



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



LABORATORIO DI FISICA MODERNA
PLS 2025-'26
La Misura della
Costante di Planck h

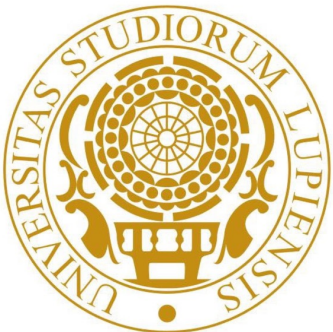
M.L. De Giorgi, L. Martina

18/03/2026

Dipartimento di Matematica e Fisica «Ennio De Giorgi»

Università del Salento

Sezione INFN - Lecce

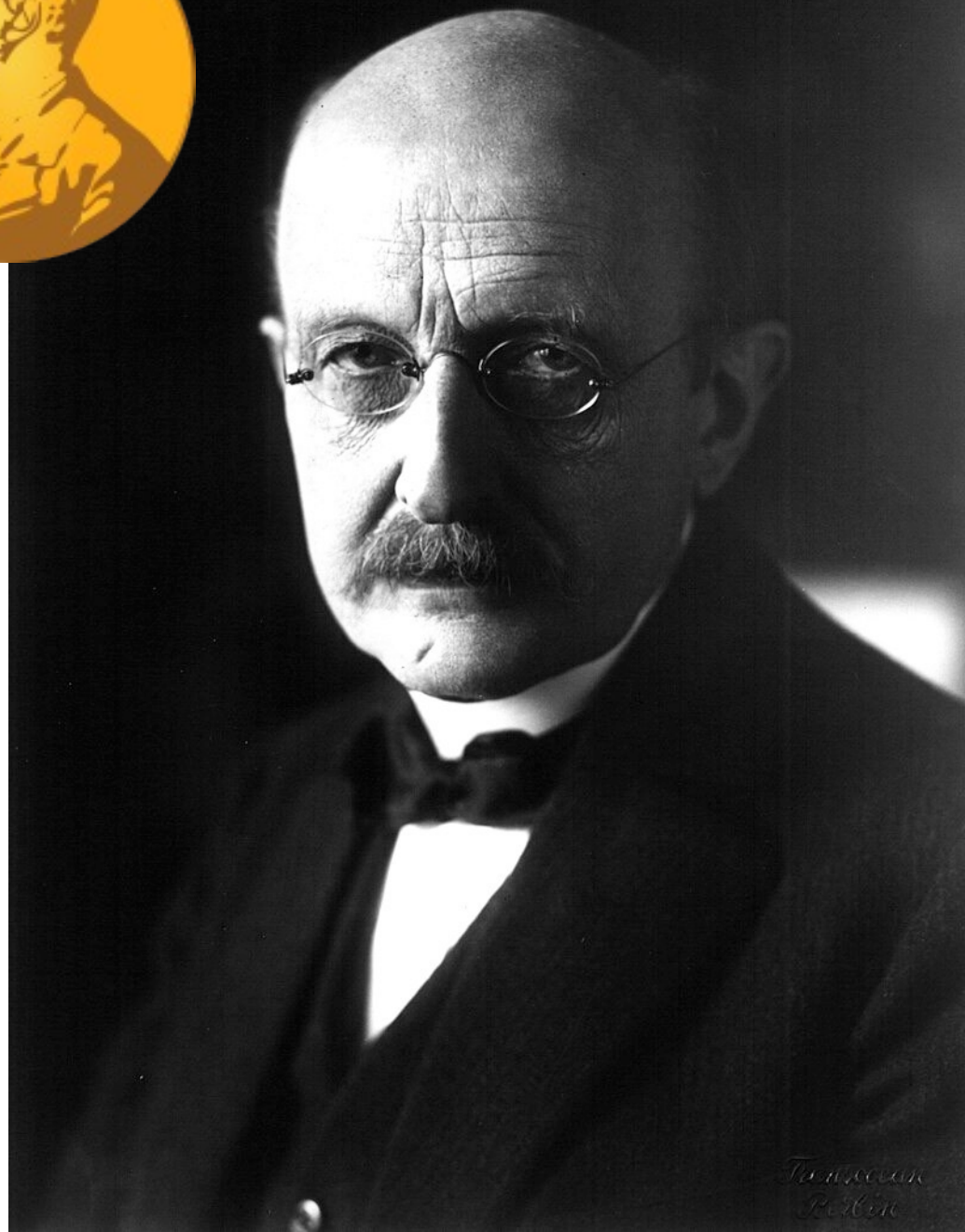


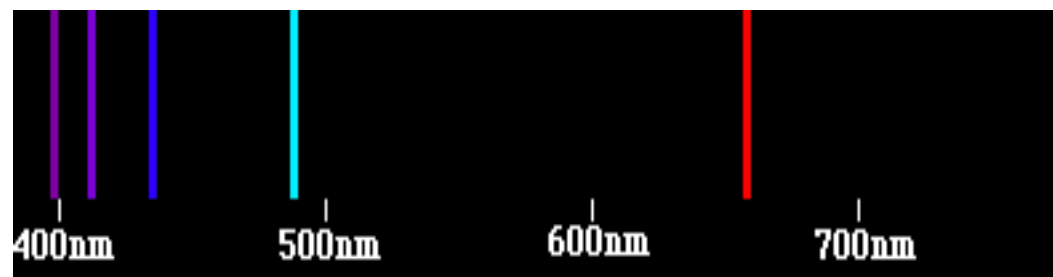
Max Planck,
Kiel, 23 aprile 1858 –
Gottinga, 4 ottobre 1947)

è stato un fisico tedesco,

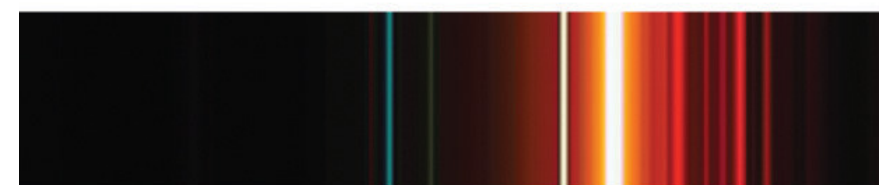
iniziatore della fisica quantistica

Premio Nobel per la Fisica 1918.

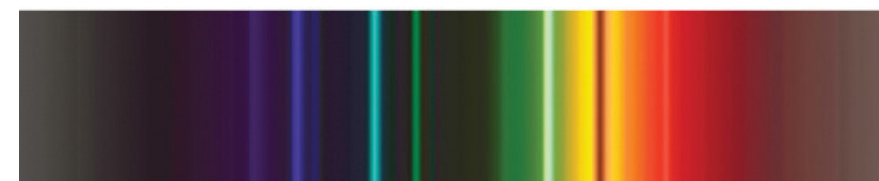




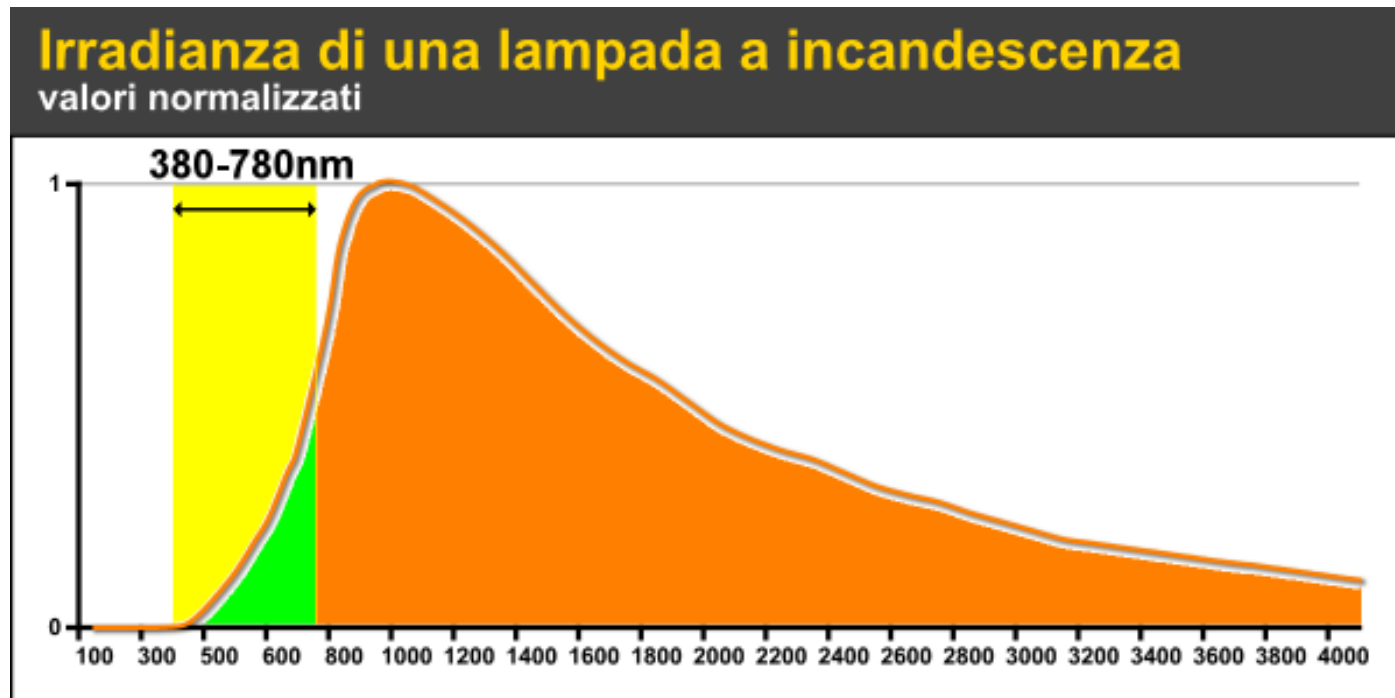
Hg vapor spectrum (350-700 nm)



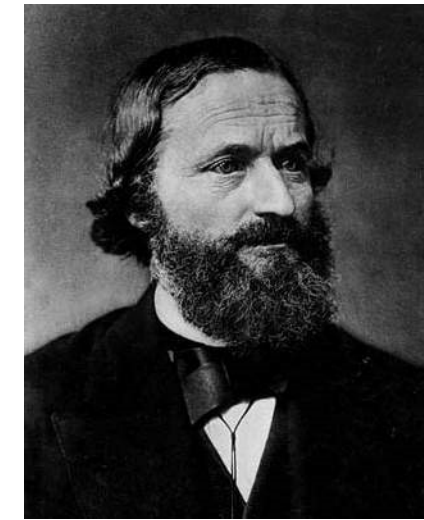
Low-pressure Na spectrum (350-700 nm)



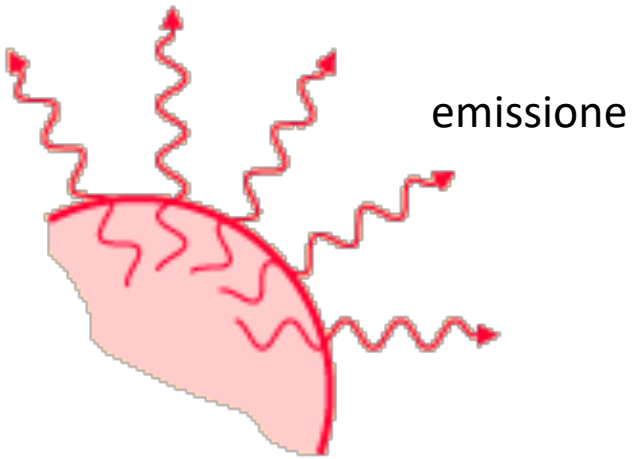
High-pressure Na spectrum (350-700 nm)



