

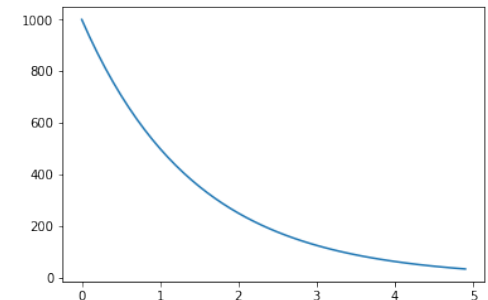
Misure di attenuazione della luce tramite smartphone

Francesca Cavanna
Davide Fallara
Francesco Pennazio



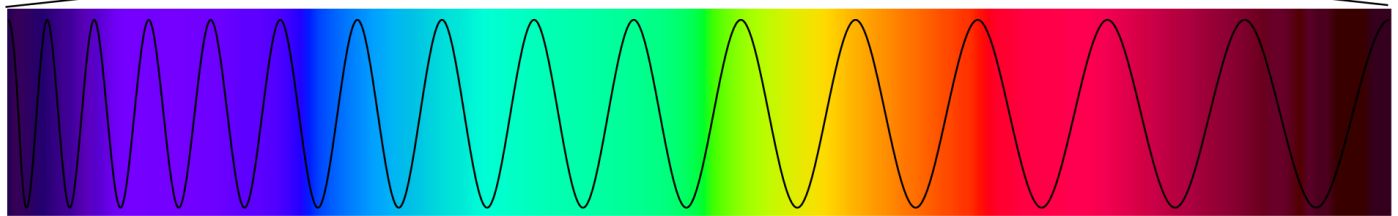
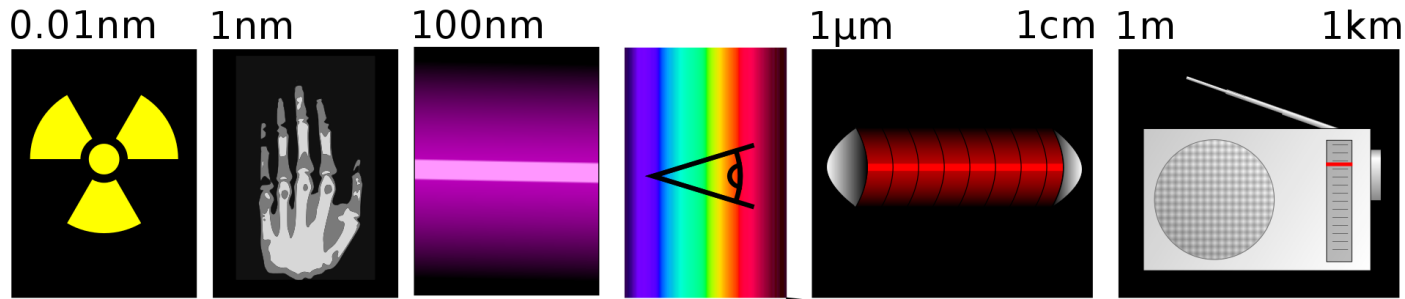
Indice

- Luce visibile e grandezze Fotometriche;
- Legge di attenuazione esponenziale;
- Misure di attenuazione della luce tramite Smartphone;
- Analisi Dati e incertezze di misura.



La luce visibile è un piccola frazione della radiazione elettromagnetica compresa nell' intervallo di lunghezze d'onda tra i 400 nm e i 700 nm.

Qualsiasi corpo in grado di emettere onde elettromagnetiche nel campo del visibile lo denominiamo genericamente " sorgente di luce ".



400nm

700nm



Di cosa è fatta la luce?

Il fotone è una particella priva di massa dotata di energia che si muove a velocità c nel vuoto, è ciò di cui è fatta la luce. I fotoni sono indivisibili.

Quanto è veloce un fotone?

$$c = 299792458 \text{ m/s} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Quanta energia “contiene” un singolo fotone?

$$\lambda_{blu} = 450 \text{ nm}$$

$$E = \approx 4.4 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Quanti fotoni produce una lampadina?

Consideriamo una lampadina LED che consuma 4W quanti fotoni produce in un secondo?

$$E \approx 4.4 \cdot 10^{-19} J$$

$$E_{LED} = P \cdot s = 4 W \cdot 1 s = 4 J / s \cdot 1 s = 4 J$$

$$n_{fotoni} = E_{LED} / E_{fotone} = \frac{4 J}{4.4 \cdot 10^{-19} J} = 9.1 \cdot 10^{18} \text{ fotoni}$$

Possiamo considerarli come una grandezza continua...

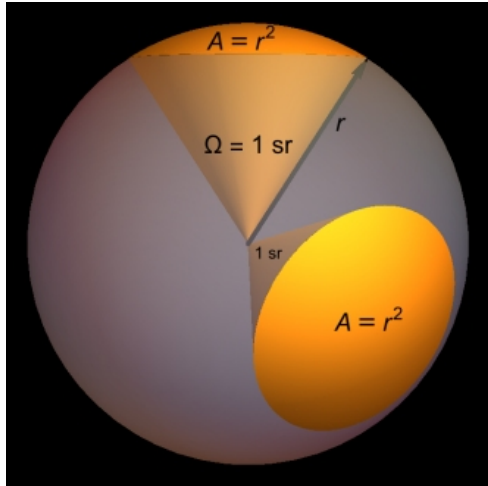


Grandezze Fotometriche

Intensità luminosa (I): Energia della radiazione emessa per unità di tempo e di angolo solido, si misura in candele (cd)

Flusso luminoso (Φ): Potenza emessa in un angolo solido, si misura in lumen, **1 lm = 1cd*sr**

Illuminamento (E): Potenza per unità di area che attraversa una superficie perpendicolare alla direzione di propagazione della radiazione, si misura in lux (lx). **1 lx = 1 lm/m²**



$$E = \frac{I}{r^2}$$

Una sorgente di intensità luminosa pari a 1 cd emette un flusso luminoso di 1 lm in un angolo solido di 1 steradiante.

