GIORNALE DI FISICA VOL. LXVII, N. 1 Gennaio-Marzo 2026
DOI 10.1393/gdf/i2026-10635-5

L'ORA DI FISICA

Misurare la costante di Planck a scuola: il progetto LAB2GO

E. V. Pagano (*), M. Guarrera, S. Biagi

INFN - Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italia

C. Alberghina

INFN - Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italia

CNR - Istituto di Bioimmagini e Sistemi Biologici Complessi, Cefalù, Italia

R. S. Caruso

Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci", Niscemi (CL), Italia

Riassunto. L'esperimento descritto consente di determinare la costante di Planck a partire dalla misura della tensione di soglia di LED di diverso colore. L'attività è stata svolta dagli studenti del Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci" di Niscemi nell'ambito del progetto INFN – LAB2GO, coordinati dalla docente di matematica e fisica e dai ricercatori e tecnologi dei Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare. La misura della costante fondamentale della fisica quantistica è stata effettuata con materiali di facile reperibilità e racchiude in sé un notevole valore didattico.

1. Introduzione

Il legame tra energia e frequenza della radiazione, espresso da $E = h\nu$, rappresenta una delle pietre miliari della fisica moderna.

La costante di Planck, h, quantifica la scala alla quale emergono gli effetti quantistici e stabilisce la relazione tra descrizione ondulatoria e corpuscolare della luce. La sua determinazione sperimentale ha avuto un ruolo cruciale nello sviluppo storico della fisica quantistica, fornendo una delle prime conferme quantitative dell'ipotesi di quantizzazione dell'energia.

(*) E-mail: epagano@lns.infn.it

Alla fine del XIX secolo, la fisica classica sembrava offrire una descrizione completa dei fenomeni naturali. Tuttavia, alcuni risultati sperimentali, tra cui l'effetto fotoelettrico, la radiazione del corpo nero e gli spettri atomici, non potevano essere spiegati con i modelli ondulatori della luce allora accettati.

L'effetto fotoelettrico, osservato per la prima volta da Heinrich Hertz nel 1887 e successivamente studiato da Philipp Lenard (1902), consiste nell'emissione di elettroni da una superficie metallica quando questa viene irradiata da luce di sufficiente frequenza. La teoria elettromagnetica classica prevedeva che l'energia degli elettroni emessi dovesse crescere con l'intensità della luce incidente; tuttavia, gli esperimenti mostrarono che l'energia cinetica degli elettroni dipendeva unicamente dalla frequenza della radiazione, mentre l'intensità ne influenzava solo il numero.

Nel 1905, Albert Einstein propose una spiegazione rivoluzionaria basata sulla teoria dei quanti di energia introdotta da Max Planck nel 1900 per descrivere la radiazione del corpo nero [1, 2]. Einstein ipotizzò che la radiazione luminosa fosse costituita da pacchetti discreti di energia detti fotoni, ciascuno avente energia

$$E = h\nu, \tag{1}$$

dove h è la costante di Planck e ν è la frequenza della luce.

Quando un fotone incide su un elettrone in un metallo, trasferisce la propria energia alla particella. Una parte di essa serve a superare il lavoro di estrazione W, caratteristico del materiale, mentre l'energia residua si manifesta come energia cinetica dell'elettrone emesso:

$$E_{\text{kin}} = h\nu - W. \tag{2}$$

Il valore di W dipende dal metallo e dalle condizioni superficiali; citando ad esempio il materiale di cui è fatta la fotocellula utilizzata nell'esperimento qui descritto, ovvero il cesio, a temperatura ambiente W vale circa 2 eV.

Per determinare sperimentalmente la costante di Planck si misura, per differenti frequenze della luce incidente, la tensione di arresto V_s necessaria per annullare la corrente fotoelettrica tra catodo e anodo.

A corrente fotoelettrica nulla, tutta l'energia cinetica E_{kin} dell'elettrone è esattamente bilanciata dal lavoro compiuto dal campo elettrico contrario. In questa condizione di equilibrio, tutta l'energia cinetica si trasforma in energia potenziale elettrica eV_s (dove e è la carica elementare dell'elettrone) secondo la relazione $eV_s = E_{\text{kin}}$.

