



Istituto Nazionale di Fisica Nucleare



Dipartimento di Matematica e Fisica
“Ennio De Giorgi”

LABORATORIO DI FISICA MODERNA

PLS 2023-'24

La Misura della
Costante di Planck h

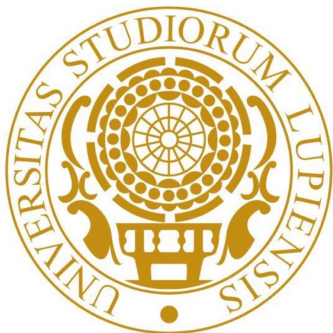
M.L. De Giorgi, L. Martina

24/03/2023

Dipartimento di Matematica e Fisica «Ennio De Giorgi»

Università del Salento

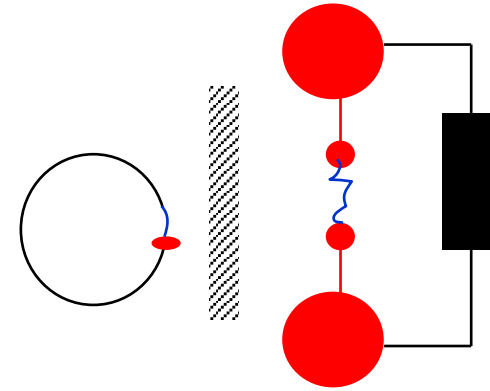
Sezione INFN - Lecce



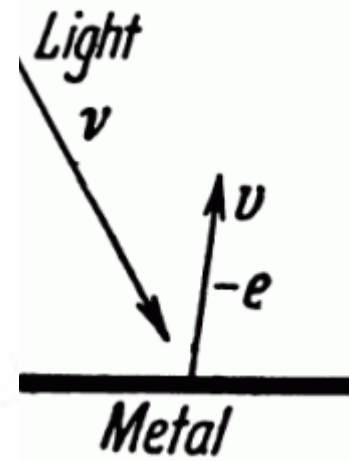
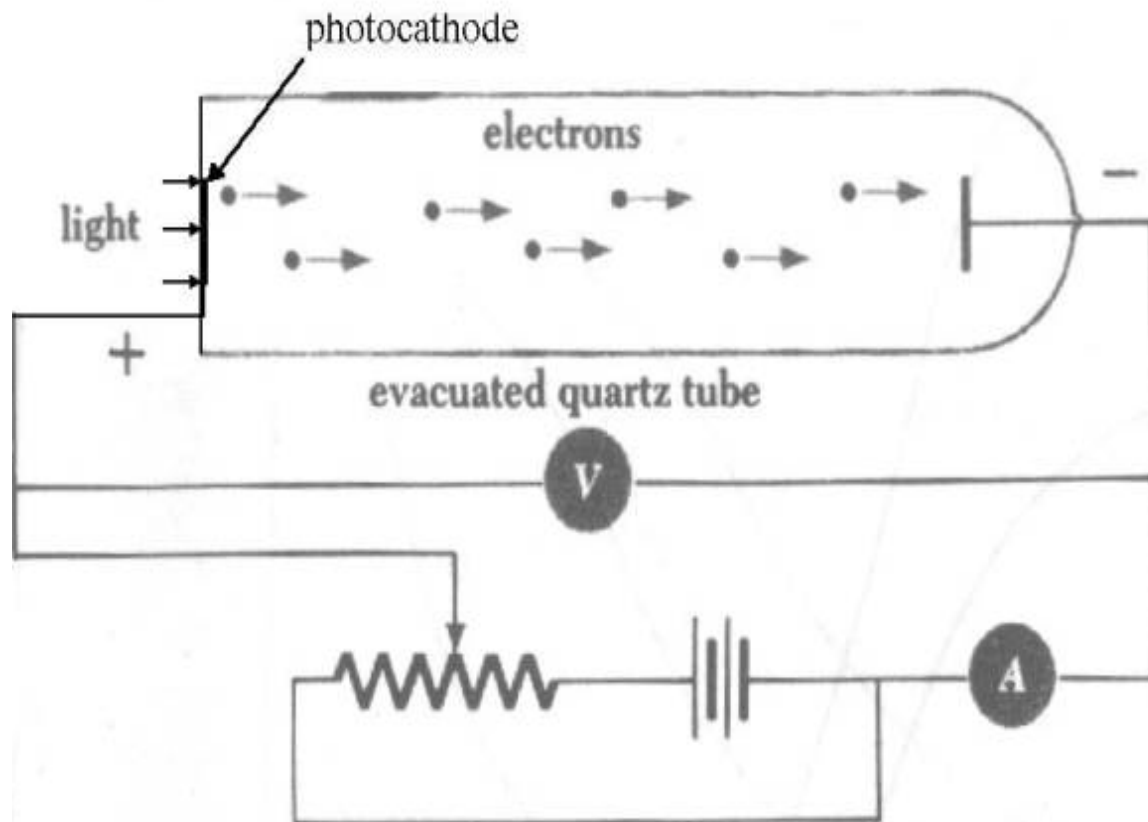