Irraggiamento

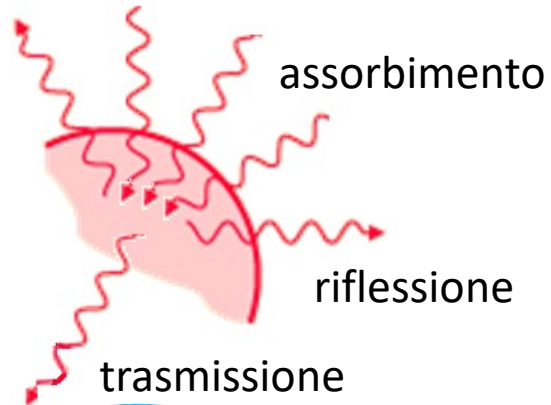


G. R. G. Kirchhoff



$$\frac{P}{A} = \sigma T^4 \text{ j/m}^2\text{s} \quad \text{Stefan-Boltzmann Law}$$

$$\sigma = 5.6703 \times 10^{-8} \text{ watt / m}^2\text{K}^4$$



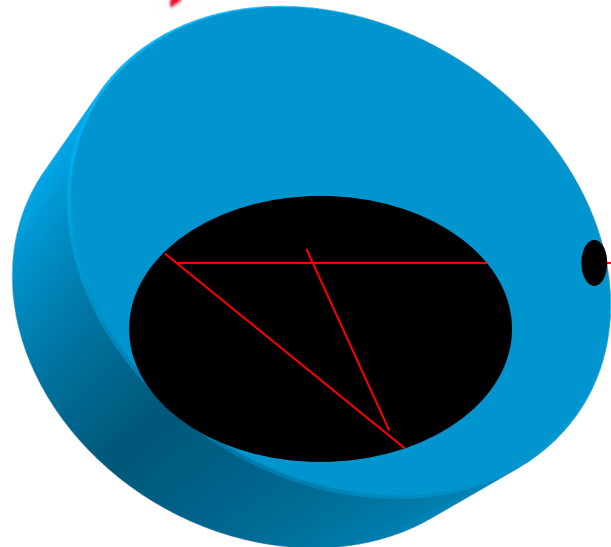
$$\frac{P}{A} = e\sigma T^4$$

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

$$e = \alpha$$

«per ogni sostanza il comportamento rispetto all'emissione e all'assorbimento, a parità di temperature, è il medesimo»

Il Principio della Termodinamica



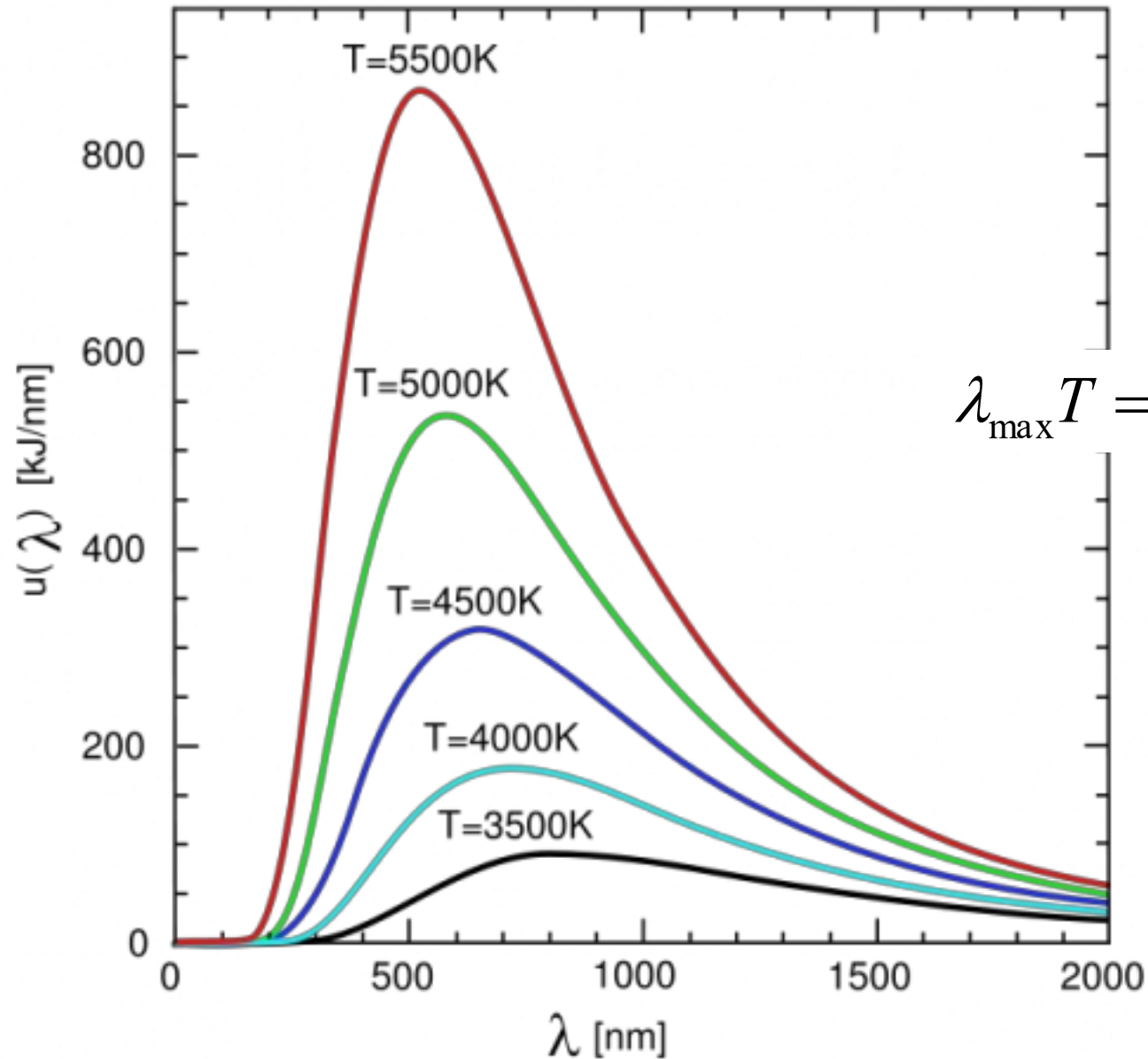
Radiatore Perfetto
CORPO NERO



Assorbitore Perfetto
CORPO NERO

$$P_{emiss} = f(T)$$

Spettro di corpo nero



Legge di Wien

$$\lambda_{\max} T = 2.898 \times 10^{-3} \text{ m } ^0 K$$



Ipotesi di Planck

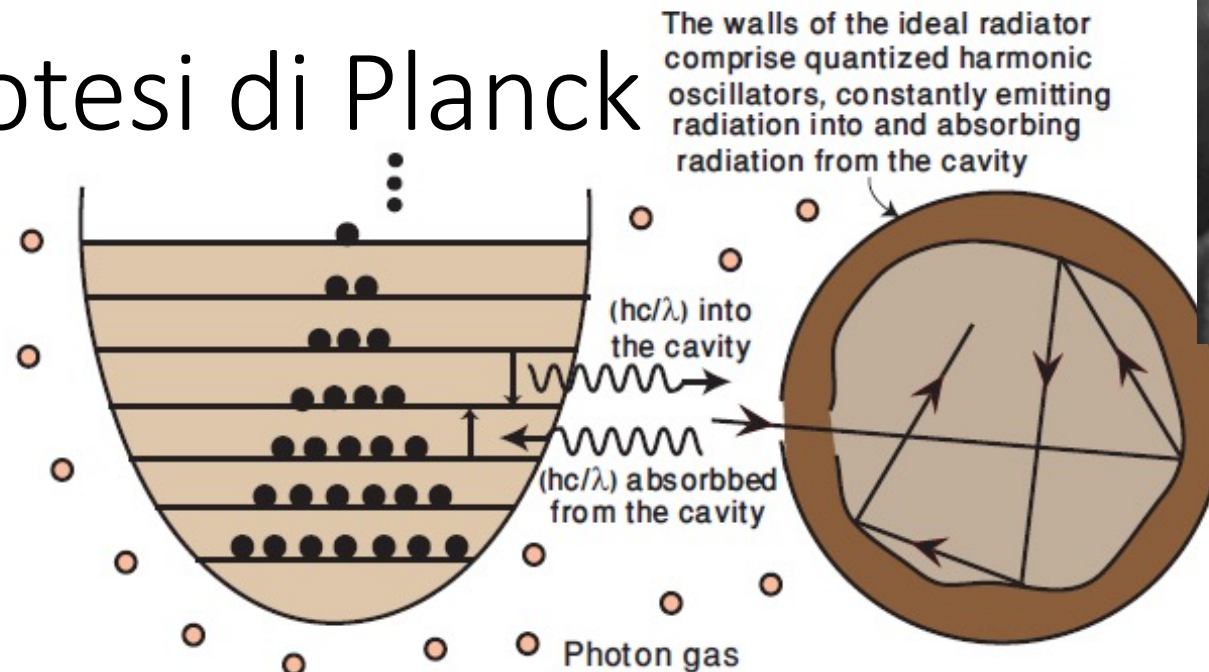
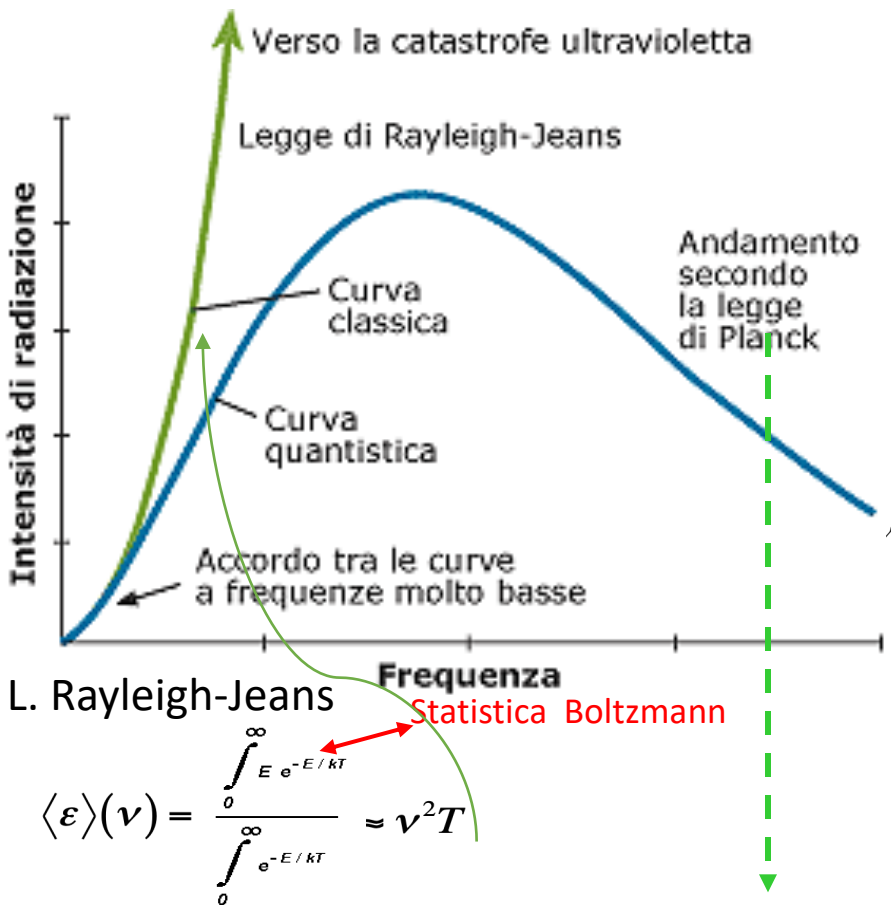
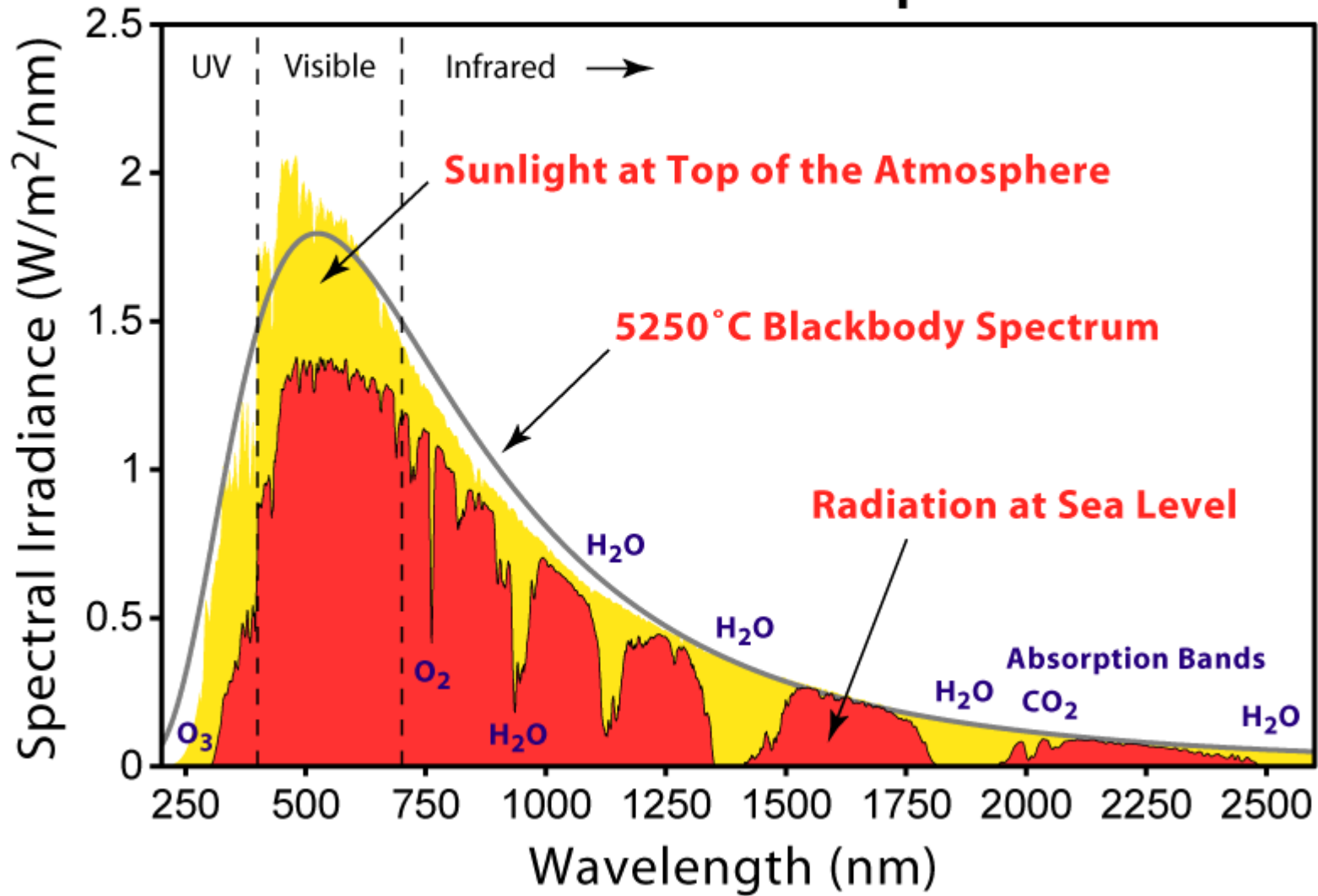