La condizione limite di equilibrio è:

$$eV_s = h\nu - W. \tag{3}$$

Tracciando il grafico di eV_s in funzione di ν, si ottiene una relazione lineare la cui pendenza rappresenta la costante di Planck h, mentre l'intercetta sull'asse delle ordinate fornisce il valore del lavoro di estrazione W per il materiale impiegato.

Fig. 1. – Foto dei partecipanti al progetto INFN – LAB2GO (studenti e tutor) presso il liceo scientifico "Leonardo da Vinci" di Niscemi, maggio 2025.

Questa relazione lineare fu verificata sperimentalmente da Robert Millikan nel 1916, confermando quantitativamente la teoria di Einstein e contribuendo in modo decisivo all'affermazione della meccanica quantistica nascente [3].

La costante di Planck è oggi una delle costanti fondamentali della natura, con valore misurato:

$$h = 6.62607015 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}, \tag{4}$$

definito esattamente nel Sistema Internazionale dal 2019 come parametro base per la ridefinizione del chilogrammo [4].

Nell'esperimento qui presentato, si propone la misura della costante h mediante l'osservazione della tensione di soglia di diodi a emissione luminosa (LED) di diverso colore. Questa attività è stata svolta dagli studenti del Liceo Scientifico "Leonardo da Vinci" di Niscemi nell'ambito del progetto INFN – LAB2GO [5, 6] (fig. 1), coordinati dalla docente referente e dai ricercatori e tecnologi dei Laboratori Nazionali del Sud dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare di Catania. La semplicità dell'apparato, unita alla chiarezza del fenomeno fisico, rende questa attività particolarmente adatta ai laboratori didattici scolastici, dove gli studenti possono osservare in modo diretto la quantizzazione dell'energia nei processi di emissione luminosa.

2. Il LED: principio di funzionamento

Un LED (Light Emitting Diode) è un dispositivo a semiconduttore che emette radiazione elettromagnetica quando è polarizzato direttamente. Il fenomeno alla base del suo funzionamento è l'elettroluminescenza.

Il dispositivo è costituito da una giunzione p-n, cioè dall'unione di due regioni di semiconduttore con proprietà elettriche diverse: Una regione di tipo n, ricca di elettroni liberi, e una regione di tipo p, ricca di lacune (assenze di elettroni che si comportano come cariche positive). Quando il diodo è polarizzato direttamente, elettroni e lacune vengono spinti verso la zona di giunzione, dove possono ricombinarsi.

Nei materiali impiegati per i LED questa ricombinazione è in larga parte radiativa: l'energia persa dall'elettrone nel passaggio dalla banda di conduzione alla banda di valenza viene emessa sotto forma di un fotone.

L'energia del fotone emesso è determinata dall'ampiezza della banda proibita $E_g$del materiale semiconduttore:

$$E_\gamma \approx E_g. \tag{5}$$

Poiché l'energia del fotone è anche data dalla relazione fondamentale

$$E_\gamma = h\nu, \tag{6}$$

il colore (cioè la frequenza) della luce emessa dipende dal materiale utilizzato.

La tensione di soglia V_s necessaria per osservare un'emissione luminosa significativa è legata all'energia che gli elettroni devono acquisire per attraversare la giunzione e ricombinarsi radiativamente. Di conseguenza, in prima approssimazione si può scrivere una relazione del tipo:

$$eV_s \approx E_g \approx h\nu, \tag{7}$$

dove e è la carica elementare. Scostamenti da questa relazione ideale sono dovuti a perdite non radiative e ad altri contributi energetici. Nel presente lavoro tali effetti non vengono descritti tramite un termine correttivo esplicito, ma sono considerati come parte delle incertezze e delle approssimazioni del metodo.

3. Apparato sperimentale

L'esperimento è stato condotto utilizzando 5 LED delle seguenti lunghezze d'onda: 472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm e 611 nm.

Il setup comprende oltre ai LED (fig. 2 e fig. 3)

- apparecchio di base con fotocellula, voltmetro, nano-amperometro e alimentazione per i LED;
- involucro protettivo per il tubo di alloggiamento della fotocellula;
- alimentatore ad innesto 12 V CA.