La candela, è una grandezza fondamentale del SI, è definita come l'intensità luminosa di una sorgente che emette una radiazione monocromatica di frequenza $540 \cdot 10^{12}$ Hz e la cui intensità energetica è pari a 1/683 W/sr



Alcuni valori di Illuminamento (E)

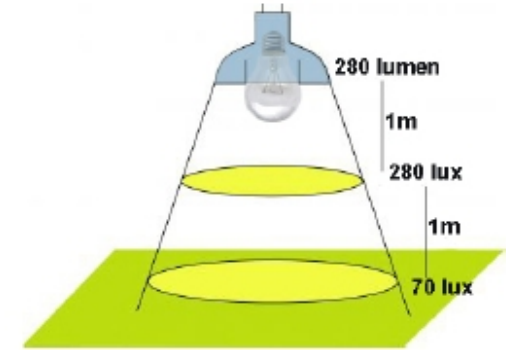
Luce solare a mezzogiorno (medie latitudini)	10^5 lx
Flash fotografico a 2 m di distanza	10^4 lx
Giorno nuvoloso (all'aperto)	10^3 lx
Illuminazione necessaria per leggere	100 lx
Luna piena	0,2 lx
Lampadina a LED (320 lm) ad 1 m di distanza	320 lx
Lampadina a LED (320 lm) a 20 cm di distanza	8000 lx
1 candela di cera a 30 cm di distanza	10 lx

1 candela a 0,5 m :

$$1 \text{ cd} / 0.5^2 \text{ m}^2 = 4 \text{ lx}$$

1 candela a 3 m:

$$1 \text{ cd} / 3^2 \text{ m}^2 = 0.11 \text{ lx}$$



Lineare decrescente vs Esponenziale decrescente



Consideriamo un concessionario che il 1° giorno del mese riceve 1000 automobili, e che ne venda 250 ogni settimana, possiamo formalizzare matematicamente questo problema con una retta:

Numero di automobili: y
Numero di settimane: x

$$\text{Retta } y(x) = mx + q$$

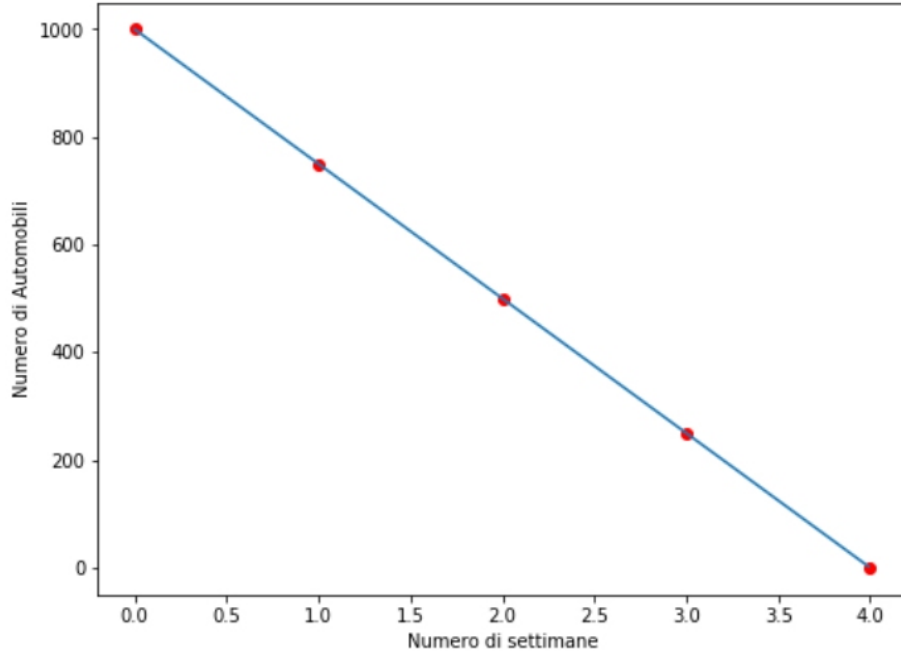
m coefficiente angolare

q intercetta

$$m = -250$$

$$q = 1000$$

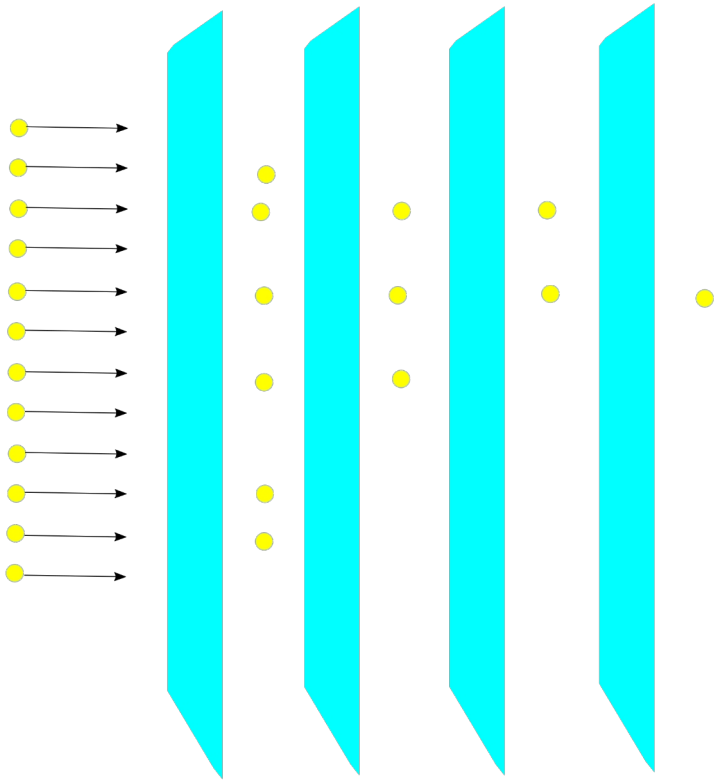
Lineare decrescente vs Esponenziale decrescente



Settimana	Numero di Automobili	Differenza di Automobili
0	1000	
1	750	250
2	500	250
3	250	250
4	0	250

$y(x) = 1000 - 250x$
Andamento lineare decrescente...