Figure 1: A physical model of a blackbody.

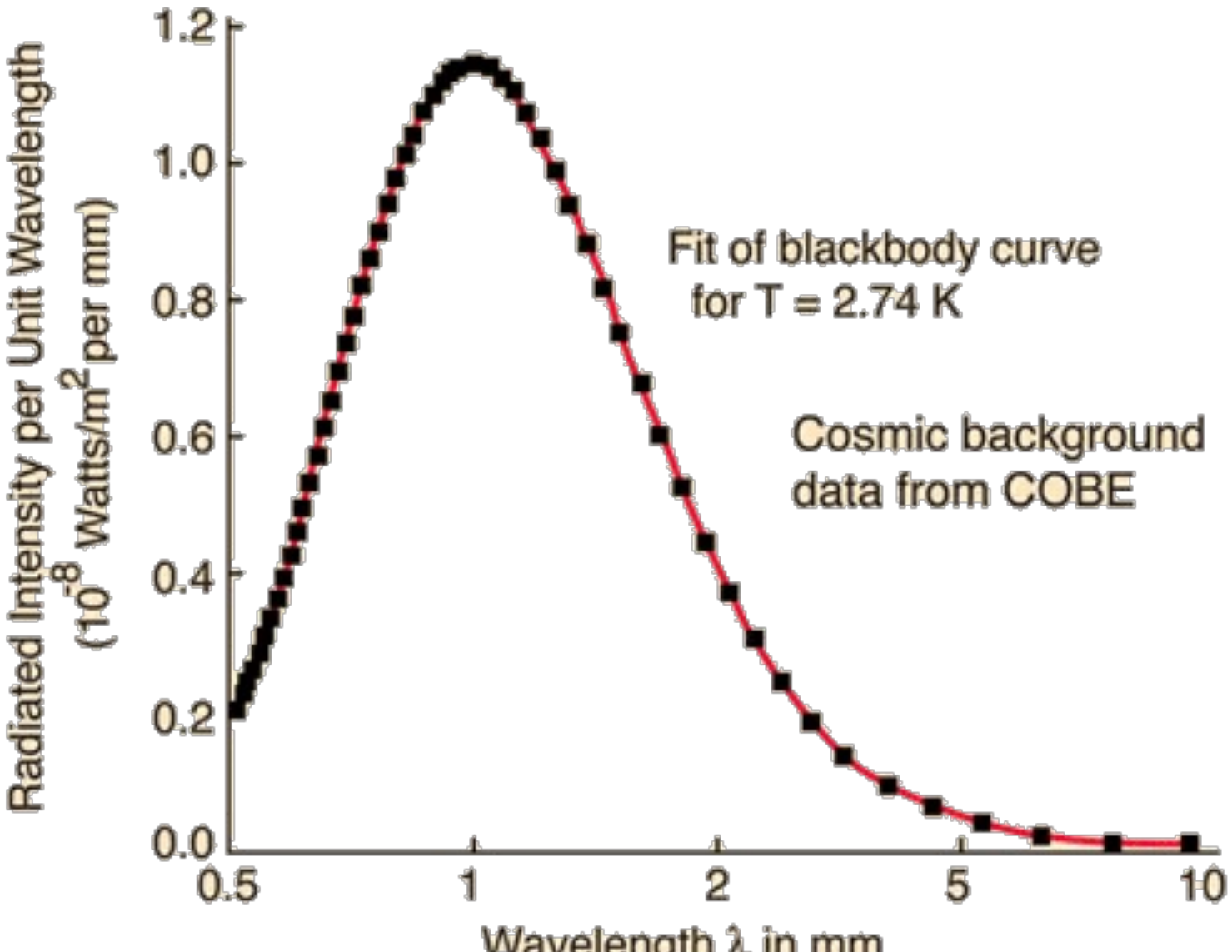
Ipotesi di Planck (1900): per ogni data frequenza, il sistema materiale può scambiare con la radiazione **multipli interi** di un quanto fondamentale:

$$\Delta E = h\nu \rightarrow \langle \varepsilon \rangle(\nu) \approx \frac{h\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}$$

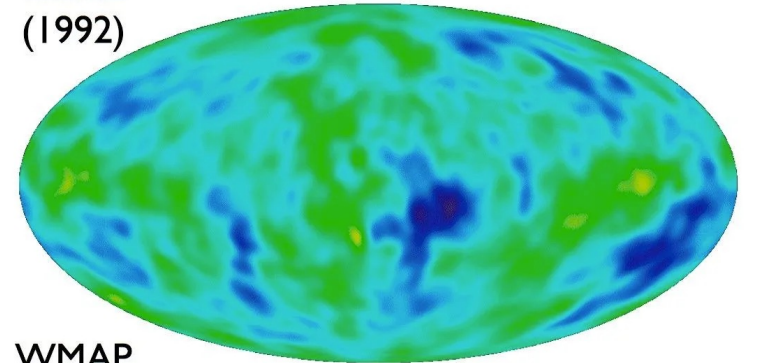
Solar Radiation Spectrum



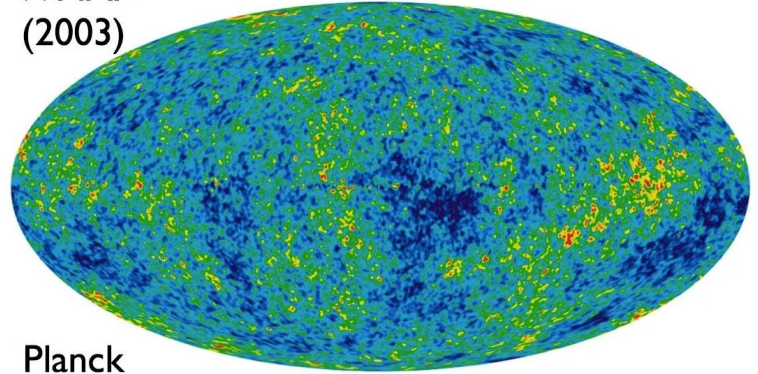
Radiazione di Fondo Cosmico



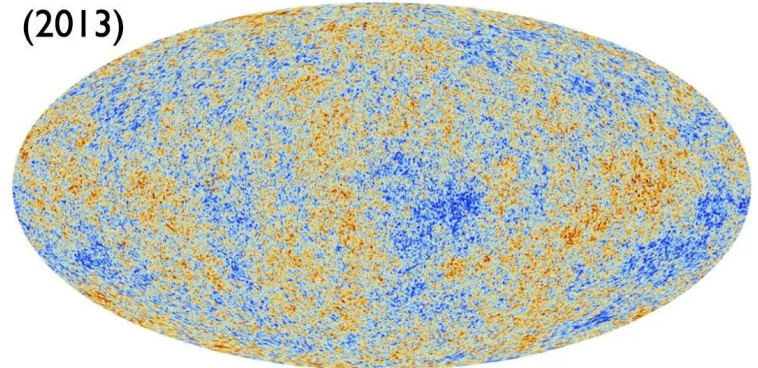
COBE
(1992)



WMAP
(2003)



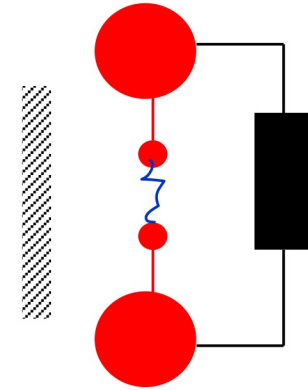
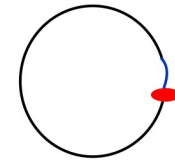
Planck
(2013)