L'effetto Fotoelettrico

Quarzo	SI
Gesso	SI
Vetro	Ridotta
Legno	Nulla

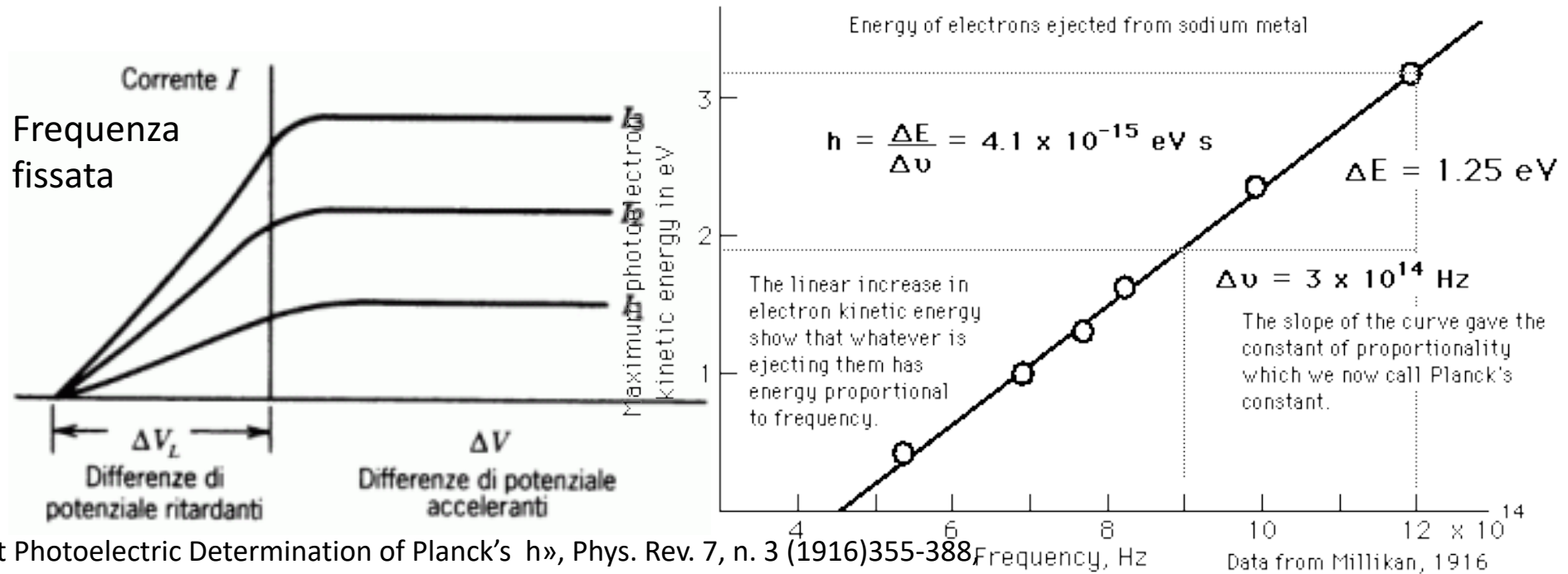


Hertz, 1887



Lenard
1899 - 1902

Relazioni caratteristiche dell'effetto fotoelettrico



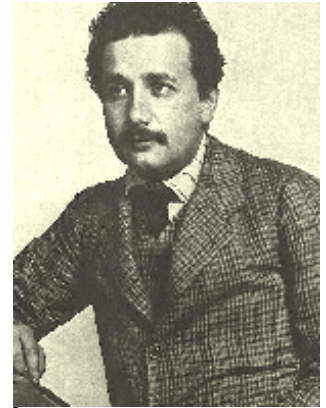
Millikan, R. A., «A Direct Photoelectric Determination of Planck's h », Phys. Rev. 7, n. 3 (1916)355-388

<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

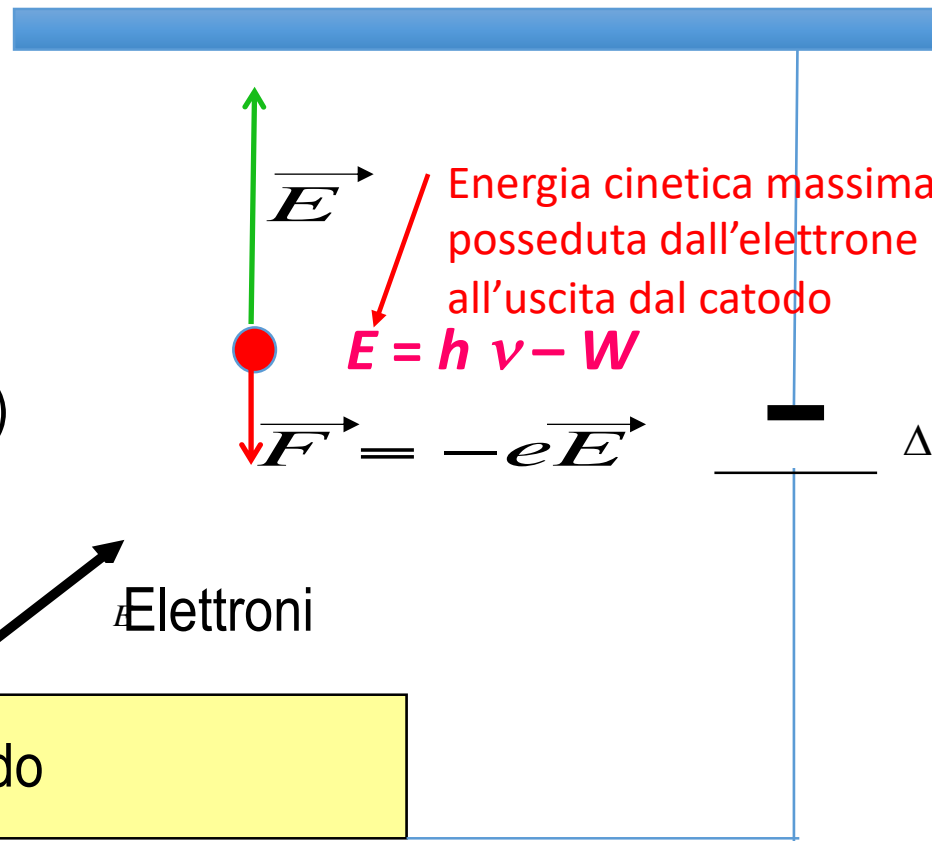
Affinché l'elettrone emesso riesca a raggiungere l'anodo a potenziale di arresto pari a $-\Delta V$, rispetto al catodo emettitore, deve possedere una energia a $E = e \Delta V$.