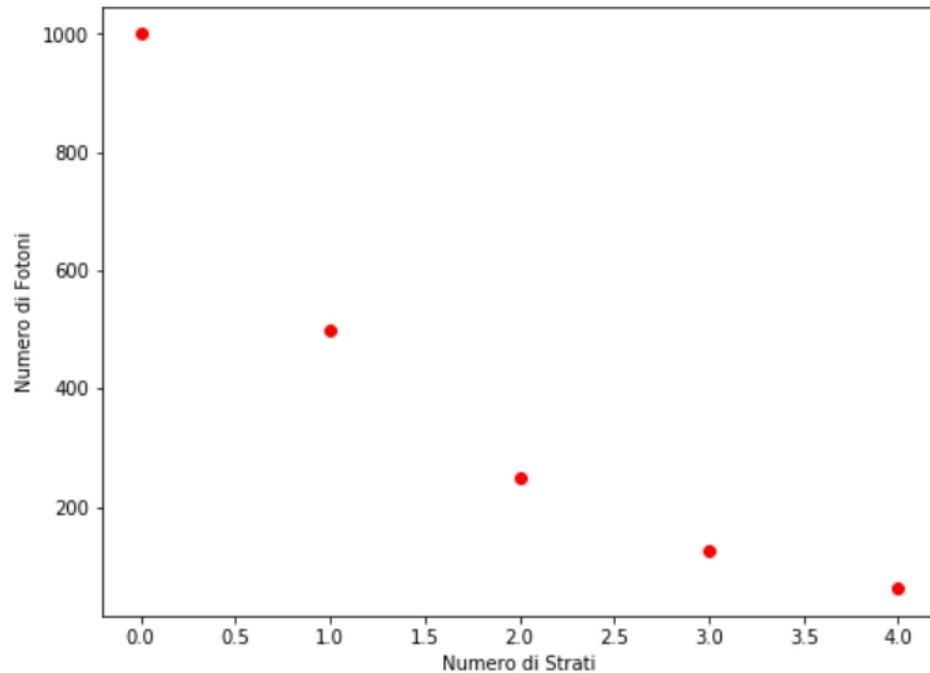
Lineare decrescente vs Esponenziale decrescente



Supponiamo di avere una sorgente di luce che produce fotoni in una direzione precisa, e che questi fotoni incontrino nel loro cammino una serie di strati di materiale semitrasparente, e che per ogni strato soltanto il 50% dei fotoni riesca a passare.

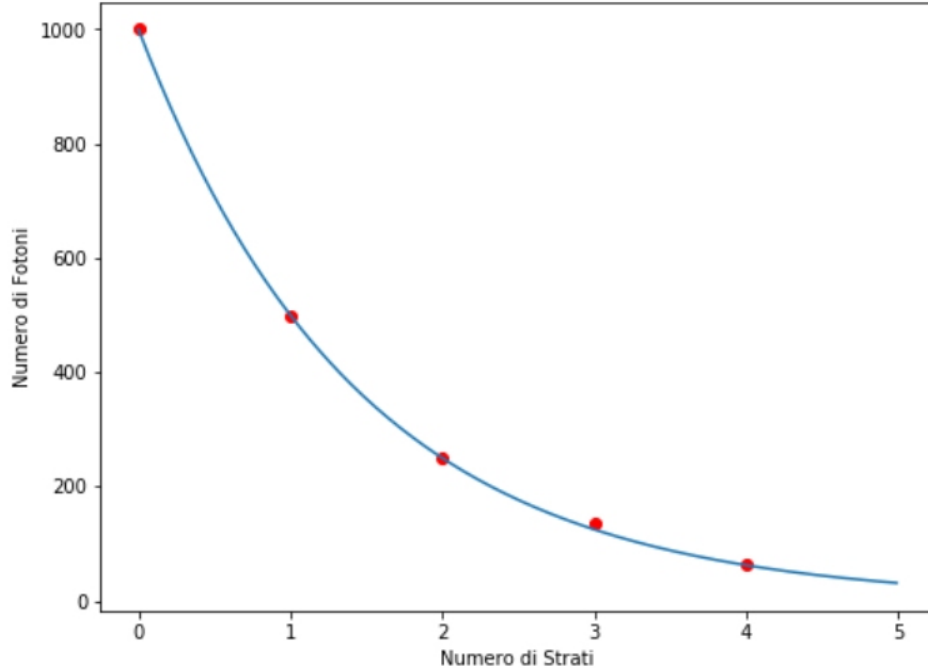
Il numero di fotoni, chiamato il singolo strato Δx che andamento avrà in funzione del numero di strati attraversati ?