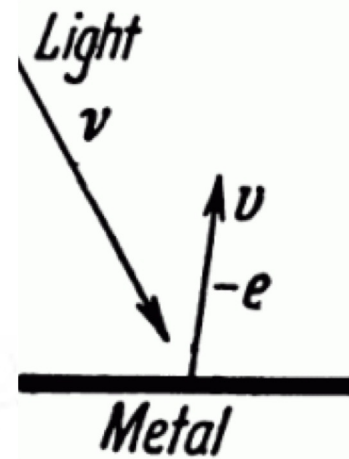
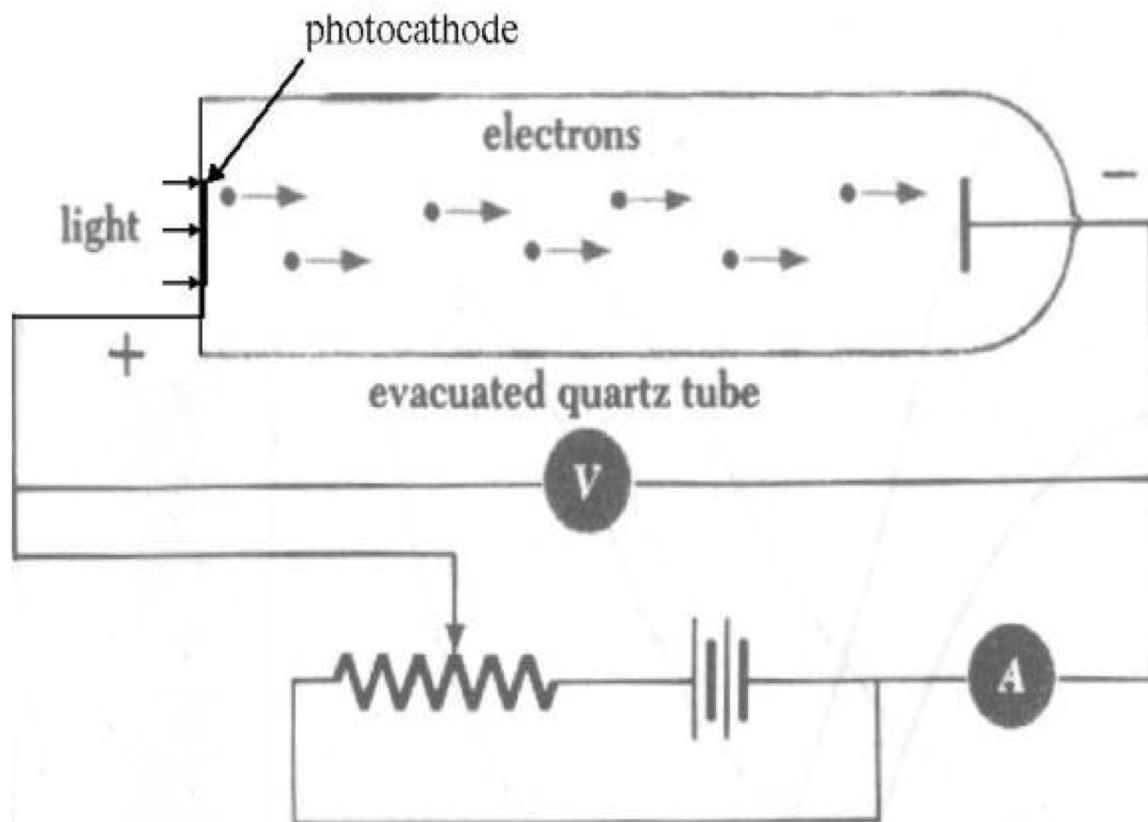


L'effetto Fotoelettrico

Quarzo	SI
Gesso	SI
Vetro	Ridotta
Legno	Nulla

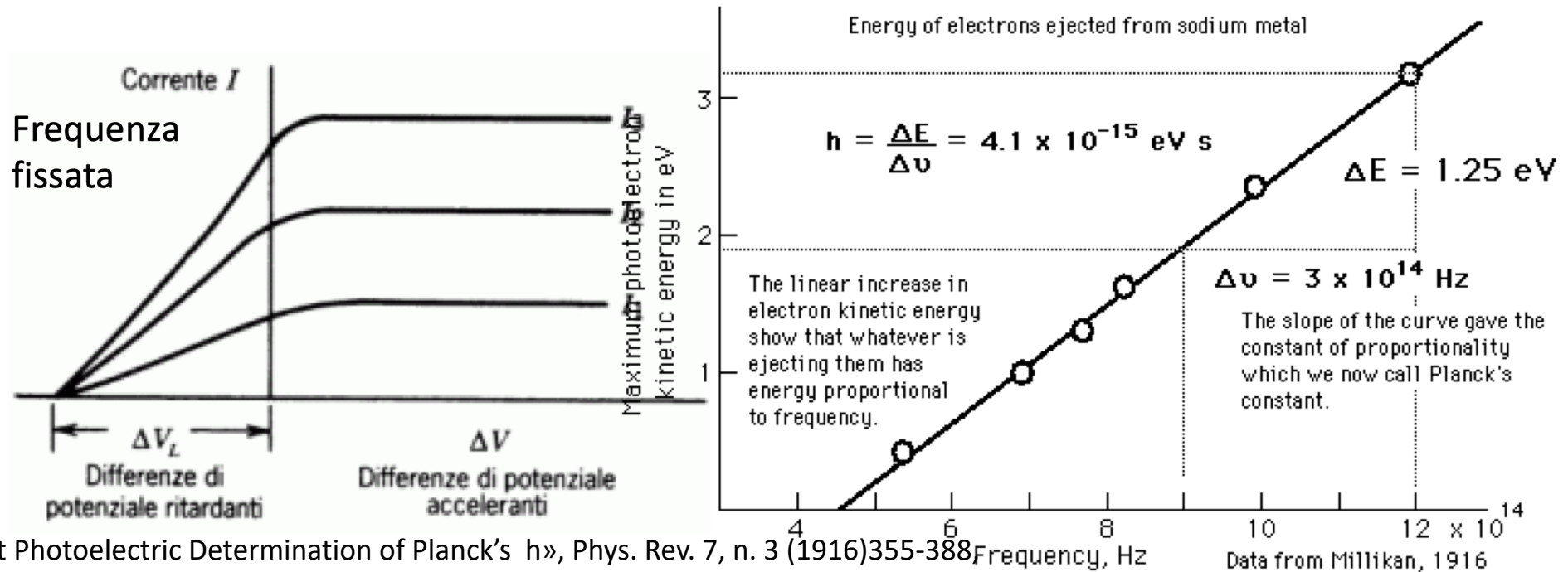


Hertz, 1887



Lenard
1899 - 1902

Relazioni caratteristiche dell'effetto fotoelettrico



Millikan, R. A., «A Direct Photoelectric Determination of Planck's h », Phys. Rev. 7, n. 3 (1916)355-388
<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.7.355>

- Solo luce con frequenza > frequenza di soglia produce una corrente
- La corrente è attivata in tempi $< 10^{-6} \text{ s}$
- L'azione "puntuale" della luce incidente
- Proporzionalità tra corrente e intensità luminosa incidente
- Il potenziale di arresto è proporzionale alla frequenza della luce incidente

Incoerente con la Fisica Classica !!!

L'idea di Einstein



Nel 1905 Albert Einstein assunse **l'ipotesi di Planck** che la radiazione incidente è costituita da pacchetti ("quanti") di energia

$$E = h\nu$$

dove ν è la frequenza e h è una costante (costante di Planck).

Nella fotoemissione, uno di questi quanti di energia viene assorbito da un elettrone del fotocatodo, ed emesso con energia

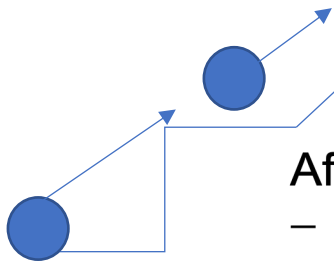
$$E = h\nu - W$$

dove l'energia minima necessaria ad estrarre l'elettrone, chiamata "lavoro di estrazione", si è indicata con W .

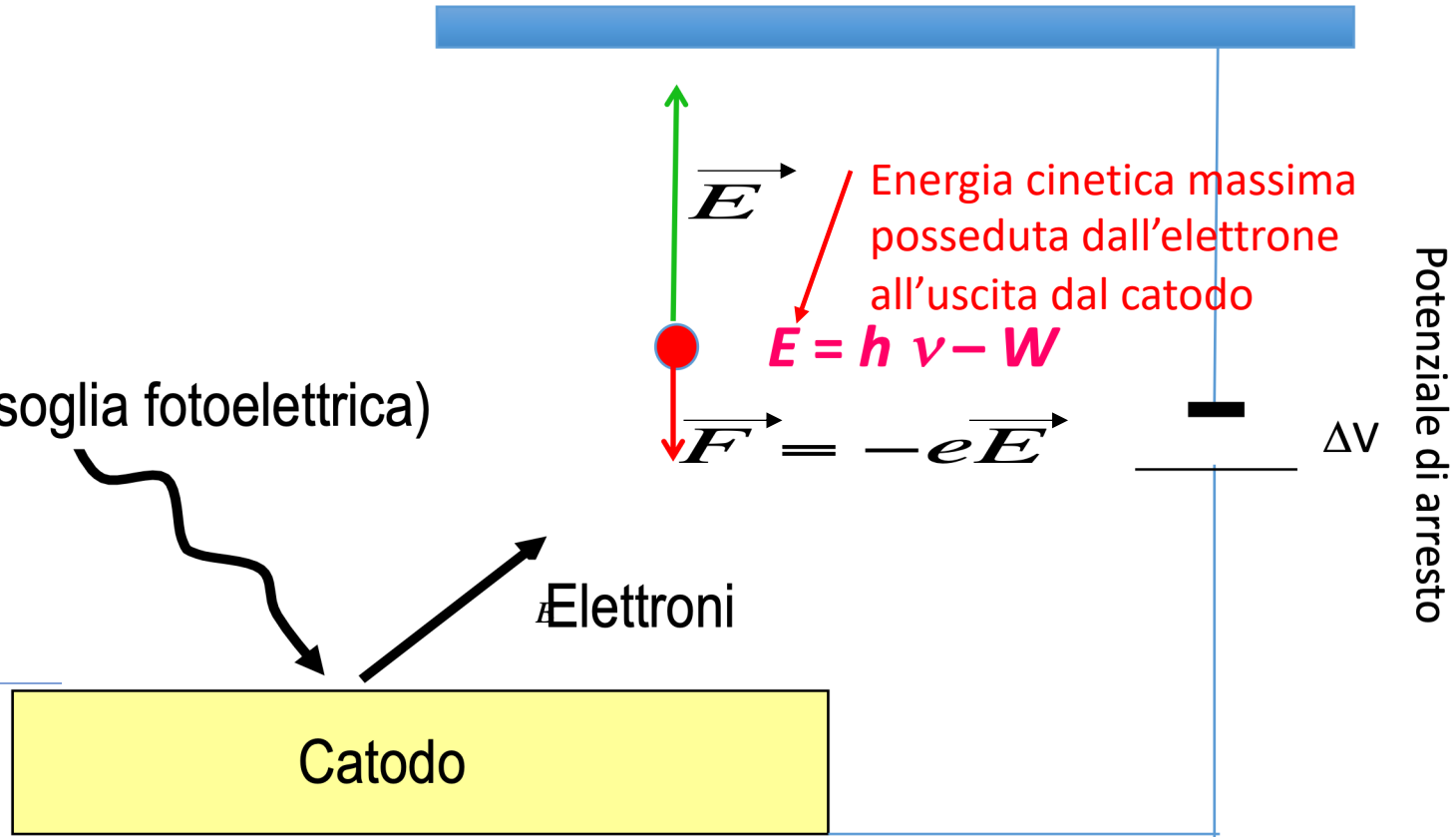
Luce

(frequenza > soglia fotoelettrica)

Analogia con una
massa pesante inizialmente posta
in una buca
e lanciata con una certa velocità
Per superare una rampa



Affinché l'elettrone emesso riesca a raggiungere l'anodo a potenziale di arresto pari a $-\Delta V$, rispetto al catodo emettitore, deve possedere una energia a $E = e \Delta V$.



