala usati, si vede che la curva ha un andamento di tipo esponenziale per un certo intervallo di valori di tensione vicini alla tensione di soglia; in corrispondenza di questo intervallo la luminosità del LED aumenta sempre di più. Al crescere della tensione e della corrente, il LED assume un comportamento quasi ohmico, e il grafico della caratteristica diventa in buona approssimazione lineare: la regressione di questo tratto permette di ricavare la tensione di soglia. È chiaro che aumentando i valori di corrente usati si riesce ad approssimare meglio il tratto lineare, come mostrato dal confronto tra i grafici rappresentati in Figura 7. Inoltre per correnti maggiori la pendenza aumenta, quindi l'intersezione con

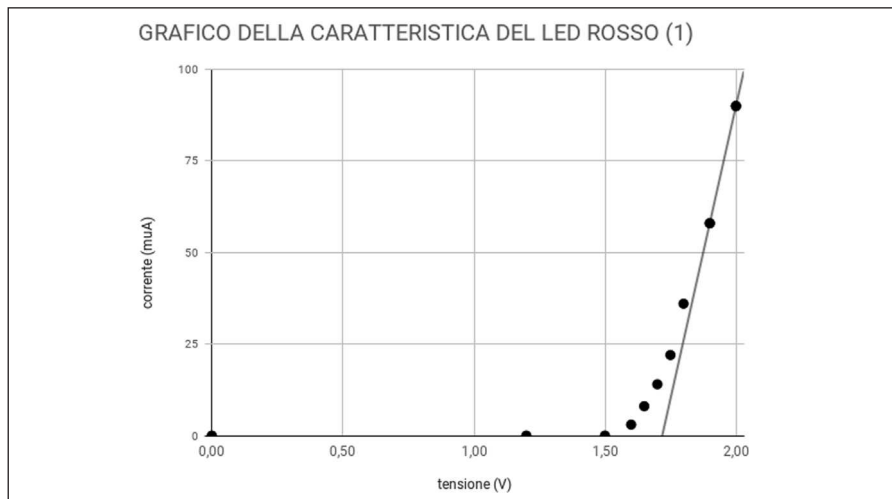


Figura 7a. Caratteristica del LED rosso con correnti fino a 0,1 mA. In etichetta delle ordinate,  $\mu\text{A}$  sta per  $\mu\text{A}$ .

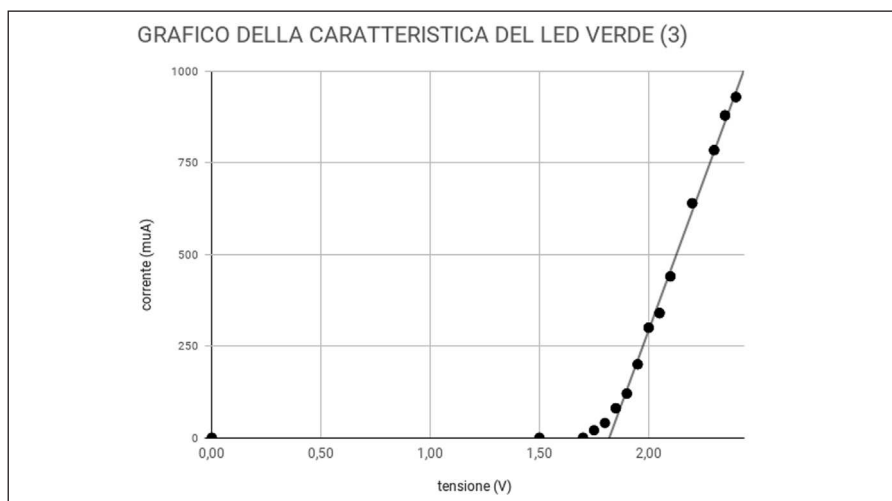


Figura 7b. Caratteristica del LED verde con correnti fino a 1 mA.

l'asse delle tensioni, cioè il valore della tensione di soglia, aumenta. Si capisce quindi una causa dei valori sottostimati durante l'esperienza con gli studenti.