Lineare decrescente vs Esponenziale decrescente



Numero di Strati	Numero di Fotoni	Differenza di Fotoni	Rapporto del numero di fotoni per strato
0	1000		
1	500	500	0,5
2	250	250	0,5
3	125	125	0,5
4	63	63	0,5

Funzione esponenziale decrescente



$$y(x) = q \cdot e^{-\alpha x}$$

Numero di fotoni: y

Numero di strati: x

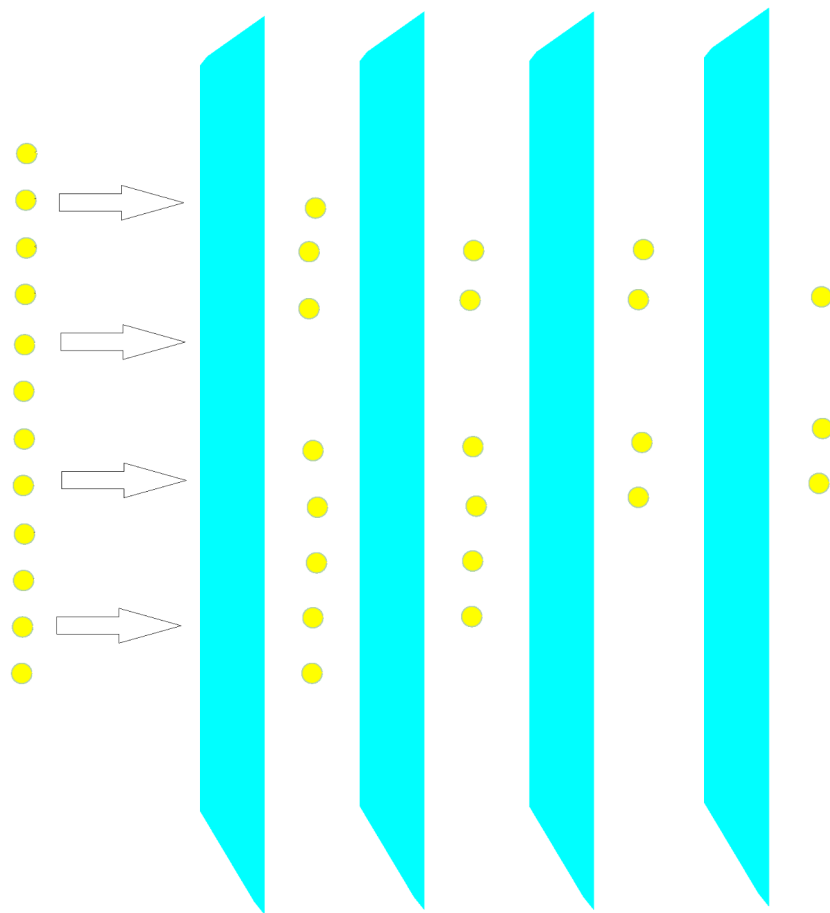
Numero di fotoni iniziale: q

Coefficiente di assorbimento: α

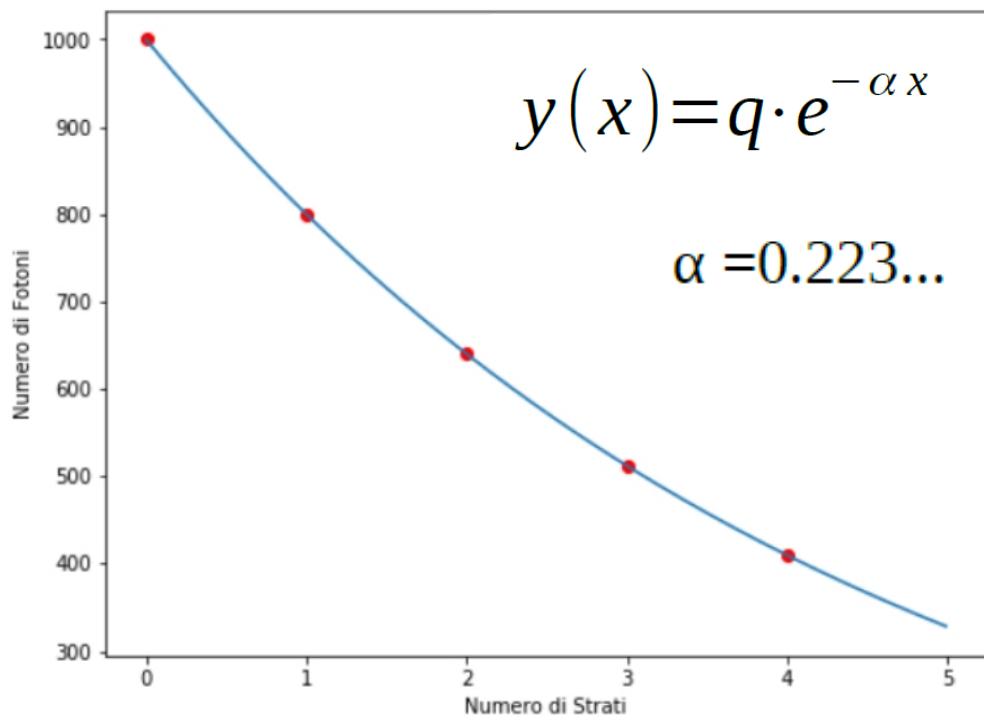
$$q = 1000$$

$$\alpha = 0.693\dots$$

E se passasse l'80% dei fotoni tra uno strato e l'altro?



E se passasse l'80% dei fotoni tra uno strato e l'altro?



Numero di Strati	Numero di Fotoni	Differenza di Fotoni	Rapporto tra il numero di fotoni per strato
0	1000		
1	800	200	0,8
2	640	160	0,8
3	512	128	0,8
4	410	102	0,8

Legge di Lambert-Beer

Considerato un fascio di luce **monocromatica** di intensità I_0 che viaggia parallelo all'asse di riferimento che attraversa uno strato di materiale semitrasparente di spessore Δx .
Con α coefficiente di attenuazione (o assorbimento).