1 LED con cavo di collegamento
2 Nanoamperometro
3 Voltmetro
4 Cappuccio di protezione della fotocellula
5 Tubo di alloggiamento della fotocellula
6 Presa per alimentatore a spina
7 Alimentazione di tensione con jack di raccordo per LED
8 Regolatore della forza controelettromotrice (approssimativo)
9 Regolatore della forza controelettromotrice (fine)
10 Regolatore di intensità
11 Involucro protettivo

Fig. 2. – Setup sperimentale così come fornito dal costruttore [7].

Fotocellula:	tipo 1P39, cesio (Cs)
Voltmetro:	3½ cifre, LCD
Precisione:	0,5 % (normalmente)
Nanoamperometro:	3½ cifre, LCD
Precisione:	1 % (normalmente)
Diodi luminosi:	472 nm, 505 nm, 525 nm, 588 nm, 611 nm
Dimensioni:	280 x 150 x 130 mm³
Peso:	ca. 1,3 kg

Fig. 3. – Dati tecnici forniti dal costruttore [7].

4. Metodologia sperimentale e presa dati

Gli studenti hanno operato collegando il primo LED allo strumento di misura, inserendo i vari connettori e fissando tutto opportunamente, così come prescritto dal costruttore. In seguito, l'intensità luminosa è stata impostata al 75% del valore massimo mediante il regolatore 10 (fig. 2). A questo punto, è stata studiata la caratteristica corrente-tensione del LED, al fine di determinare la tensione di soglia V_s corrispondente all'inizio dell'emissione luminosa.

In particolare, V_s è stata determinata riducendo inizialmente la tensione controelettromotrice tramite il potenziometro 8 (fig. 2), in modo da ridurre più possibile la fotocorrente, e successivamente utilizzando il regolatore di forza elettromotrice fine 9 (fig. 2) fino a raggiungere una condizione di corrente misurata sul nanoamperometro

Tabella I. – *Organizzazione delle misure con relativo errore.*

LED	Lunghezza d'onda [m]	V_s [V]	Errore su V_s (1%) [V]	Frequenza [Hz]	Energia fotone (eV_s) [J]	Errore energia fotone [J]
1	4.72E-07	0.651	0.007	6.36E+14	1.04E-19	1.0E-21
2	5.05E-07	0.52	0.005	5.94E+14	8.32E-20	8E-22
3	5.25E-07	0.446	0.004	5.71E+14	7.14E-20	7E-22
4	5.88E-07	0.122	0.001	5.10E+14	1.95E-20	2E-22
5	6.11E-07	0.072	0.001	4.91E+14	1.15E-20	1E-22

2 (fig. 2) prossima allo zero. Raggiunta questa condizione, il valore di tensione mostrato sul display 3 (fig. 2) rappresenta la stima di V_s. Il valore di V_s così trovato per il primo LED è stato riportato in una tabella, insieme alla lunghezza d'onda fornita dal costruttore (tablla I). La frequenza ν della luce emessa è poi stata calcolate a partire dalla lunghezza d'onda nominale mediante la relazione $\nu = \lambda/c$. L'energia del fotone, pari a eV_s, è stata calcolata utilizzando il valore $e = -1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$ per la carica elettrica elementare. Questa procedura è stata ripetuta per ciascuno dei LED a disposizione (per un totale di 5). I dati sono stati organizzati nella tabella I.

L'errore da associare alla misura del potenziale presente in colonna cinque e quello da associare alla misura dell'energia del fotone riportato in colonna sette sono calcolati tenuto conto del valore del 1% sulla misura della differenza di potenziale, così come dichiarato dal costruttore.

5. Risultati e discussione

Al fine di trovare il valore della costante di Planck h e del lavoro di estrazione W si è provveduto a riportare i valori in tabella tracciando un grafico cartesiano della tensione di soglia V_s in funzione della frequenza ν della luce dei LED.

In tal modo la relazione che ci si aspetta è di tipo lineare (3) come già descritto nell'introduzione e come previsto dal modello quantistico (fig. 5).