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



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

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



Energia cinetica massima
posseduta dall'elettrone
all'uscita dal catodo

$$E = h \nu - W$$

$$\vec{F} = -e \vec{E}$$

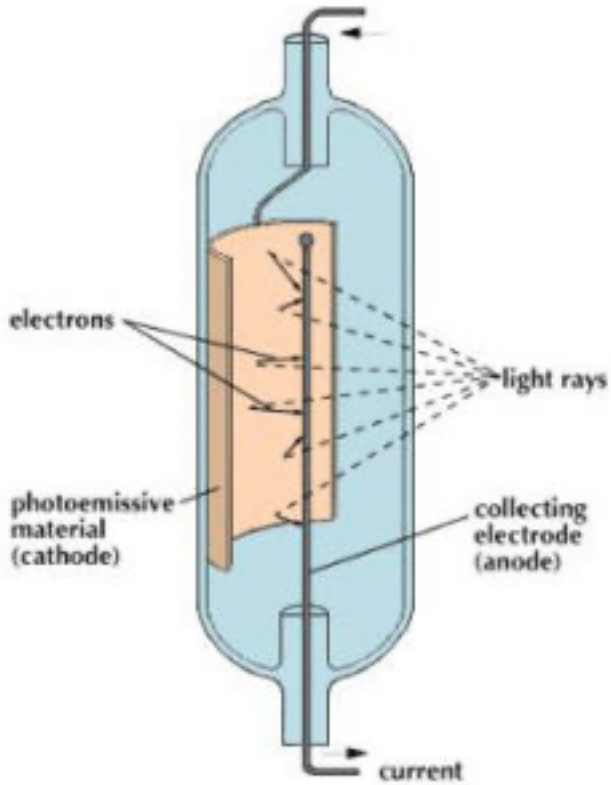
Elettroni

Catodo

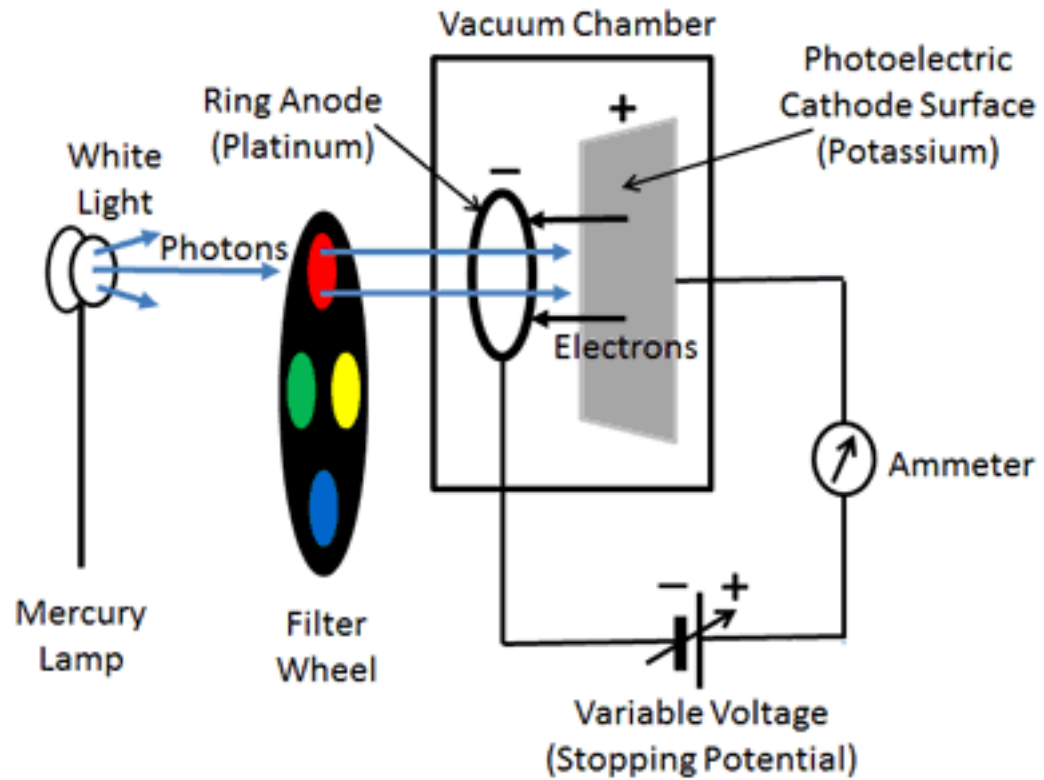
Potenziale di arresto

ΔV

Fotocellula



Millikan's Determination of Planck's Constant



Metodo della emissione da LED



DIODO

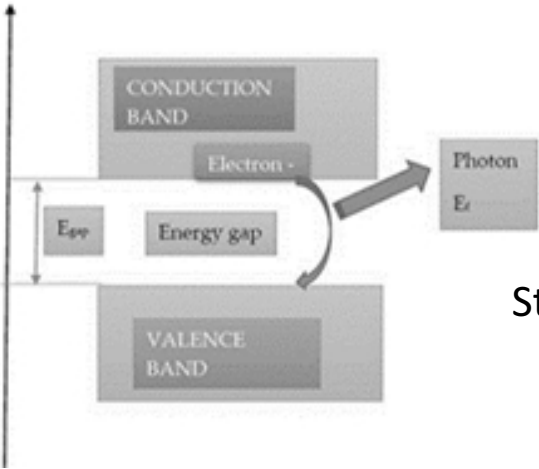
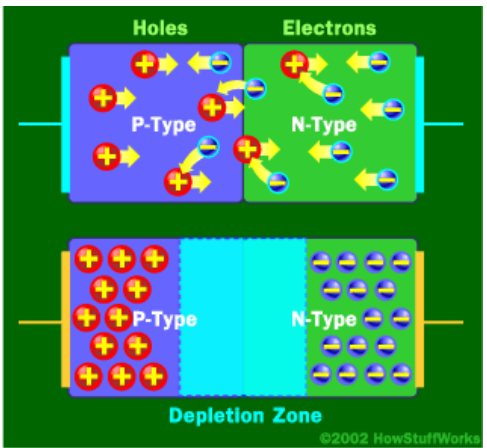


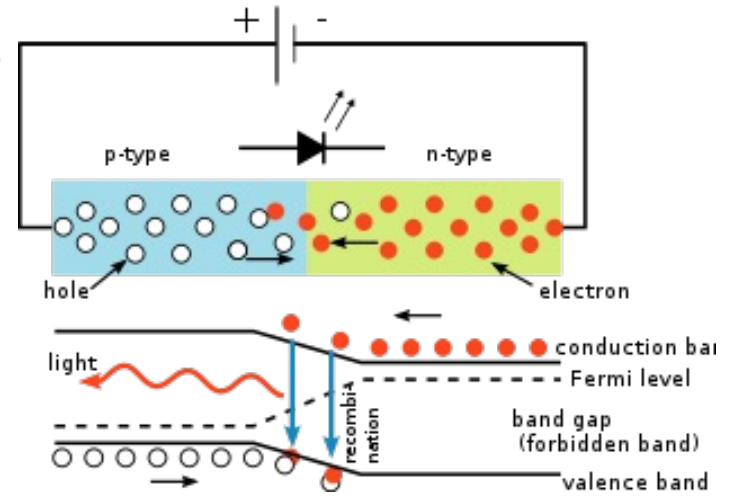
Figure 1. The current -voltage curve for a typical LED