Abbiamo che l'andamento dell'intensità in funzione dello spessore è:

$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

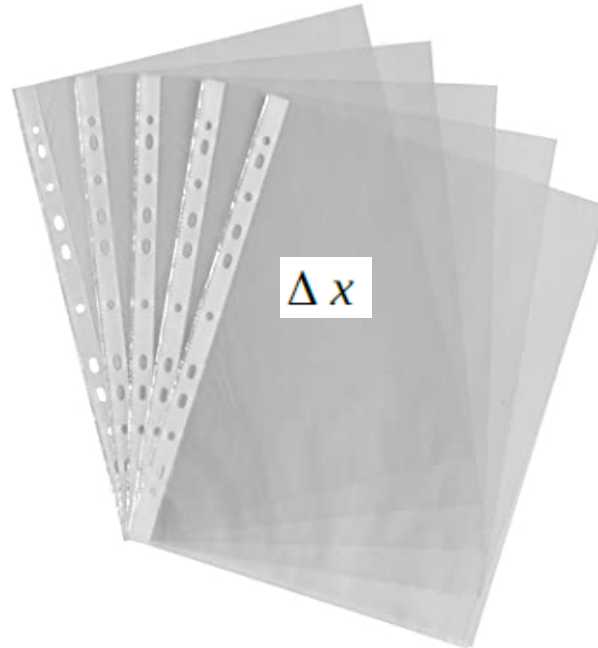
α dipende dalla trasparenza del materiale ovvero da quanti fotoni lascia passare.

Dimensionalmente, α ha le dimensioni dell'inverso di una distanza $\alpha = [1/m]$.

In questo esperimento porremo $\Delta x =$ spessore di un singolo foglio come unità arbitraria.

Occorrente per l'esperimento

- 1 smartphone con misuratore di luminosità (luxmetro) (che sensibilità ha?)
- L' applicazione Phyphox
- 5-6 Buste trasparenti per raccoglitori ad anelli dello stesso tipo
- Una lampada da scrivania / comodino
- Una stanza abbastanza buia
- Un tavolo / una scrivania



Svolgimento dell'esperimento

Video setting sperimentale (Youtube)



Video vista app (Youtube)



phyphox
physical phone experiments

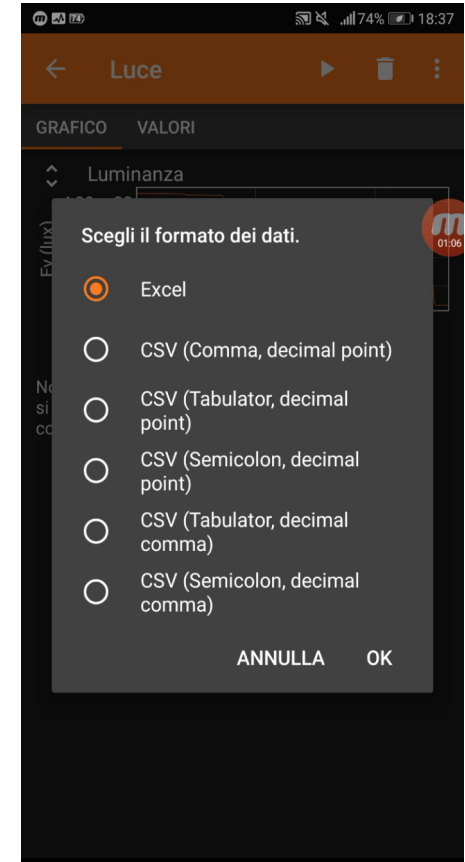
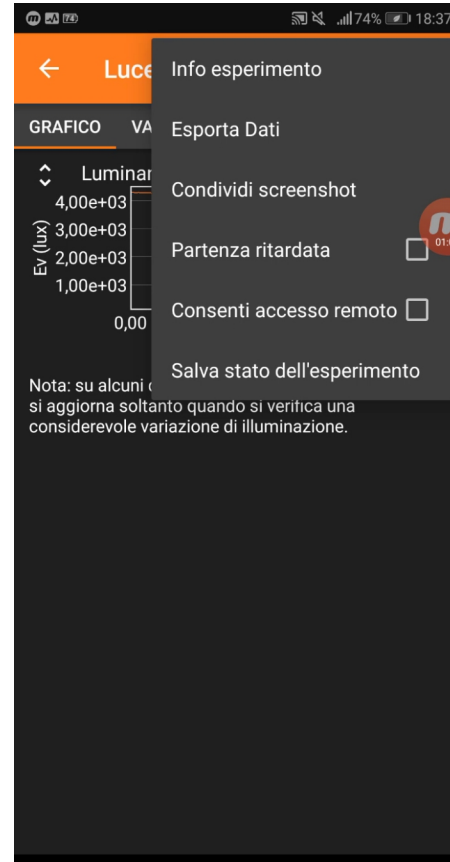
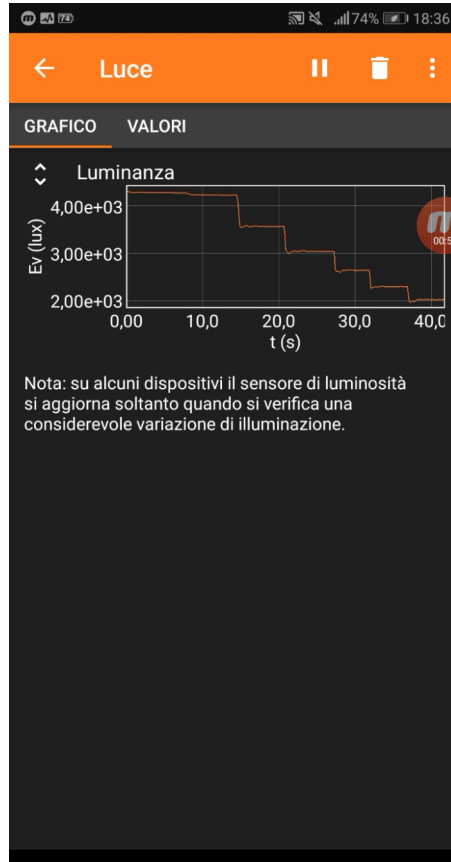
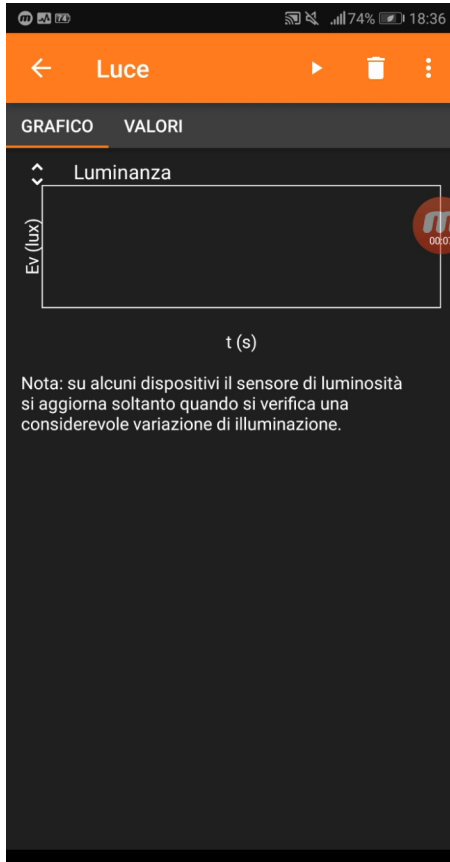
Sensori