Energia cinetica massima
posseduta dall'elettrone
all'uscita dal catodo
 $E = h \nu - W$

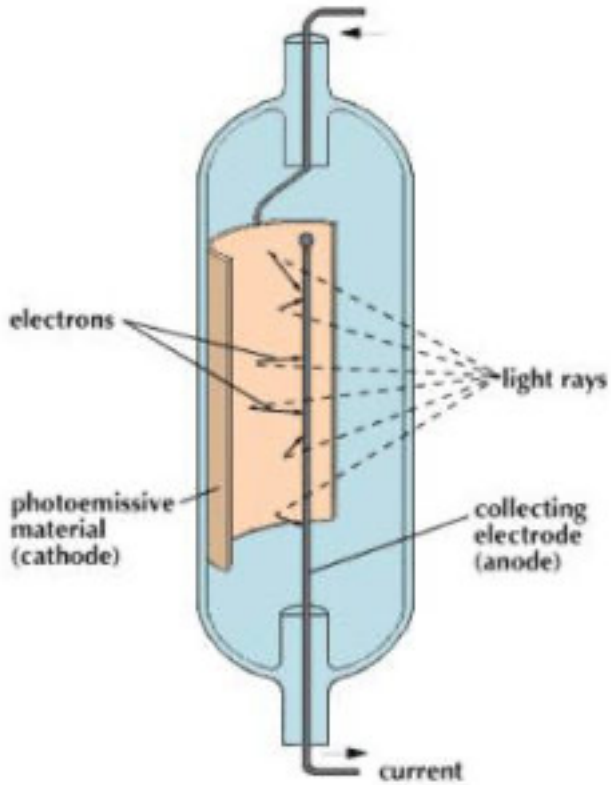
$$e \Delta V = E = h \nu - W$$



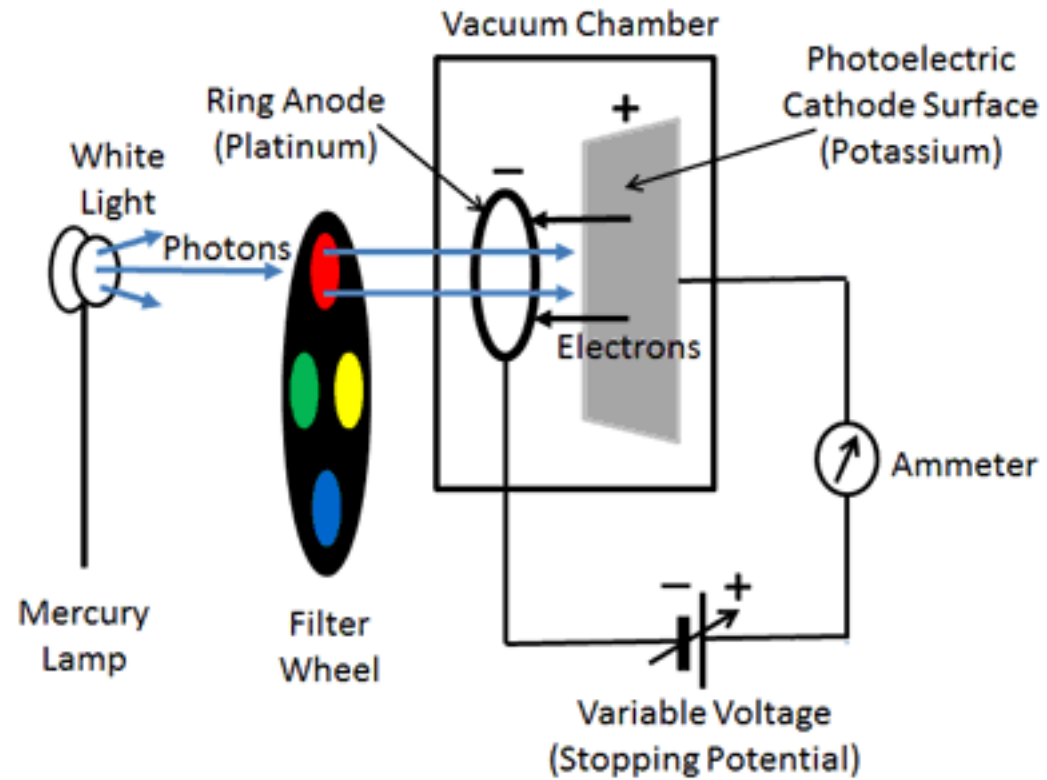
$$\Delta V = h/e \nu - W/e$$

$$h = 6.626\ 069\ 57(29) \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Fotocellula



Millikan's Determination of Planck's Constant





- 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 controelettrica (approssimativo)
- 9 Regolatore della forza controelettrica (fine)
- 10 Regolatore di intensità
- 11 Involucro protettivo

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

Procedura sperimentale

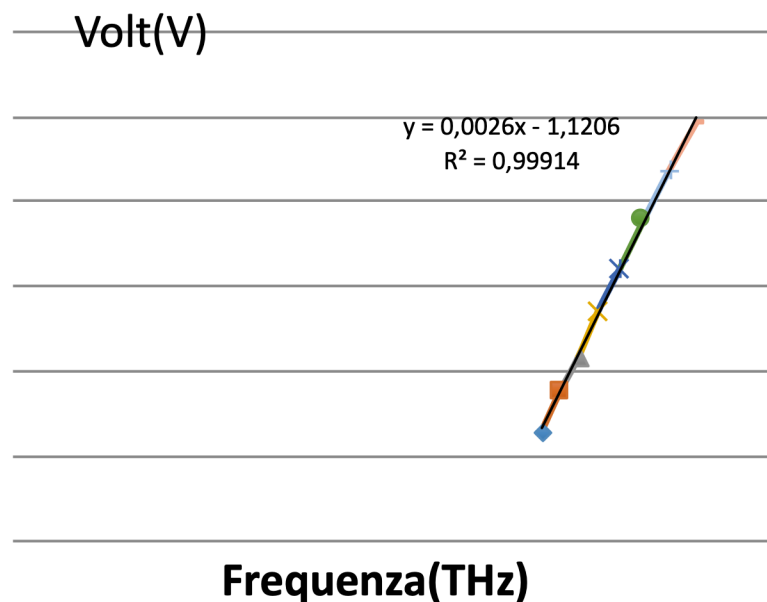
Dopo aver selezionato la lunghezza d'onda della luce che si vuole analizzare, con il voltmetro applichiamo una ddp ritardante, cioè negativa in modo da ottenere sul display dell'amperometro un'intensità di corrente nulla (entro gli errori sperimentali). Applichiamo ripetutamente lo stesso procedimento per altre lunghezze d'onda per poi tracciare un grafico avente sull'ascissa la frequenza e sull'ordinata la ddp.

Sulla base delle lunghezze d'onda λ indicate, calcolare le frequenze $f = \frac{c}{\lambda}$ con $c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ della luce.

Sulla base delle tensioni massime U_0 , calcolare le energie $e \cdot U_0$ con $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{C}$.

Registrazione i valori rilevati in un diagramma energia-frequenza.

Adeguare la retta ai valori e determinare la costante di Planck h in base all'inclinazione e il lavoro di estrazione W in base alla sezione dell'asse Y.



Dove il termine noto dell'equazione della retta rappresenta la frequenza di soglia della lastra metallica dalla quale si estraggono gli elettroni, mentre il coefficiente angolare m^* rappresenta il rapporto h/e , quindi $h = m^* e$.

$$V = (h/e) \nu - (W/e)$$

Questa è l'equazione rappresentata da una retta:

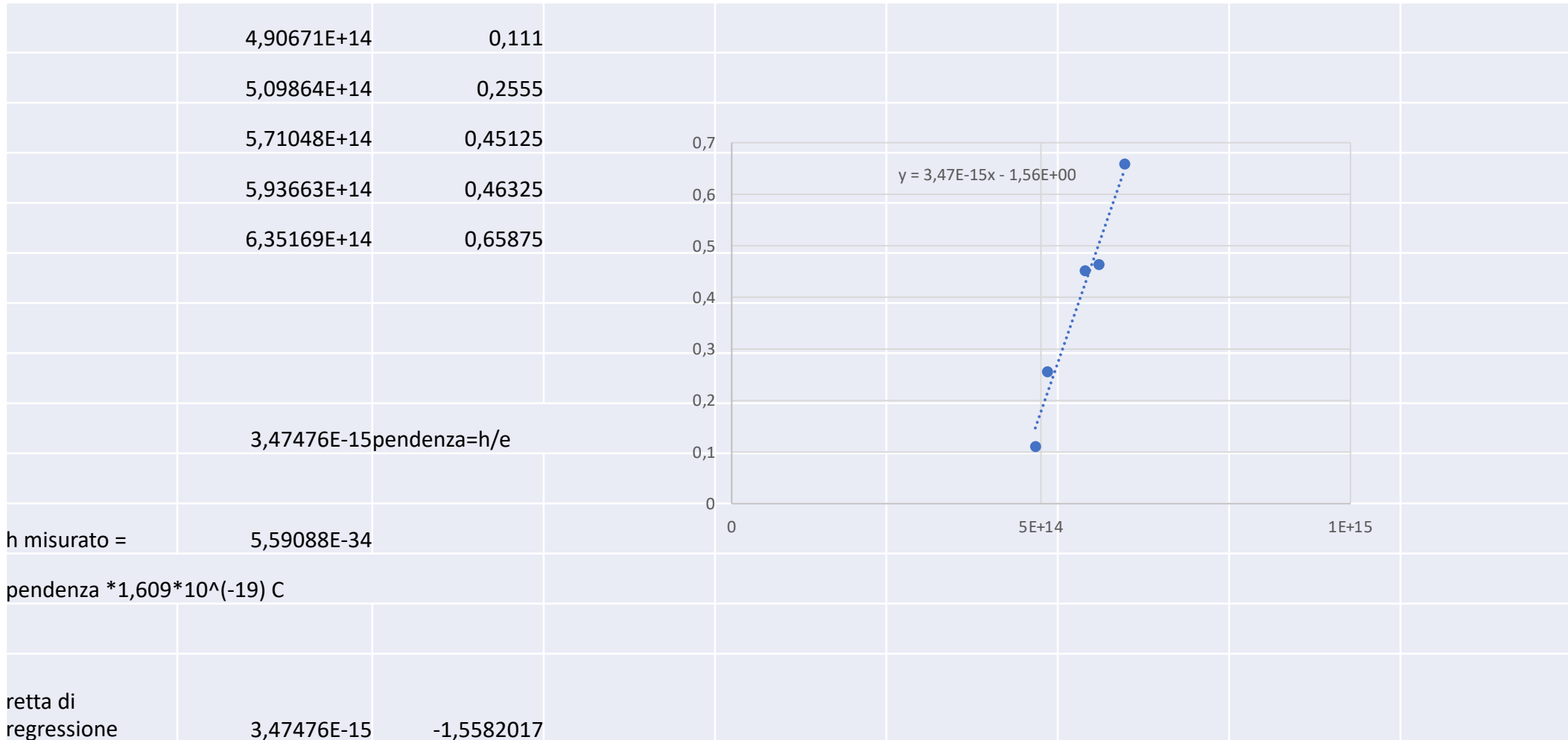
- h/e è il coefficiente angolare

- W/e è lo zero della funzione

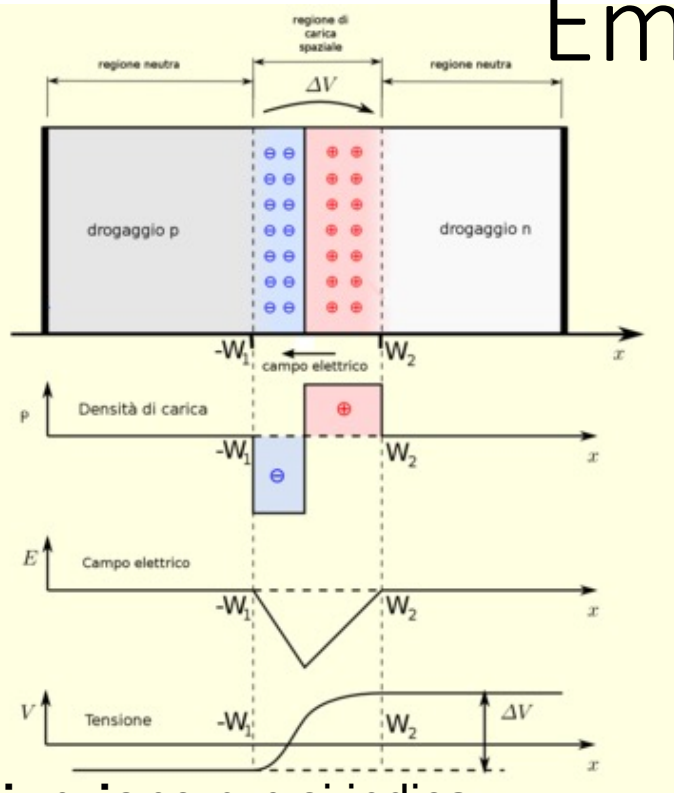
Esempio di Misure

Lunghezza d'onda (nm)	611	588	525	505	472
Frequenza (Hz)	4,90671E+14	5,0986E+14	5,71048E+14	5,93663E+14	6,35169E+14
Tensione (Volt)	0,062	0,259	0,462	0,507	0,667
	0,107	0,277	0,454	0,497	0,654
	0,195	0,257	0,439	0,388	0,662
	0,08	0,229	0,45	0,461	0,652
Media Tensione (Volt)	0,111	0,2555	0,45125	0,46325	0,65875