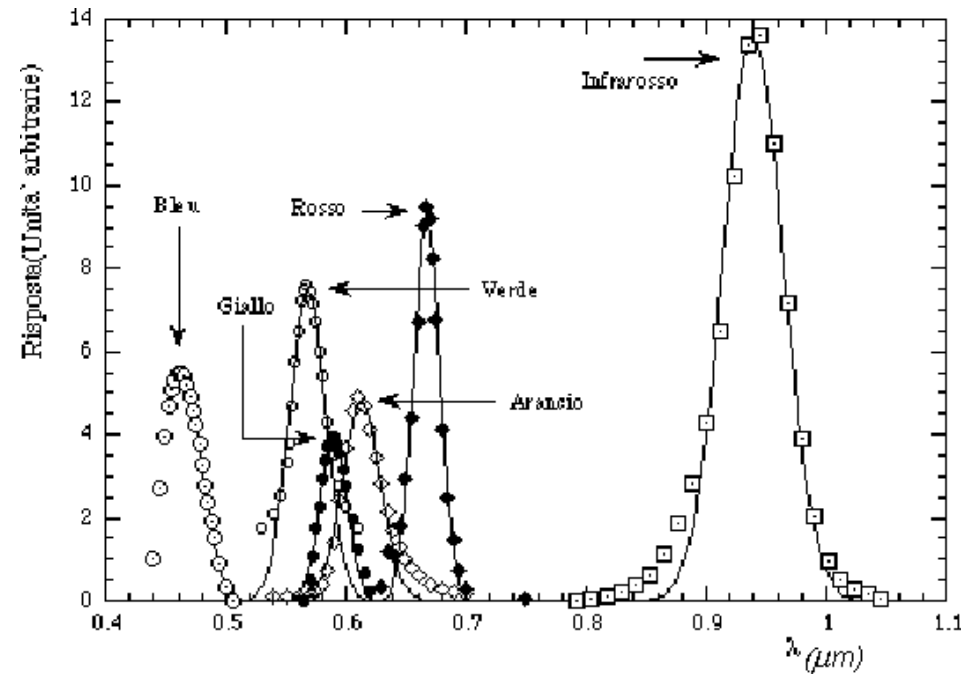


p. diretta

p. inversa

Struttura a Bande di un semi conduttore





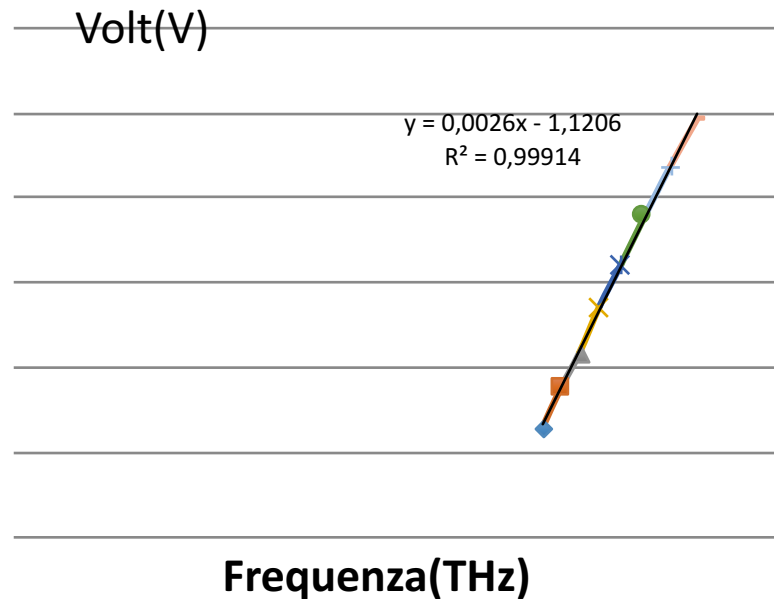
Bande di emissione tipiche Con LED commerciali

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

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.



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 rappresenta di una retta:

- h/e è il coefficiente angolare

- W/e è lo zero della funzione

Esempio di Misura

$C=$	299.792.458	m/s						
	λ (A)	λ (m)	err relat su λ	frequenza f	$f \cdot 10^{14}$	err. Ass su f	ΔV	err ass su ΔV
	6200	6,20E-07	1,61E-03	4,835E+14	4,8354	0,01	0,24	0,02
	6000	6,00E-07	1,67E-03	4,997E+14	4,9965	0,01	0,27	0,02
	5800	5,80E-07	1,72E-03	5,169E+14	5,1688	0,01	0,28	0,02
	5600	5,60E-07	1,79E-03	5,353E+14	5,3534	0,01	0,33	0,02
	5400	5,40E-07	1,85E-03	5,552E+14	5,5517	0,01	0,38	0,02
	5200	5,20E-07	1,92E-03	5,765E+14	5,7652	0,01	0,43	0,02
	5000	5,00E-07	2,00E-03	5,996E+14	5,9958	0,01	0,49	0,02
	4800	4,80E-07	2,08E-03	6,246E+14	6,2457	0,01	0,60	0,02
	4600	4,60E-07	2,17E-03	6,517E+14	6,5172	0,01	0,67	0,02
	4400	4,40E-07	2,27E-03	6,813E+14	6,8135	0,02	0,69	0,02
							media	