Per quanto riguarda la frequenza di emissione del LED, bisogna considerare che i LED non sono perfettamente monocromatici, ma emettono con uno spettro di frequenze che non può essere una riga perfetta ma ha una certa ampiezza attorno al valore centrale, che è quello che noi misuravamo. Questo significa che gli elettroni riescono a superare il *gap*, e quindi successivamente ad emettere, anche con tensioni minori di quelle necessarie per superare il *gap* riferito al picco centrale, quindi la frequenza da noi misurata era sovrastimata rispetto alla tensione di soglia individuata. Coerentemente con questa osservazione, si può notare in Tabella 1 che il valore più sottostimato a ogni turno era sempre quello



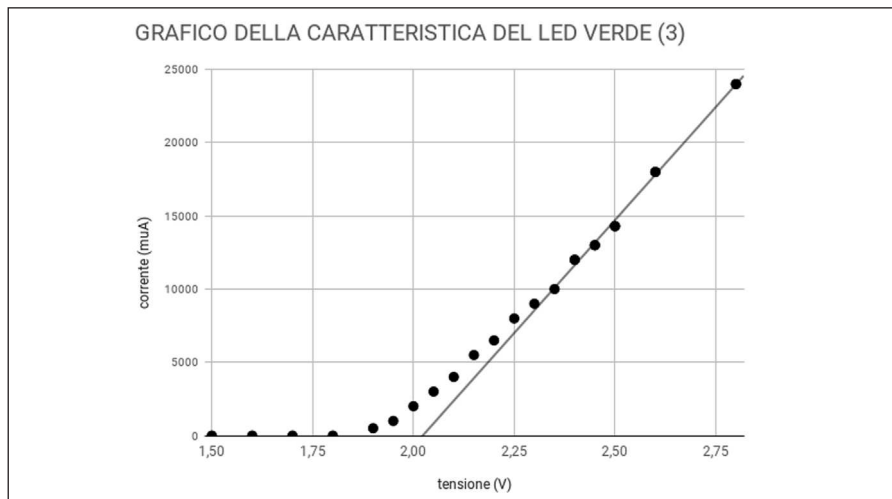


Figura 7c. Caratteristica del LED verde con correnti fino a 30 mA.

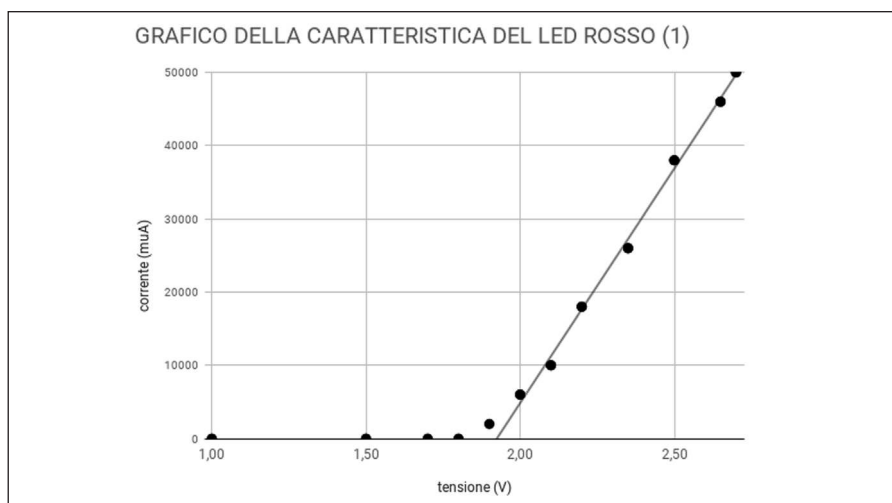


Figura 7d. Caratteristica del LED rosso con correnti fino a 100 mA.

del LED arancione, che verosimilmente aveva lo spettro più largo (non abbiamo rilevato lo spettro ma abbiamo osservato che durante le misure di diffrazione la figura del LED arancione risultava visibilmente composta da diversi colori).