La la corrispondente misura di h



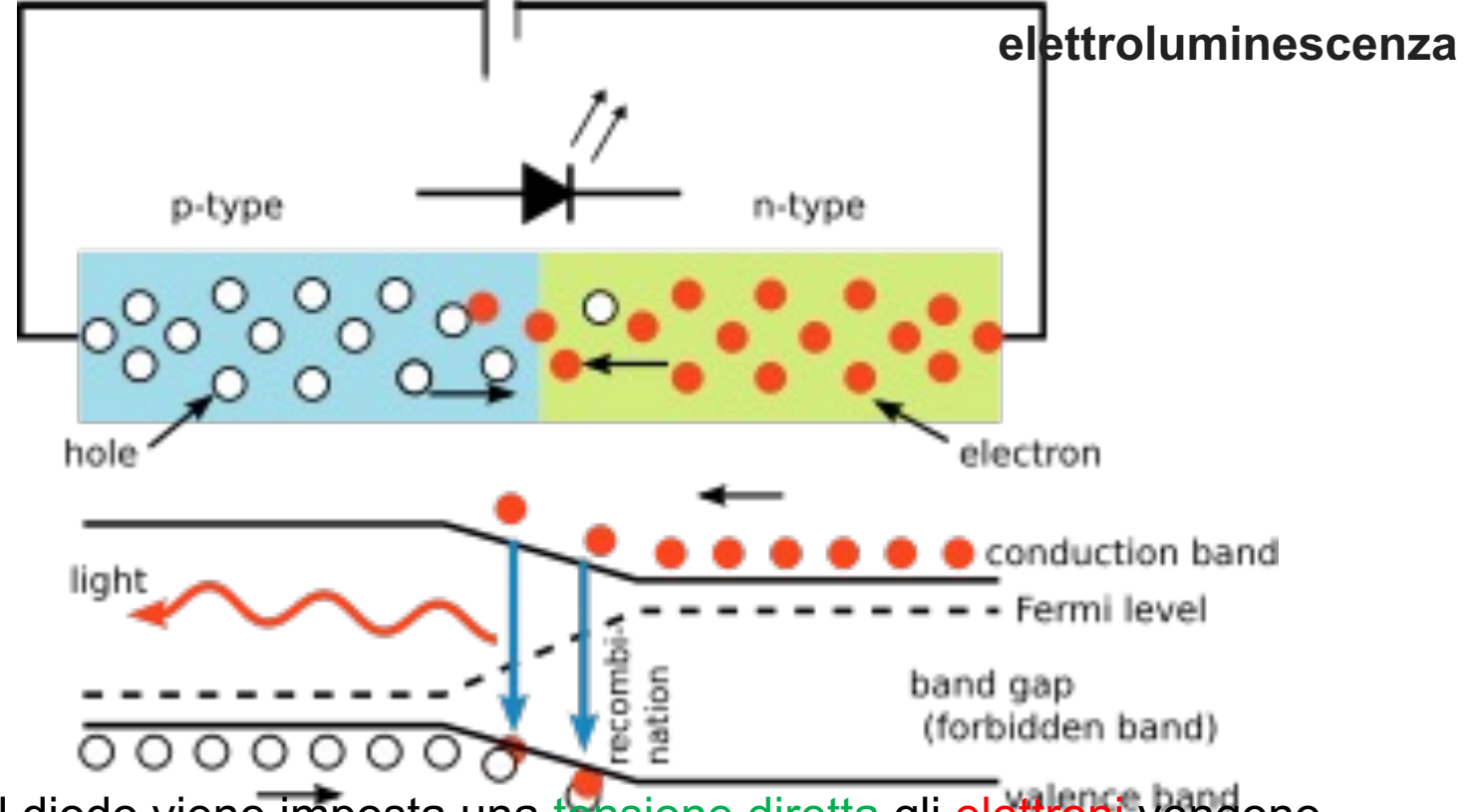
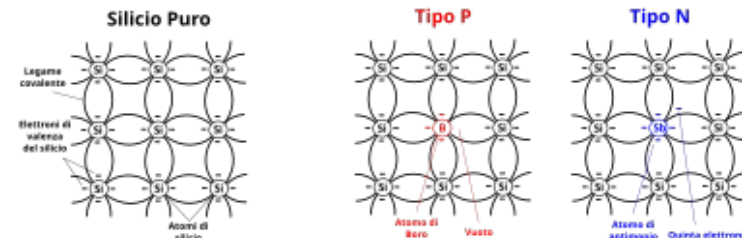
Emissione luminosa dei Diodi LED



giunzione p-n si indica l'interfaccia che separa le parti di un semiconduttore sottoposte a drogaggio di tipo differente.

Intrinseco (Non drogato)

Estrinseco (Drogato)

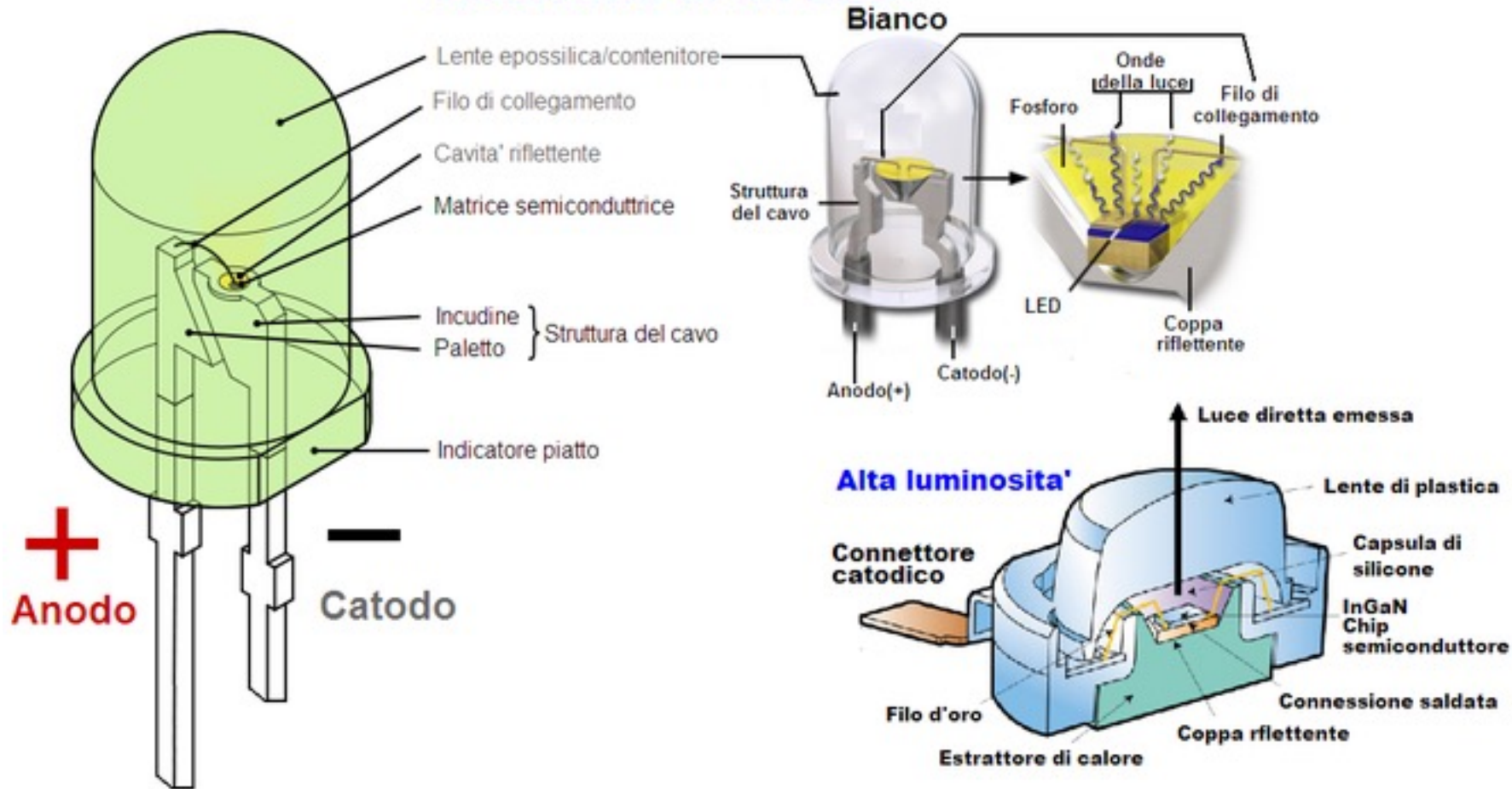


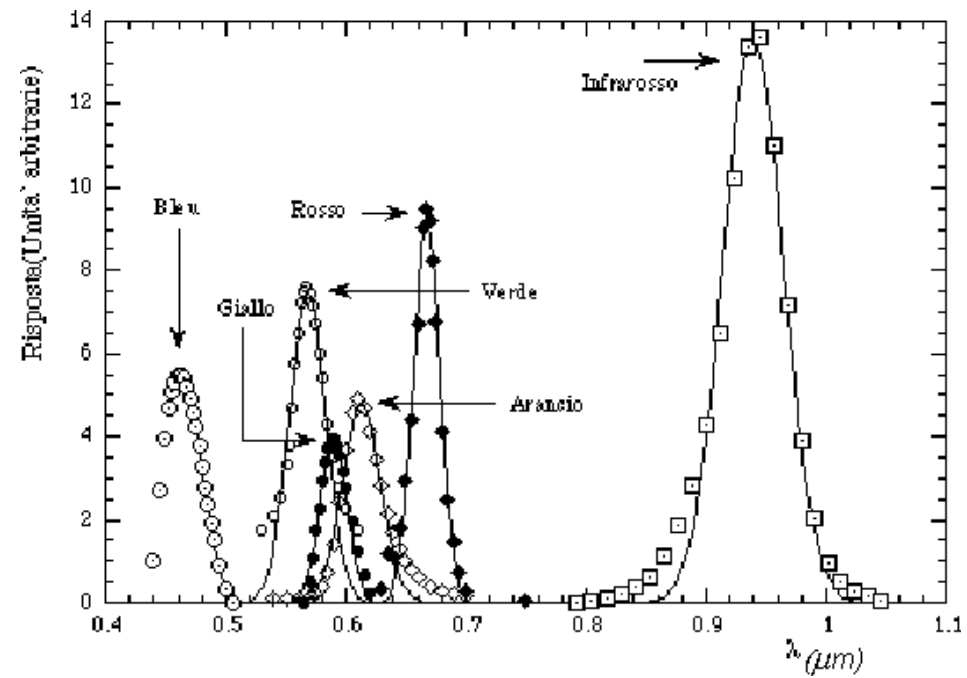
Quando al diodo viene imposta una tensione diretta gli elettroni vengono sospinti attraverso la regione *n* mentre le lacune attraverso la regione *p*, finendo entrambi nella cosiddetta "regione attiva", nei pressi della giunzione stessa, la cui naturale barriera di potenziale viene abbassata dalla tensione applicata.