In fig. 5 sono rappresentati i dati raccolti e l'errore associato ad ogni punto è all'interno della dimensione del punto stesso. Si ricorda che sull'asse delle ascisse, in cui vi è riportata la frequenza, non si associa alcun errore sperimentale in quanto è data per certa la misura della lunghezza d'onda dei LED fornita dal costruttore. Dall'interpolazione lineare si ricavano i seguenti valori:

$$h = (6.58 \pm 0.05) \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$$
$$W = (-3.2 \pm 0.2) \times 10^{-34}\,\mathrm{J} \qquad \text{pari a} \qquad W = (-2.0 \pm 0.1)\,\mathrm{eV}.$$

I valori sono in ottimo accordo con il valore di riferimento $h = 6.626 \times 10^{-34}\,\mathrm{J\,s}$ e quello del lavoro di estrazione del cesio di circa 2 eV.

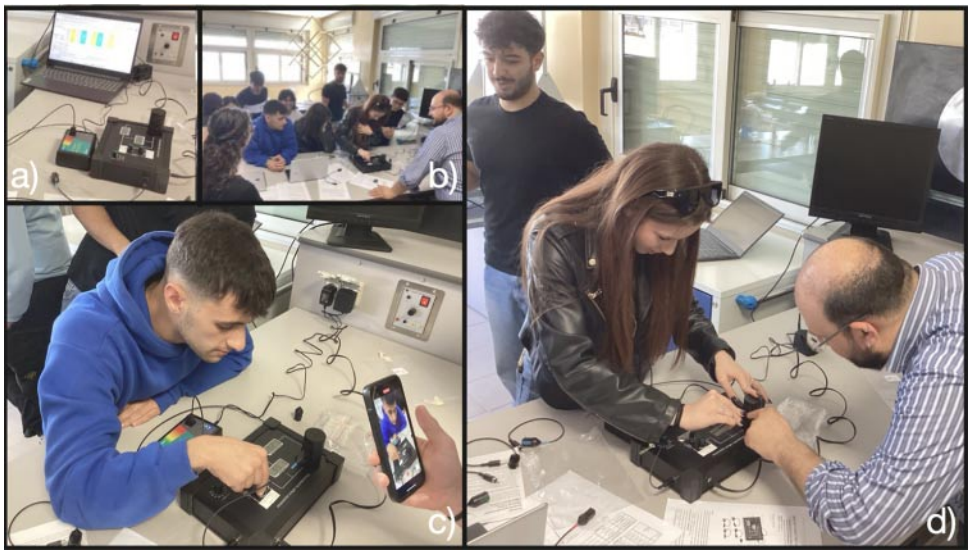

Fig. 4. – a) Apparato sperimentale. b), c), e d) Misura ad opera degli studenti e tutor.

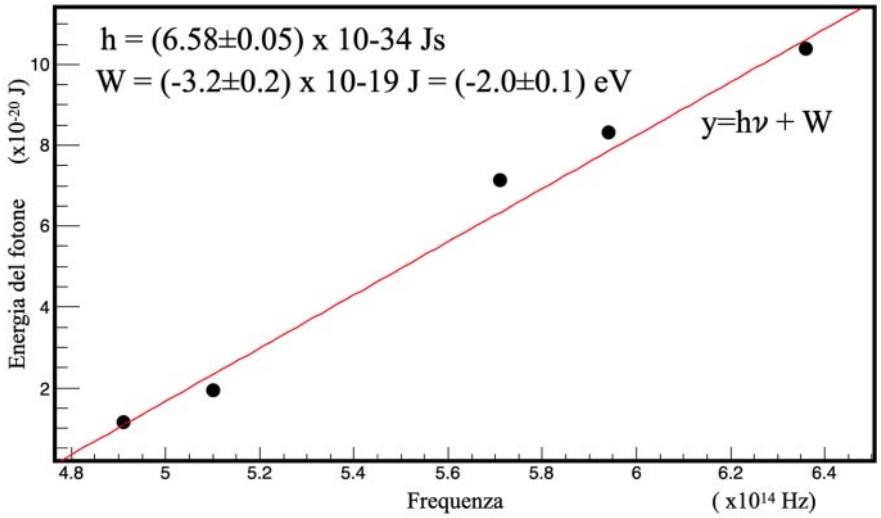

Fig. 5. – Rappresentazione dei dati raccolti in un istogramma cartesiano ed interpolazione lineare dei risultati con i valori estratti.

L'errore percentuale di poco inferiore al 1% conferma l'affidabilità della misura, pur in un contesto didattico.