- Accelerazione (g inclusa)
Legge i dati dell'accelerometro. Di default le co...
- Accelerazione (senza g)
Legge i dati dall'accelerometro sottraendo l'ac...
- Giroscopio (freq. di rotazione)
Misura le velocità angolari dal giroscopio.
- Luce**
Legge i dati dal sensore di luminosità.
- Magnetometro
Legge i dati dal magnetometro.
- Posizione (GPS)
Ottiene i dati sulla posizione dal sistema di nav...
- Pressione
Dati del barometro.

Acustica

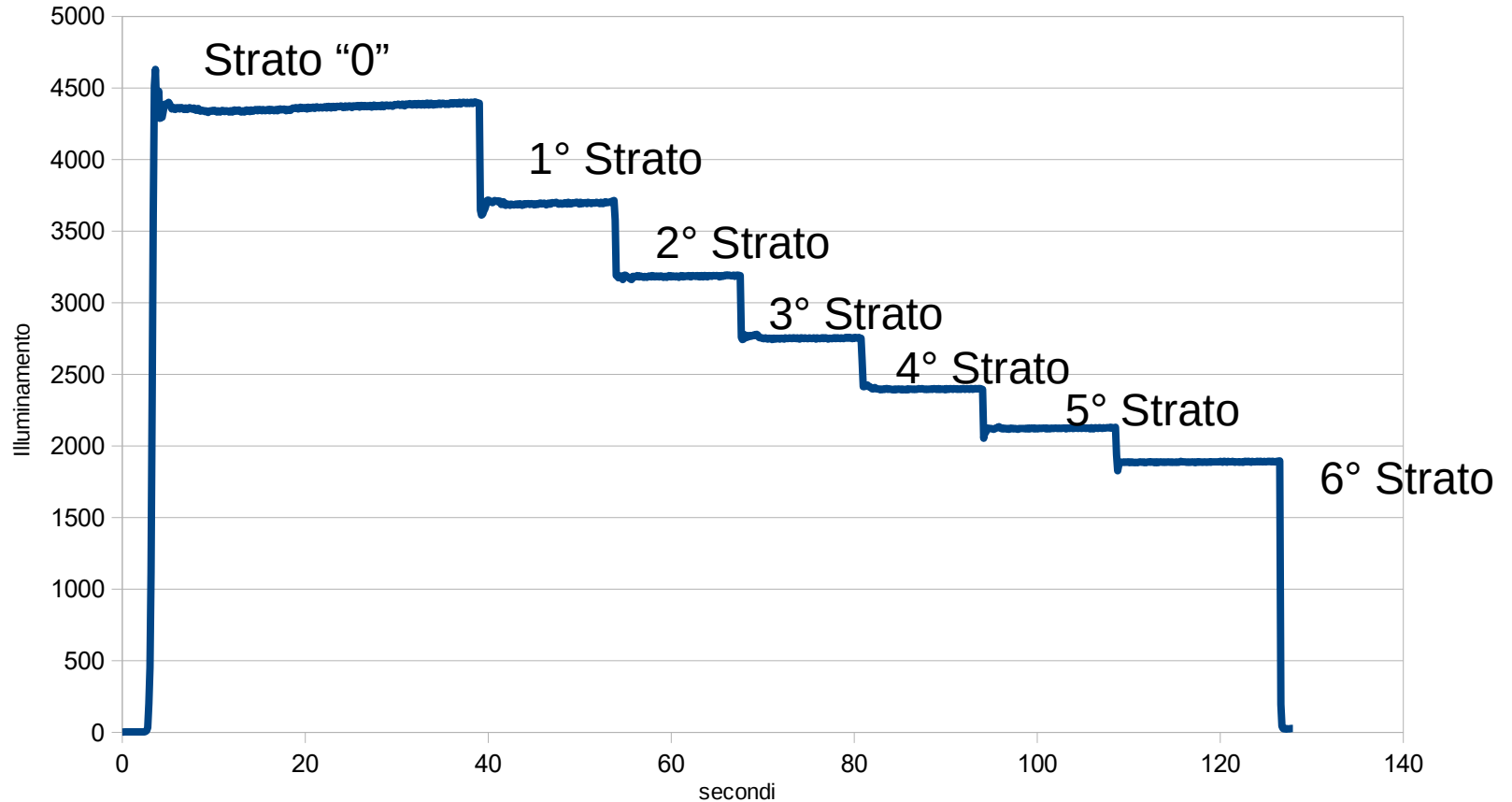
- Ampiezza audio
Misura l'ampiezza di un segnale audio.
- Audioscopio
Mostra la forma del segnale audio.
- Autocorrelazione audio
Misura la frequenza di un singolo tono