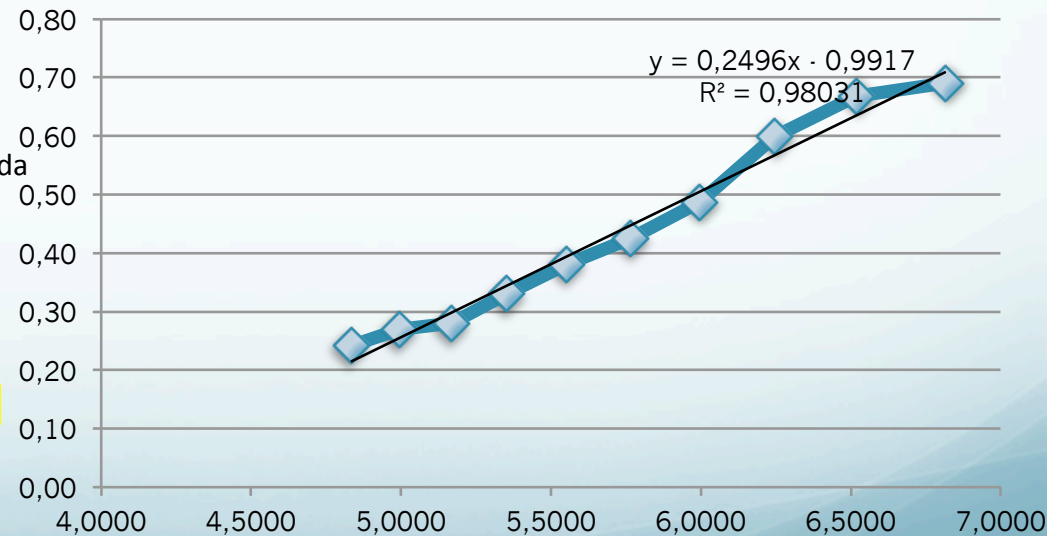
Err ass. su λ =10 A

Err ass. su λ 1,00E-09 metri

errore relativo sulla frequenza uguale all'errore relativo su lamda

ΔV =0,02 volt

$h/e= 2,496E-15$
 $e= 1,602E-19$
 $h= 3,99859E-34 = 4,00 E-34$



Rappresentazione in energia

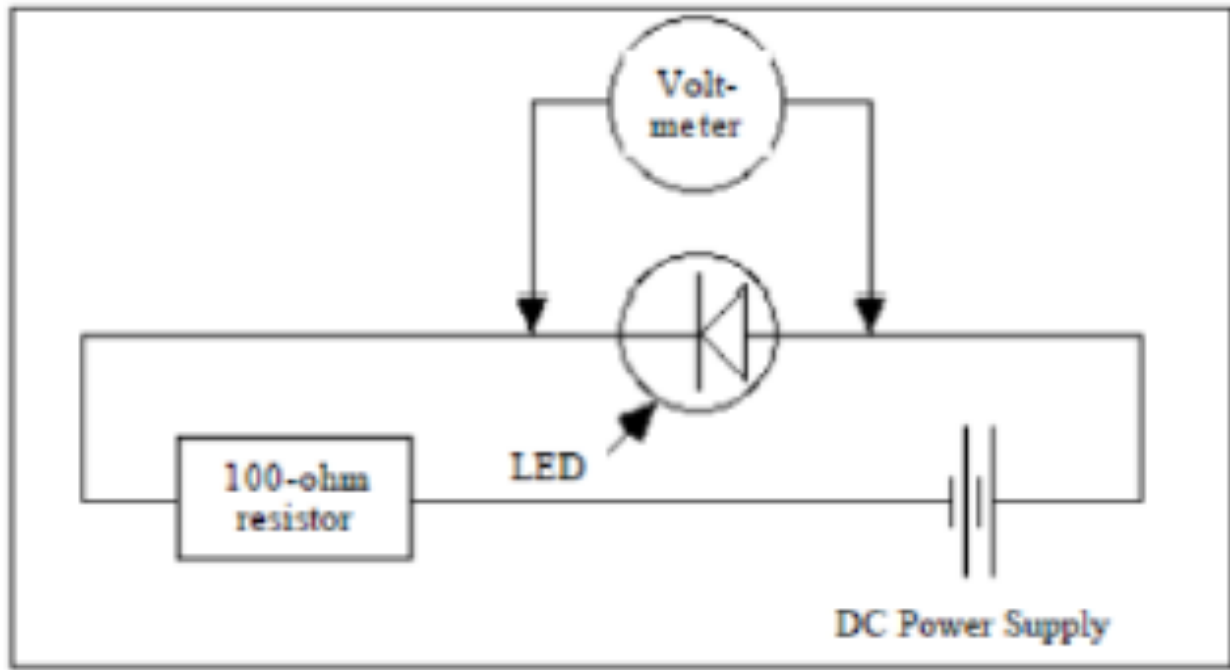
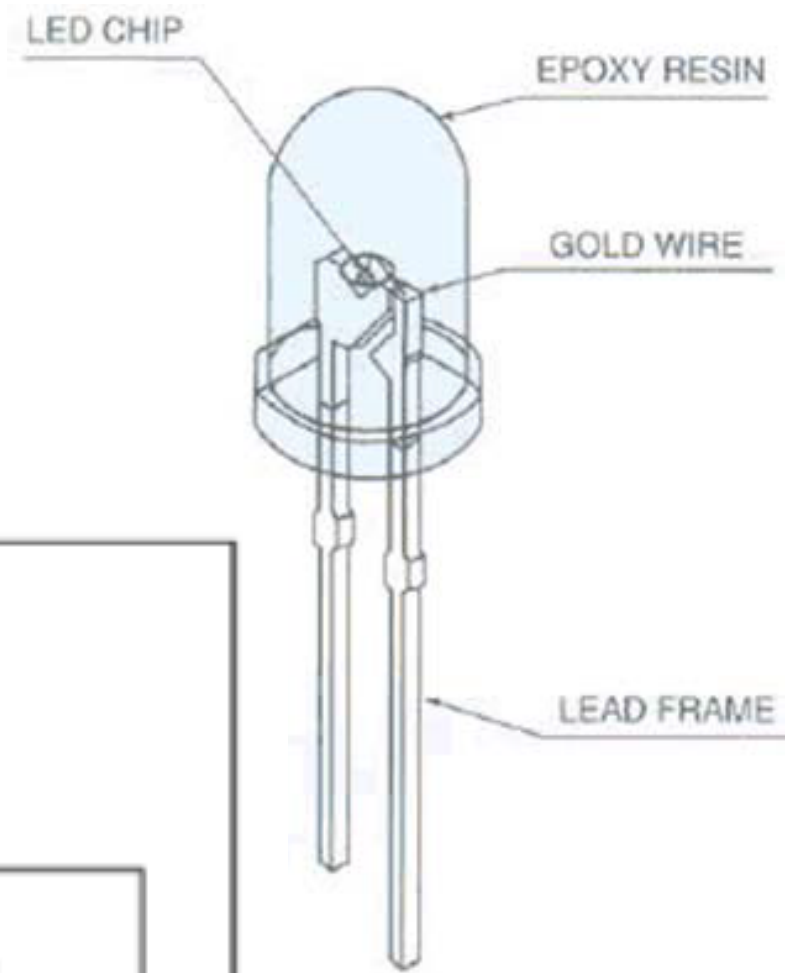
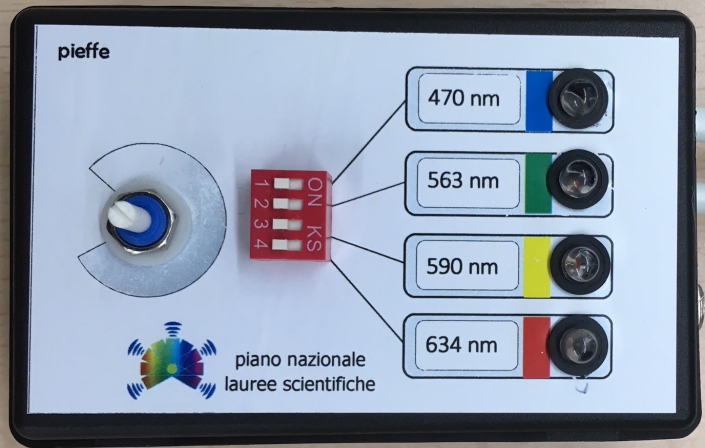