Nell'incontro in plenaria conclusivo con i ragazzi, abbiamo quindi sottolineato che una "buona" misura deve essere non solo precisa ma anche accurata. La precisione dipende dalla sovrapposibilità dei valori ottenuti con la stessa procedura attraverso misurazioni differenti, proprietà che è stata garantita dallo svolgimento della stessa attività su più LED e da tre turni diversi. Una procedura sperimentale risulta accurata quando il valore medio di un'analisi di misure risulta confermato da repliche del fenomeno in condizioni differenti; l'accuratezza, nel nostro caso, non era adeguata poiché lavorando in condizioni differenti i valori medi cambiavano. Il primo approccio procedurale era incentrato sulla

raccolta di dati sperimentali per un intervallo di correnti vicine al valore di soglia ma non sufficientemente ampio per descrivere la curva caratteristica nella sua completezza, infatti ripetendo la procedura per valori di correnti diversi i valori medi ottenuti cambiavano: le nostre misure erano abbastanza precise ma non accurate.

### Risultati didattici

I ragazzi hanno apprezzato particolarmente la parte operativa dell'attività: allineare il banco ottico e costruire il circuito (Figure 8 e 9). Sono state due esperienze in cui hanno potuto applicare le loro competenze. Abbiamo rilevato la loro prima soddisfazione quando sono riusciti a collimare il fascio luminoso del LED e ottenere la figura diffrattiva attraverso il reticolo: hanno potuto osservare la monocromaticità di alcuni fasci a differenza di altri in cui si è osservato la presenza di più colori, non visibili a occhio. Gli studenti hanno vissuto un secondo grande momento "di euforia", dopo uno sconforto iniziale di fronte alle prime difficoltà, quando assemblato il circuito, il LED si accendeva. I ragazzi sono stati collaborativi, curiosi e propositivi soprattutto proprio in queste fasi, quelle più pratiche, quelle sperimentali del "fare". Un indicatore importante di questo loro interesse è stata la loro richiesta di fermarsi, oltre l'orario predisposto, per rivedere i dati e ripetere le misure: nessuno di loro è mai mancato. Un terzo momento importante, atteso dai ragazzi, era la conclusione dell'esperimento: l'analisi dei risultati. Durante l'incontro conclusivo abbiamo condiviso e commentato gli esiti sperimentali, quindi abbiamo discusso con loro sulla precisione e l'accuratezza dei dati ottenuti, infatti le misure per correnti maggiori sono state fatte da noi docenti a completamento dell'attività. L'incontro di chiusura si è svolto nella seconda ora dell'ultimo giorno di scuola, dove non c'erano momenti di verifica, ancora una volta tutti i ragazzi si sono presentati e tutti hanno preso appunti per annotare dettagli, riflessioni. Per noi docenti sono stati momenti di grande soddisfazione.

Durante i pomeriggi di lavoro, sono anche emersi degli imprevisti che si sono rivelati funzionali al processo di apprendimento, come per esempio strumenti di misura malfunzionanti o fili conduttori rovinati. È stato un momento didattico significativo perché gli allievi hanno dovuto cercare e individuare il problema e dunque risolverlo. In alcuni casi la compilazione del foglio elettronico era difficile, poiché talvolta la rete *wifi* non funzionava e quindi hanno dovuto registrare a mano i dati e inserirli in un secondo momento. Questo imprevisto

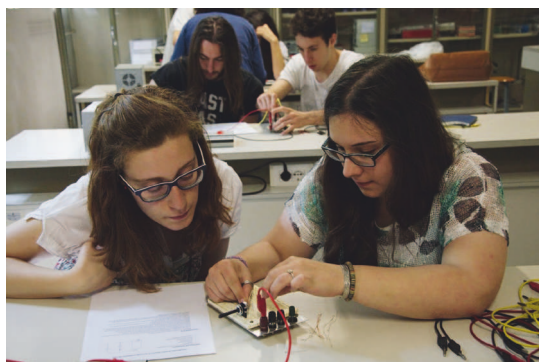


Figura 8. I ragazzi dei diversi gruppi intenti a montare il circuito.