Le studentesse e gli studenti (fig. 4) hanno così potuto verificare in modo diretto il legame tra tensione elettrica, energia quantizzata e frequenza della luce, collegando concetti di elettronica e meccanica quantistica.

6. Conclusioni

L'attività ha permesso di mostrare come, con strumenti semplici e metodologie accessibili, sia possibile esplorare concetti fondamentali della fisica moderna come la quantizzazione dell'energia del fotone.

L'esperimento ha rappresentato un'occasione di apprendimento attivo e di collaborazione, pienamente in linea con gli obiettivi del progetto INFN – LAB2GO [5, 6], volto a promuovere la cultura scientifica attraverso esperienze di laboratorio reali. In particolare, l'attività si inserisce nello spirito specifico di LAB2GO, che mira a valorizzare e riattivare i laboratori scolastici come luoghi di ricerca e non soltanto di verifica di leggi note, favorendo un approccio investigativo in cui studenti e studentesse sono protagonisti del processo di misura, analisi e interpretazione dei dati. La dimensione collaborativa tra scuola e INFN ha inoltre permesso di avvicinare il contesto scolastico alle pratiche autentiche della ricerca scientifica, riducendo la distanza percepita tra fisica "di frontiera" e didattica curricolare.

Il lavoro ha inoltre contribuito a rafforzare nei partecipanti la consapevolezza del valore della misura sperimentale come strumento di conoscenza e di verifica dei principi della fisica quantistica.

L'introduzione operativa di concetti quali la quantizzazione dell'energia e la natura del fotone, pur non essendo trattati in modo sistematico nei programmi tradizionali del liceo scientifico, ha offerto agli studenti un'occasione significativa di ampliamento culturale, mostrando come le idee della fisica moderna siano accessibili anche a livello scolastico se mediate da esperienze concrete. In questo senso, l'attività non si è limitata a integrare programma scolastico, ma ha contribuito a formare una visione più consapevole e aggiornata della scienza contemporanea, stimolando curiosità, senso critico e apertura verso temi che costituiscono parte fondamentale del patrimonio culturale scientifico.

* * *

Tutor dei LNS partecipanti al progetto "INFN – LAB2GO" (in ordine alfabetico):

C. Alberghina, S. Biagi, F. P. Cammarata, C. Di Mauro, G. Ferrara, M. Guarrera, G. Larosa, R. Leanza, C. Manna, E. V. Pagano, S. Pulvirenti.

Docente dell'istituto "Leonardo da Vinci" di Niscemi:

R. S. Caruso.

Studenti dell'istituto "Leonardo da Vinci" di Niscemi che hanno partecipato al progetto (in ordine alfabetico):

S. Bellissimo, F. Branciforti, G. Cannata, G. M. Di Dio, G. Di Simone, C. Emulo, L. Gagliano, L. P. Gasperini, S. Giarracca, D. Giugno, S. Iannì, L. Meli, G. Pennino, E. Presti, V. Preti, F. Ristagno, G. Stefanini, S. Tinnirello, V. Virone.

Bibliografia

[1] Planck M., "On the Theory of the Law of Energy Distribution in the Normal Spectrum", *Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft*, **2** (1900) 237.
[2] Einstein A., "On a Heuristic Viewpoint Concerning the Production and Transformation of Light", *Annalen der Physik*, **17** (1905) 132.
[3] Millikan R. A., "A Direct Photoelectric Determination of Planck's h", *Phys. Rev.*, **7** (1916) 355.
[4] Kibble B. P., "A measurement of the gyromagnetic ratio of the proton by the strong field method", *Atomic Energy Research Establishment Report* (1976).
[5] De Bonis G. and Astone P., "Lab2GO: A project for supporting laboratory practice in teaching STEM disciplines in high school", in: *Proceedings of the 16th International Technology, Education and Development Conference* (INTED2022), pp. 7934–7942. IATED https://doi.org/10.21125/inted.2022.2000.
[6] https://web.infn.it/lab2go/ (accessed: 23/02/2026).
[7] https://www.3bscientific.com/pl/planck-s-constant-apparatus-1000537-u10700-230-3b-scientific,p_1706_16633.html (accessed 11/04/2026).