lambda nm	10 ⁻³ V	f	E	E+F
611	67	4,90655E+14	1,07347E-20	3,31175E-19
588	103	5,09847E+14	1,65027E-20	3,36943E-19
525	451	5,71029E+14	7,22592E-20	3,92699E-19
505	509	5,93644E+14	8,1552E-20	4,01992E-19
472	661	6,35148E+14	1,05905E-19	4,26345E-19

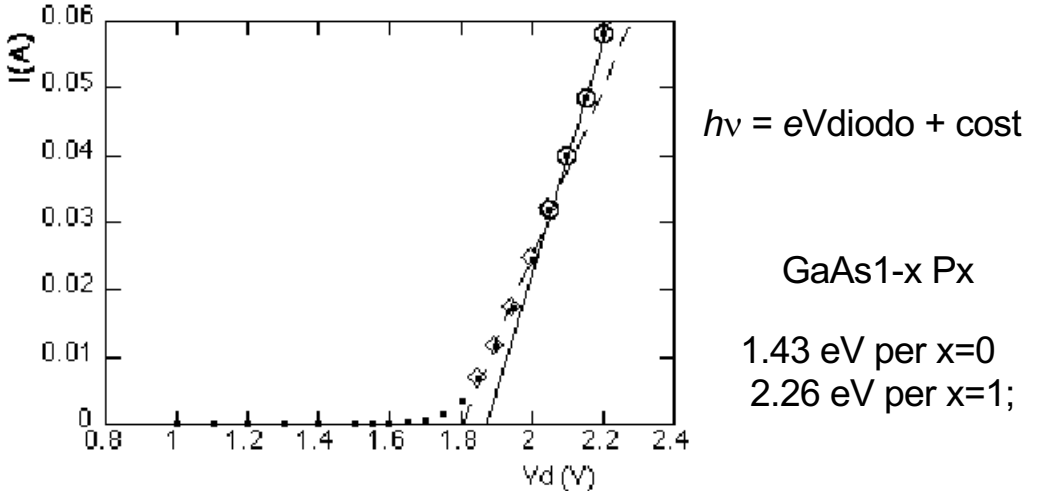
$$f = 1/\text{lambda Hz}$$

$$E = e V = 1,6022 \cdot 10^{(-19)} \cdot 10^{(-3)} \text{ V J}$$

$$F = 2 \cdot 1,6022 \cdot 10^{(-19)} \text{ J}$$



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

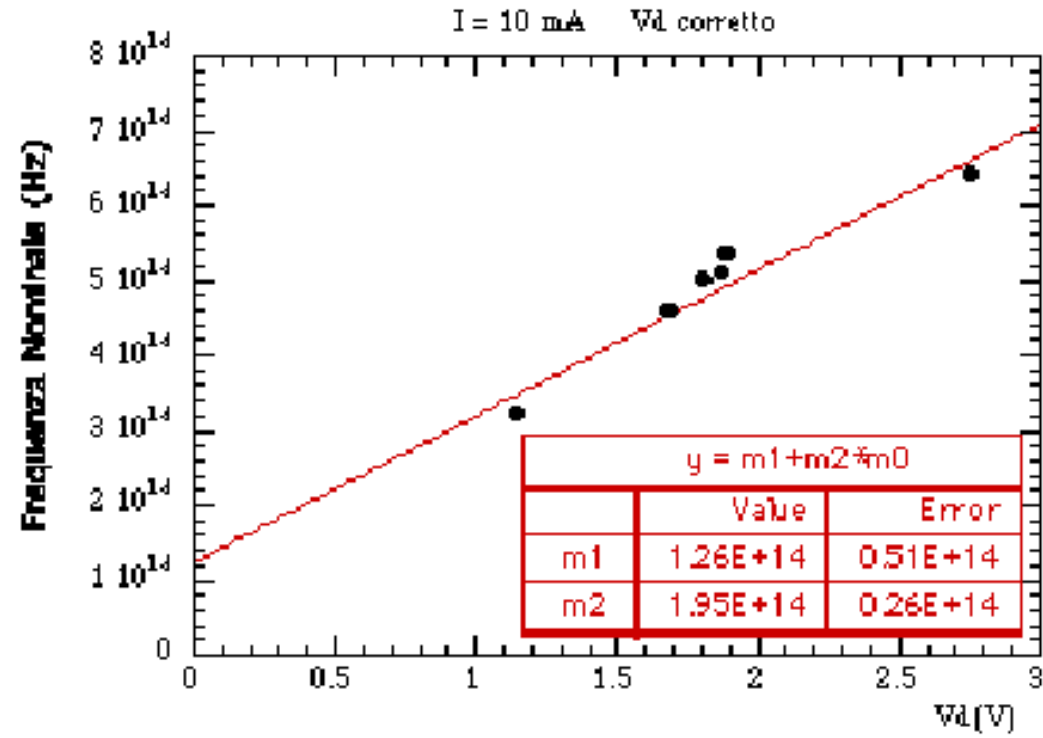
V_d : d.d.p. effettivamente applicata alla giunzione PN