Elettroni hanno energia nella banda di conduzione del semiconduttore mentre le lacune nella banda valenza.

Quando si ricombinano, l'energia in eccesso viene emessa come radiazione

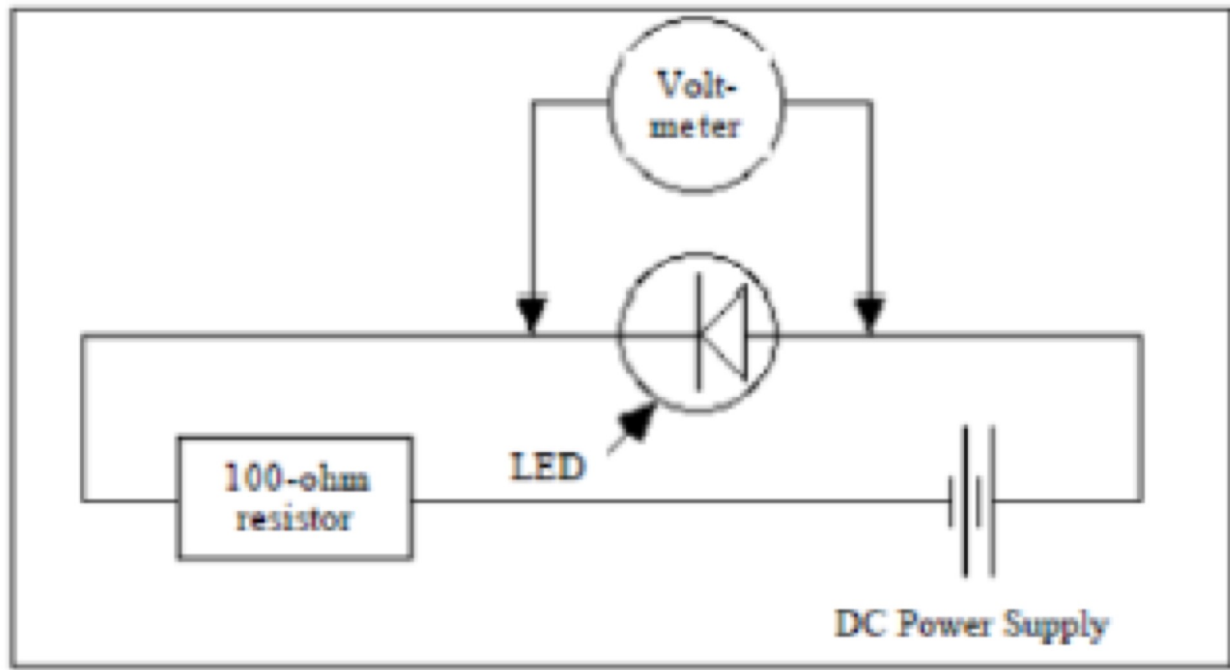
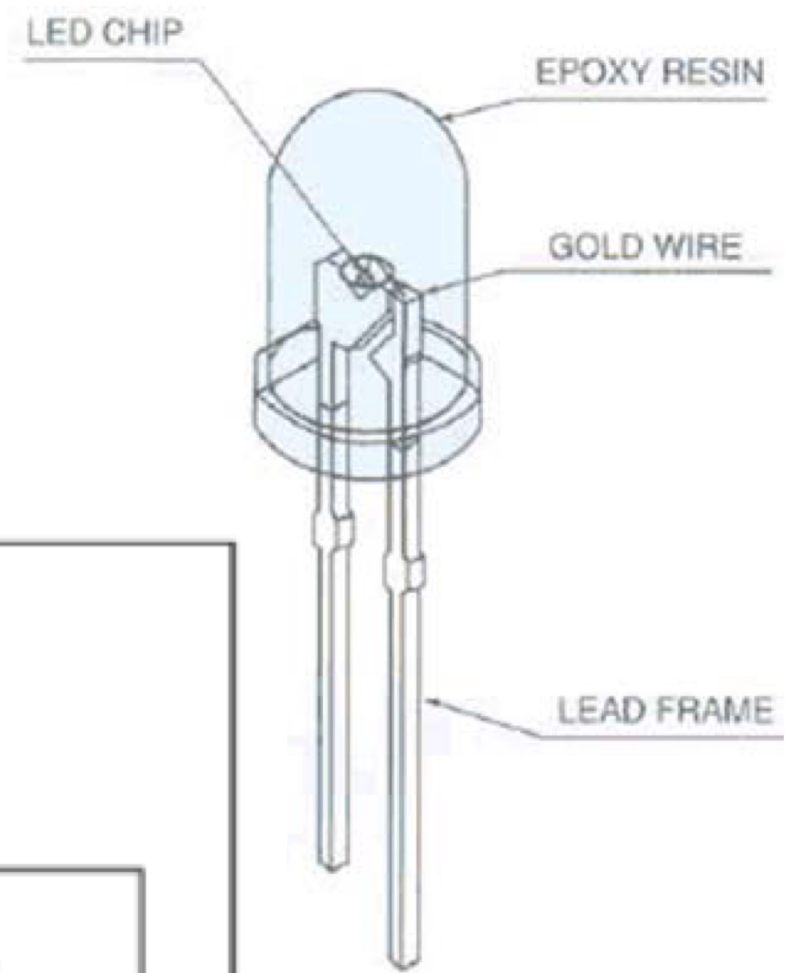
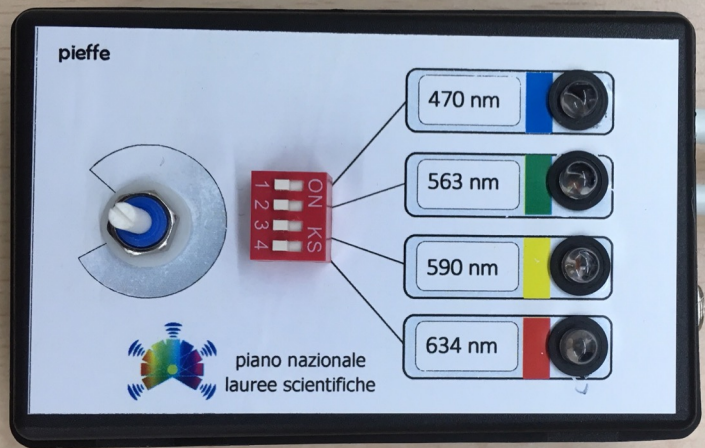
Anatomia di un LED



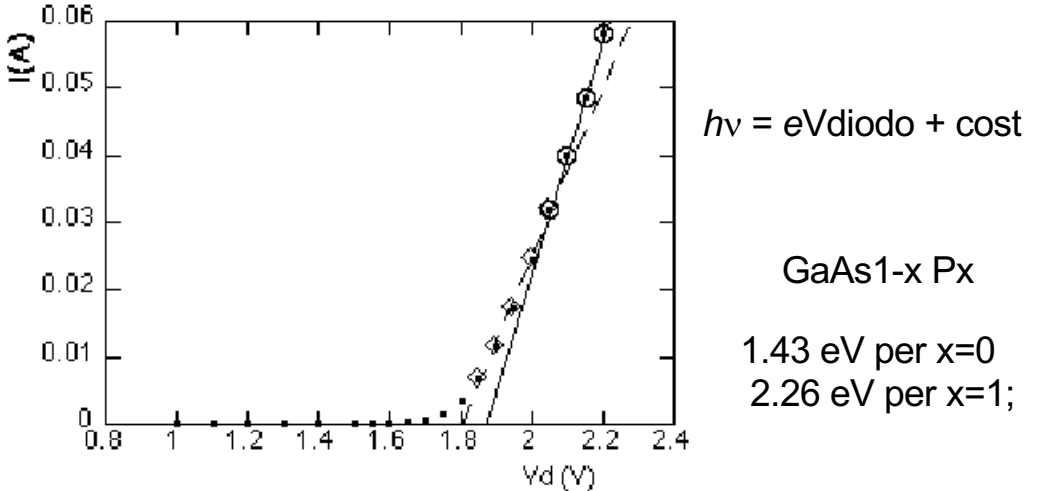


Bande di emissione tipiche Con LED commerciali

Tipo LED	λ_{\max} (nm)	$\Delta\lambda/2$ (nm)	f (x10 ¹⁴ Hz)	$\Delta f/2$ (x10 ¹⁴ Hz)
Infrarosso	938.9	23.8	3.195	0.081
Rosso	667.6	11.8	4.494	0.080
Arancio	612.4	18.4	4.899	0.147
Giallo	590.0	14.7	5.085	0.127
Verde	568.1	16.1	5.281	0.150
Blu	460.2	29.4	6.519	0.416



Misura della costante di Planck con il metodo del «ginocchio»



$eV_d = h\nu + Q$

$\lambda(\mu\text{m}) \approx hc/E_g \approx 1.24/E_g(\text{eV})$

» 850 a » 550 nm

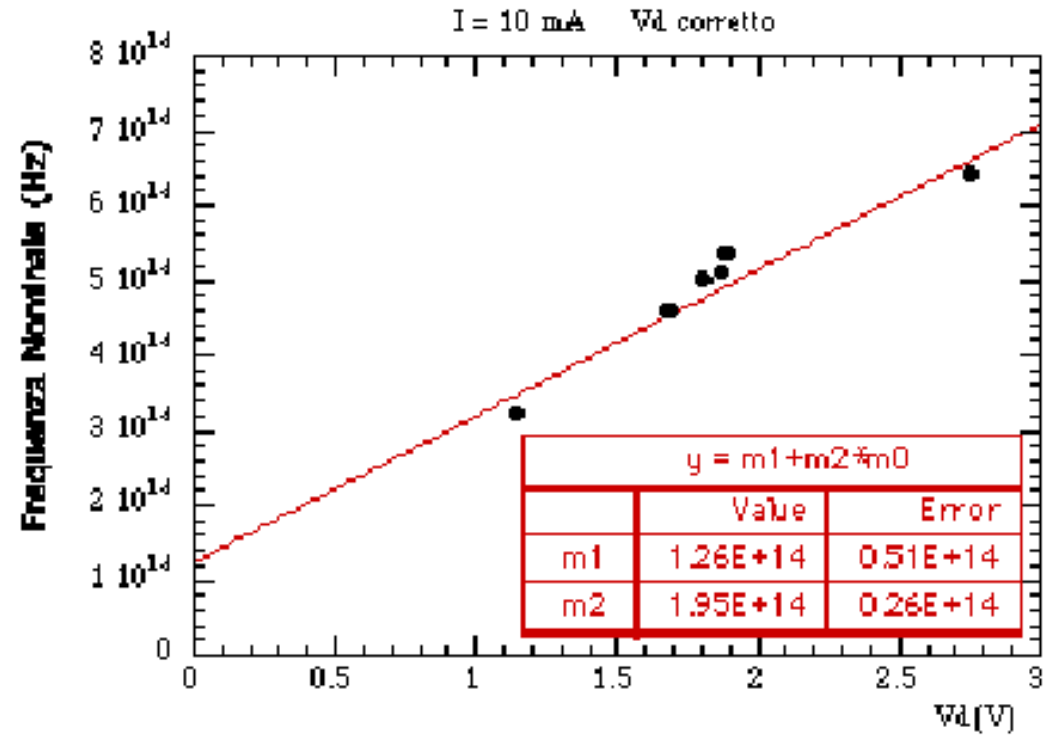
V_d : d.d.p. effettivamente applicata alla giunzione PN