Figura 9. La postazione con il banco ottico era unica, e veniva usata a rotazione dai diversi gruppi mentre gli altri lavoravano sul circuito o analizzavano i dati.

è stato importante perché ha permesso ai ragazzi di capire l'enorme vantaggio di un utilizzo corretto e consapevole della tecnologia: attraverso l'inserimento immediato delle misure si poteva osservare l'andamento dei dati nel grafico e l'elaborazione immediata dei dati necessari (l'aggiornamento, misura dopo misura della tensione di soglia e la stima della costante di Planck). Questo controllo misura dopo misura permetteva di capire, noto il modello teorico, la bontà delle misure proprio durante l'esperimento stesso.

Essendo questa un'attività di approfondimento extra-curricolare, non era prevista alcuna prova di valutazione. Ciononostante, al termine di questo progetto saremmo riuscite comunque a dare una valutazione su quanto appreso da ogni studente. Il nostro gruppo classe, composto da ragazzi provenienti da tutte le quinte e da una quarta, era formato da soli due studenti di una nostra classe. Tuttavia, durante queste cinque ore di attività con piccoli gruppi, dall'osservazione durante le varie fasi o dal confronto con loro man mano che uno *step* era raggiunto, abbiamo potuto verificare le conoscenze, le competenze e le abilità che gli allievi sono riusciti a mettere in campo e a potenziare.

## Conclusioni

La progettazione delle attività è risultata adeguata rispetto al monte ore stabilito. Sicuramente ci possono essere accorgimenti, migliorie da apportare ma il percorso proposto e gli obiettivi prefissati, alla luce dell'esperienza svolta, sono stati raggiunti. L'attività è stata rivolta a ragazzi già motivati, a cui è stato possibile proporre, senza preparazione, un approccio non esecutivo e quindi chiuso, ma aperto, stimolando l'autonomia e le loro capacità critiche nell'affrontare i problemi che via via si presentavano. Siamo convinte, visti gli esiti didattici e di gradimento da parte degli studenti, che un'attività di questa tipologia sia efficace.

Inoltre ha messo in luce due indubbi punti di forza. La prima scelta decisiva è stata la formazione di un gruppo classe aperto e quindi guidato da docenti non necessariamente della classe. Questa scelta ha favorito la creazione di nuove relazioni, il consolidamento degli apprendimenti e dell'autonomia in un ambiente nuovo, non "familiare" come quello della classe. Il secondo aspetto importante è che ogni ragazzo diventa *tutor*, "insegnante" nella propria classe dove riporta l'esperienza che ha potuto compiere, favorendo un apprendimento nella modalità *peer to peer*.

## Note e sitografia

- [1] [www.light2015.org/](http://www.light2015.org/)
- [2] [www.lescienze.it/news/2014/10/07/news/nobel\\_fisica\\_2014-2321542/](http://www.lescienze.it/news/2014/10/07/news/nobel_fisica_2014-2321542/)
- [3] [www.scienceinschool.org/2014/issue28/planck](http://www.scienceinschool.org/2014/issue28/planck)
- [4] [www.uniroma2.it/didattica/foe/deposito/08-Diodo.pdf](http://www.uniroma2.it/didattica/foe/deposito/08-Diodo.pdf)
- [5] La presentazione e la scheda consegnata agli studenti può essere richiesta alle autrici.
- [6] [steemit.com/science/@carloserp-2000/experimental-determination-of-the-planck-constant-by-the-use-of-led-diodes](https://steemit.com/science/@carloserp-2000/experimental-determination-of-the-planck-constant-by-the-use-of-led-diodes)
- [7] [www.ifsc.usp.br/~lavfis2/BancoApostilasImagens/ApConstantePlanck/ApCtePlanck2013/planck.pdf](http://www.ifsc.usp.br/~lavfis2/BancoApostilasImagens/ApConstantePlanck/ApCtePlanck2013/planck.pdf)