Q: calore, altre transizioni non luminose

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

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

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



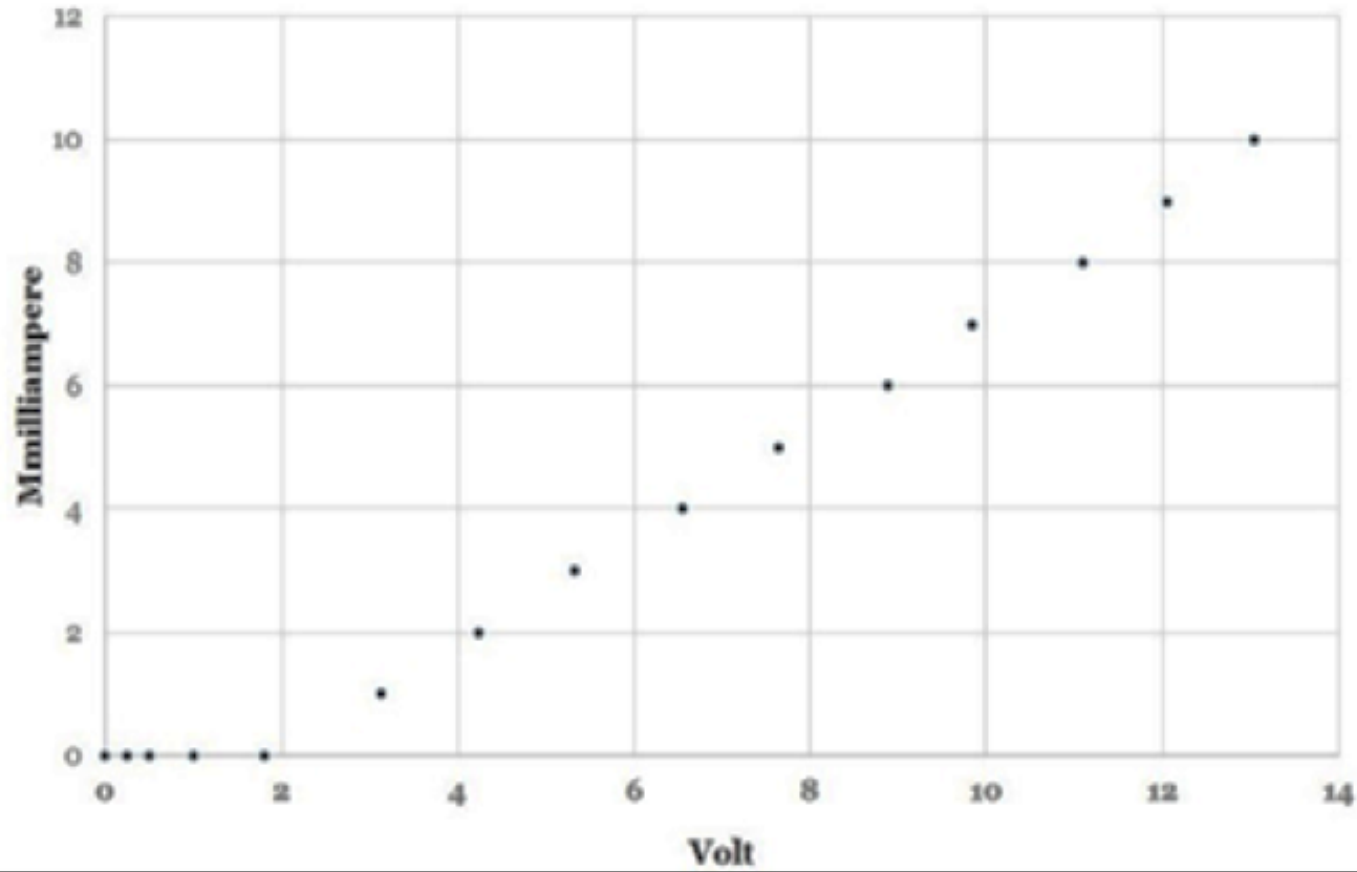
$$e/h = 2.418 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}\text{V}^{-1}.$$

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

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

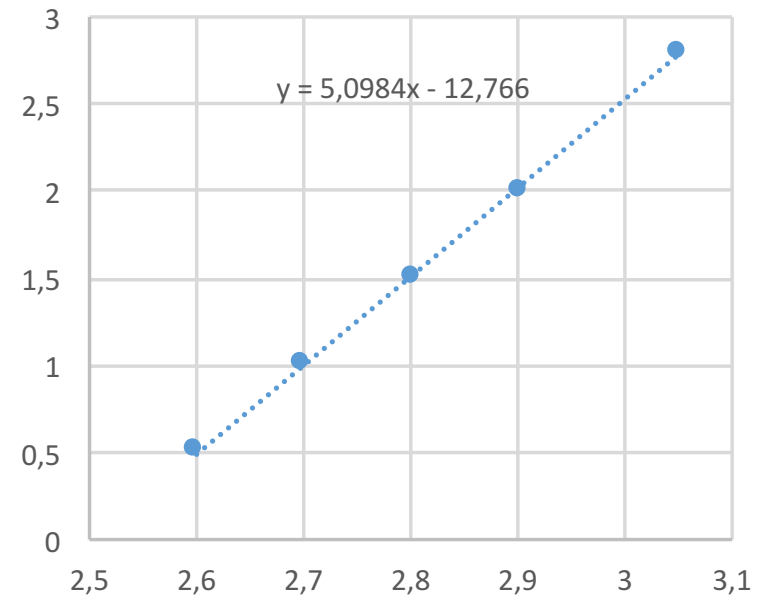
$$h = (6.39 \pm 0.35) \times 10^{-34} \text{ J s.}$$