Q: calore, altre transizioni non luminose

$V_d = V_{\text{diodo}} - R_s I_d$

Si possono usare queste formule per ottenere h da misure di V_d

$\nu = (e/h) V_d + \text{cost}$



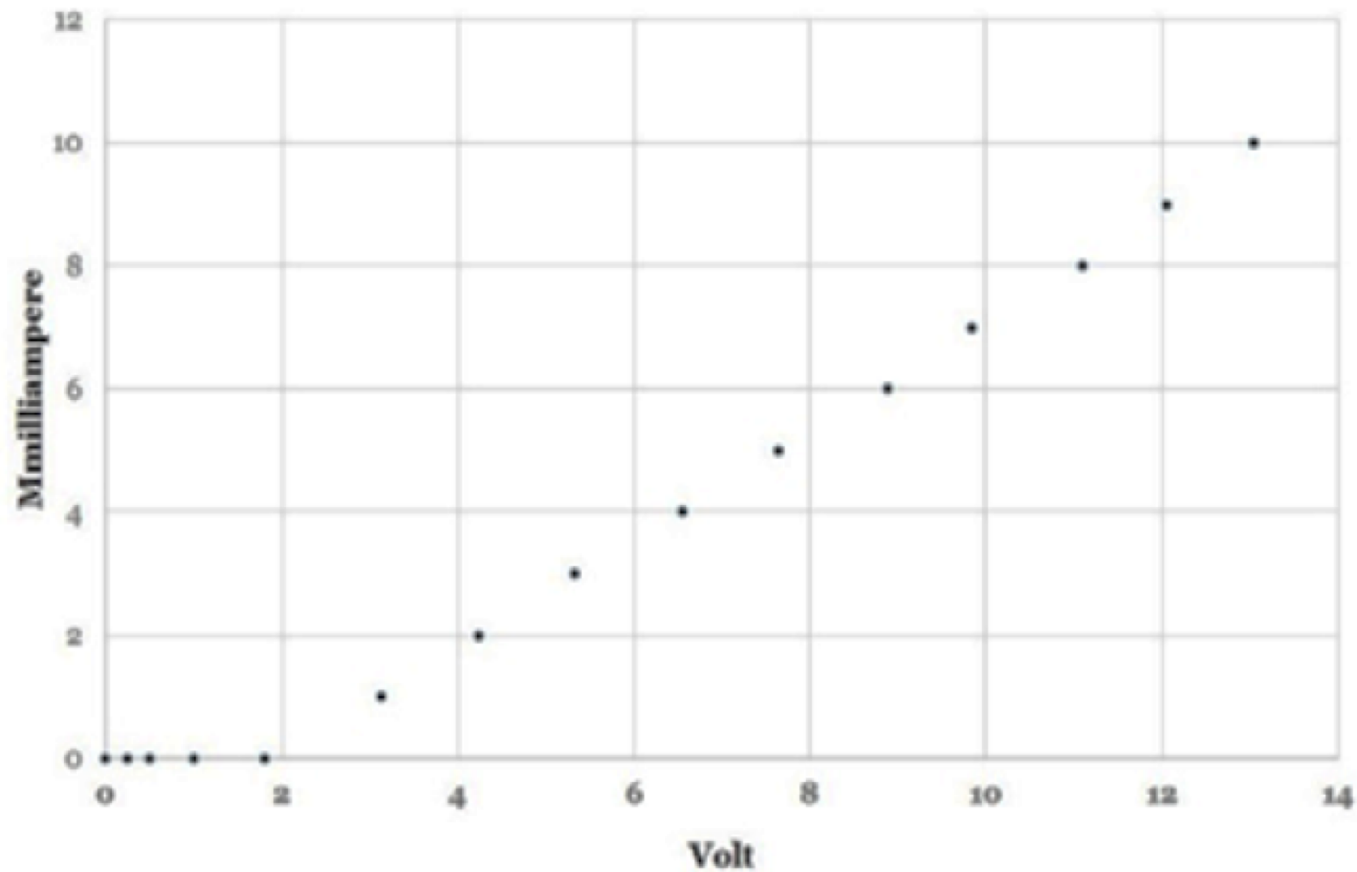
$$e/h = 2.418 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}\text{V}^{-1}.$$

$$h/e = (3.99 \pm 0.22) \times 10^{-15} \text{ V s}$$

$$e = 1.6021 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

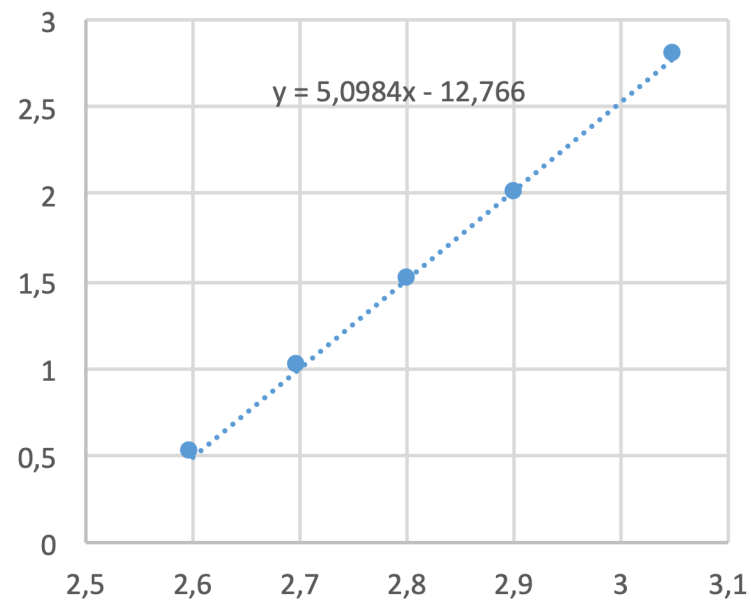
$$h = (6.39 \pm 0.35) \times 10^{-34} \text{ J s.}$$

Characteristic curve of an led



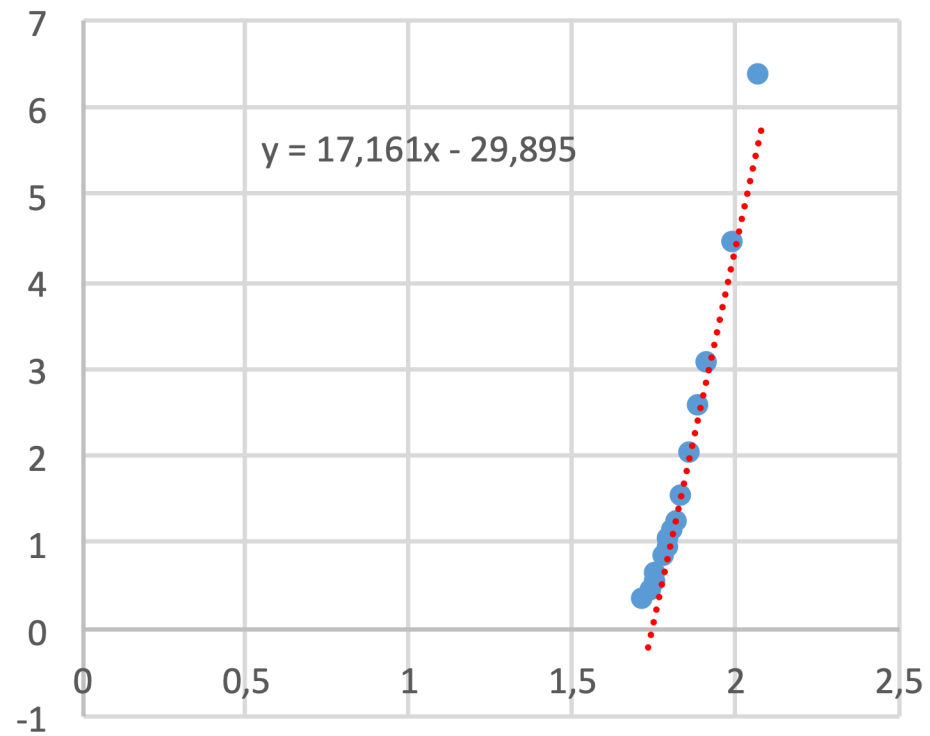
blu	V (V)	A (mA)
	0	0
	2,5	0,15
	2,6	0,5
	2,7	1
	2,8	1,5
	2,9	2
	3,05	2,8

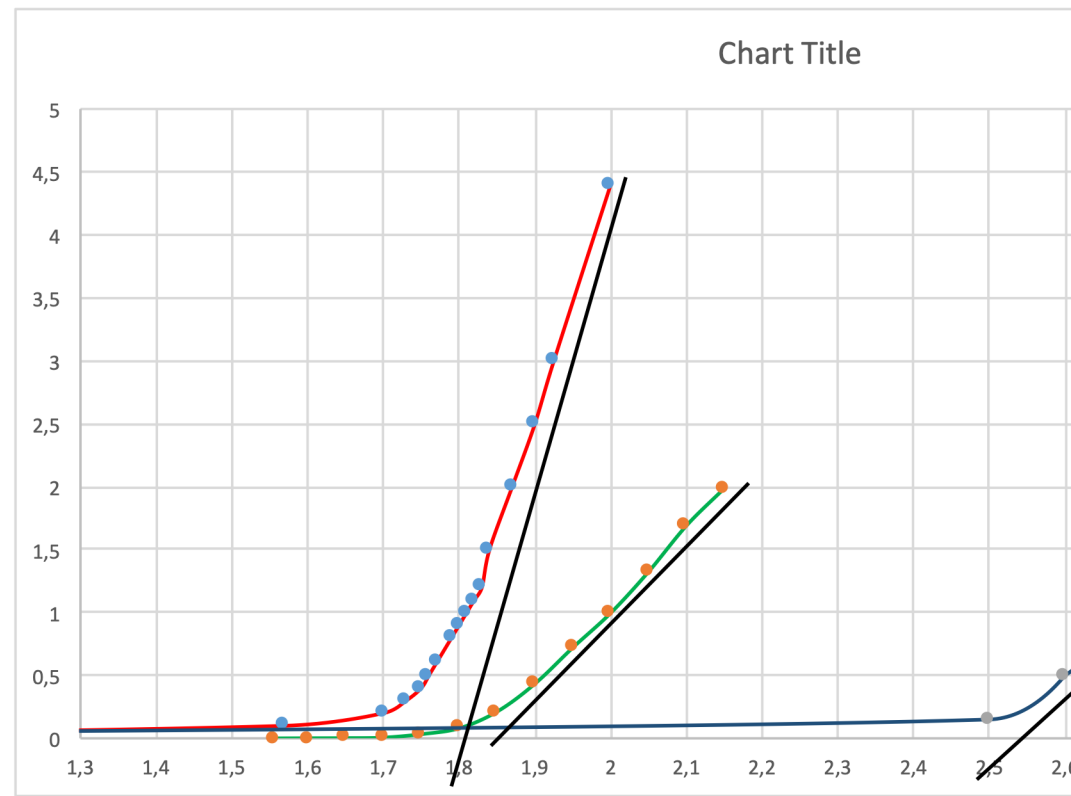
calcolo soglia sul blu



rosso	V (V)	A (mA)
	0,64	0
	1,57	0,1
	1,7	0,2
	1,73	0,3
	1,75	0,4
	1,76	0,5
	1,77	0,6
	1,79	0,8
	1,8	0,9
	1,81	1
	1,82	1,1
	1,83	1,2
	1,84	1,5
	1,87	2
	1,9	2,5
	1,925	3
	2	4,4
	2,08	6,3
	3,03	160

calcolo soglia sul rosso





Relazione lineare tra
V_soglia e ν
Vedi p. 11

V (V) soglia	Lambda nm	1/lambda
1,78	625	1600000
1,8	568	1760563,4
2,5	455	2197802,2

$e = 1,602E-19$

$m = 1,2879E-06$

$h = 6,87739E-34$