App PhyPhox passo passo

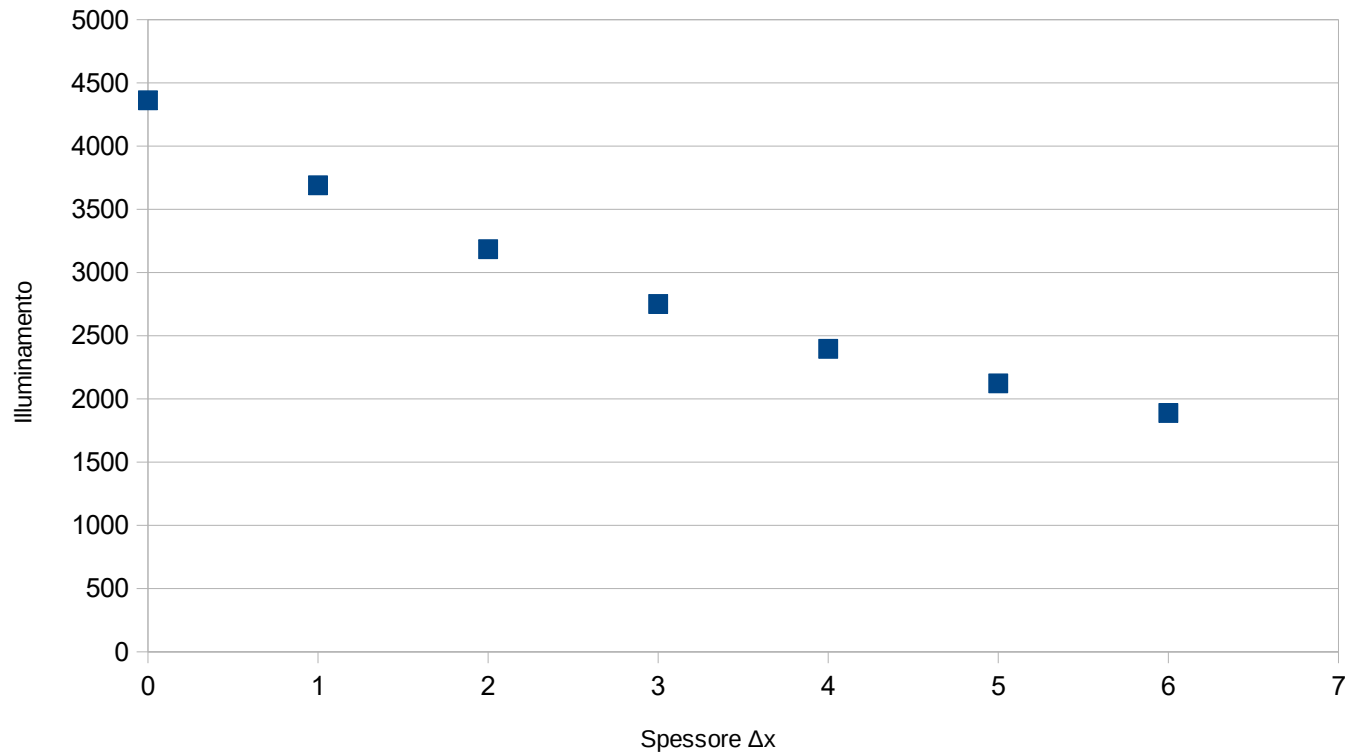


Illuminamento in funzione del tempo

Time (s)	Illuminance (lx)
0	2
0,02726407	2
0,147242195	2
0,267248445	3
0,387256258	3
0,50726407	3
0,627240633	3
0,747248445	3
0,86725782	3
0,987265633	3
1,107242195	3
1,22725157	3
1,347259383	3
1,467267195	3
1,58724532	3
1,70725157	3
1,827259383	3
1,947268758	3
2,06724532	3
2,187253133	3
2,307260945	3
2,42727032	3
2,547246883	6
2,667254695	12
2,78726407	34
2,90723907	201
3,027246883	453
3,147256258	1117
3,26726407	2349
3,387240633	3615
3,507571883	4515
3,627256258	4630
3,74726407	4357
3,867240633	4431
3,987250008	4478
4,10725782	4288