Characteristic curve of an led

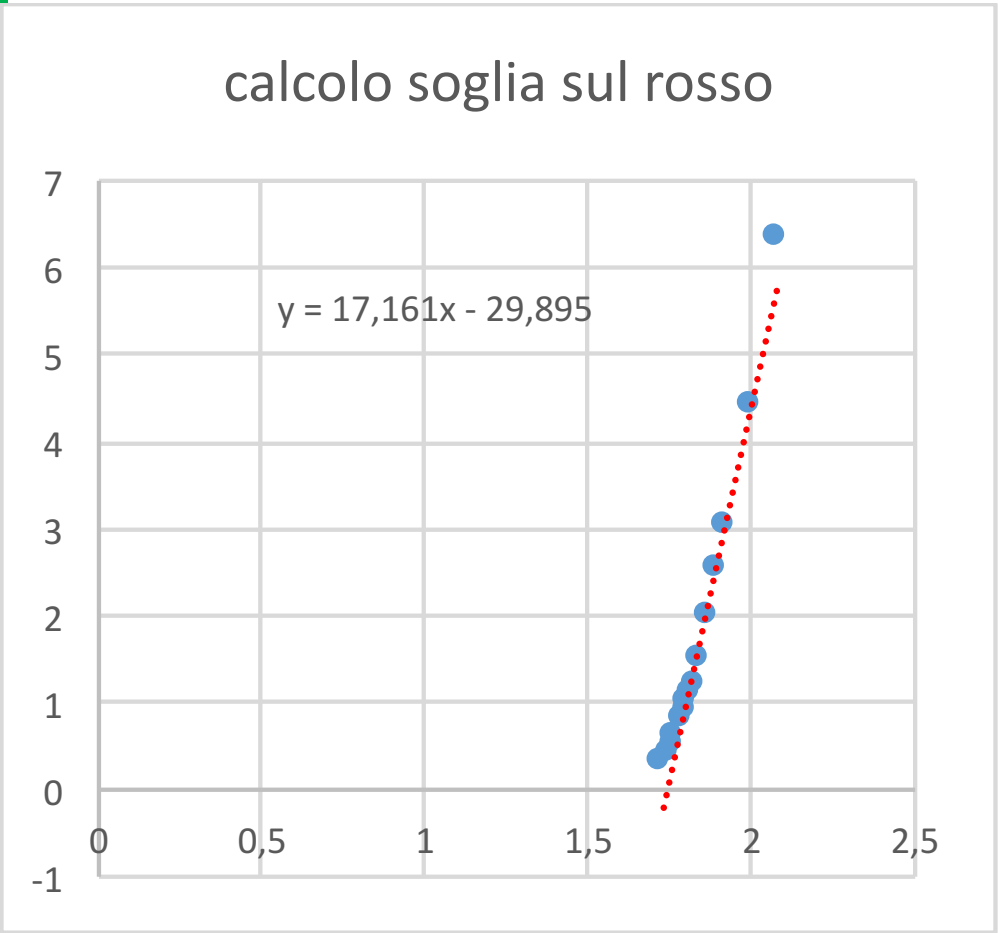


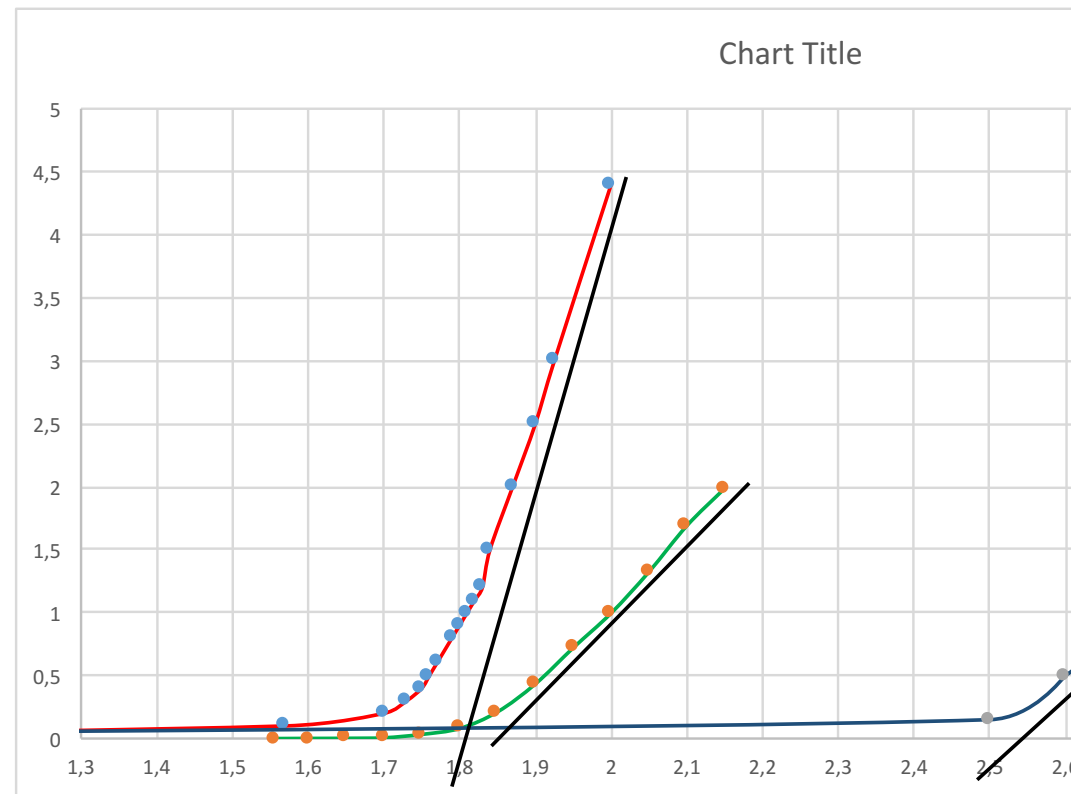
blu	V (V)	A (mA)
	0	0
	2,5	0,15
	2,6	0,5
	2,7	1
	2,8	1,5
	2,9	2
	3,05	2,8

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





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

$e = 1,602E-19$

$m = 1,2879E-06$

$h = 6,87739E-34$