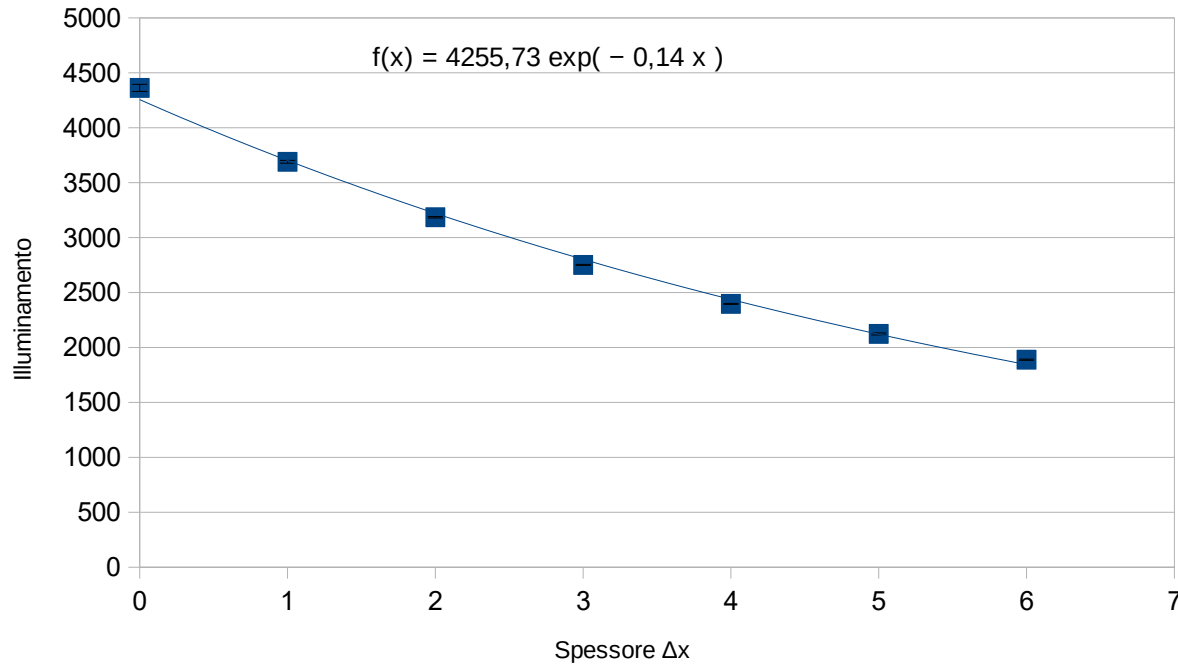


Illuminamento in funzione dello spessore



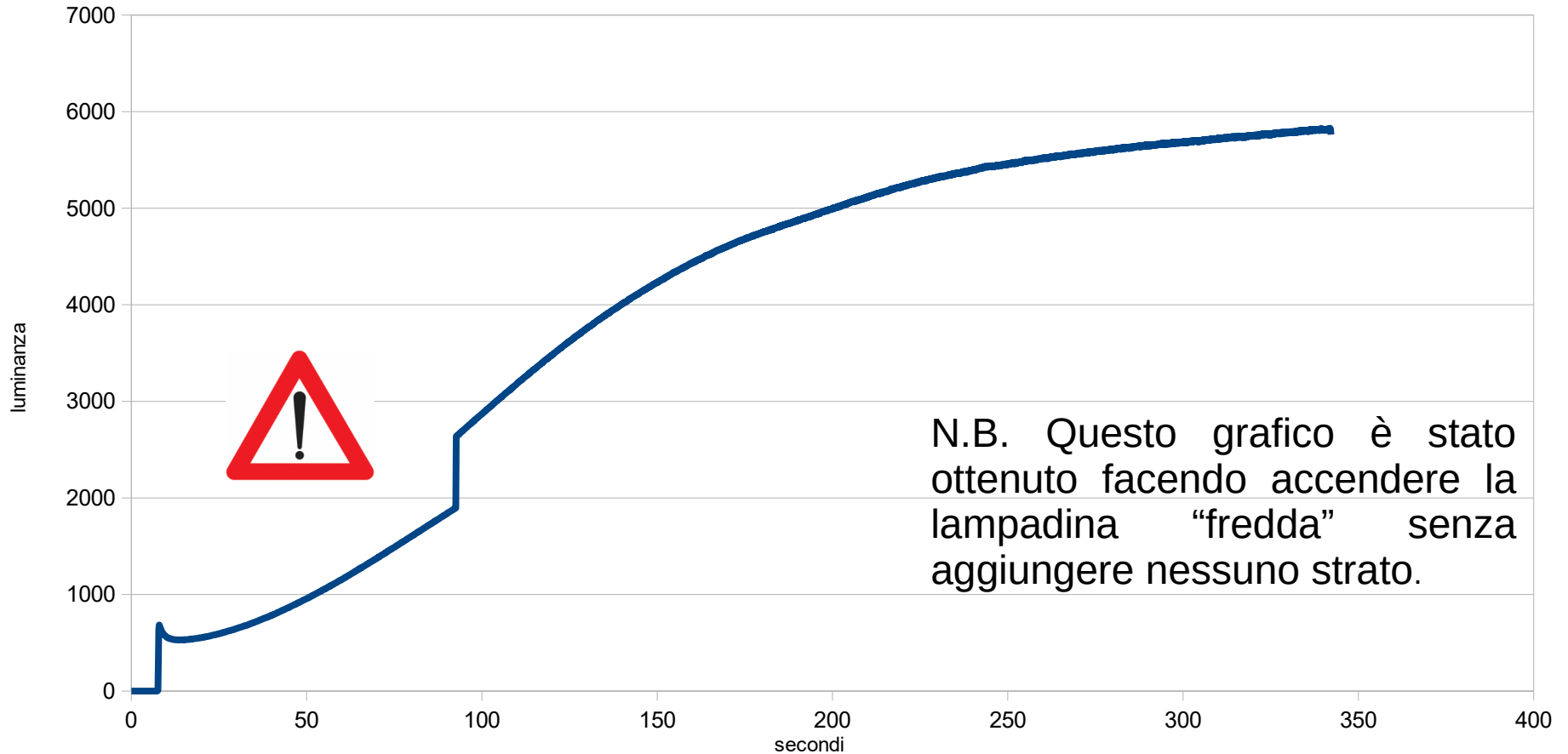
Come si arriva a questo grafico?

Best fit esponenziale



I		ΔI
4362	\pm	33
3690	\pm	13
3185	\pm	7
2751	\pm	5
2397	\pm	5
2123	\pm	10
1889	\pm	5

Attenzione: fate “scaldare” la lampadina prima...



Soluzione approssimata

Abbiamo che l'andamento dell'intensità in funzione dello spessore è:

$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Per lo strato 0 $\Delta x = 0$

$$I(0) = I_0 e^{-\alpha \Delta x = 0} = I_0 e^0 = I_0$$

la radiazione che passa per uno strato nullo è uguale alla radiazione iniziale come ci aspettavamo.

Prendiamo adesso il rapporto le intensità di due strati consecutivi abbiamo che il singolo strato ha $\Delta x = 1$

Soluzione approssimata

Abbiamo che l'andamento dell'intensità in funzione dello spessore è:

$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Per lo strato 0 $\Delta x = 0$

$$I(0) = I_0 e^{-\alpha \Delta x = 0} = I_0 e^0 = I_0$$

la radiazione che passa per uno strato nullo è uguale alla radiazione iniziale come ci aspettavamo.

Prendiamo adesso il rapporto le intensità di due strati consecutivi abbiamo che il singolo strato ha $\Delta x = 1$

$$\begin{aligned} I(\Delta x_3) &= I_0 e^{-\alpha \Delta x_3} \\ I(\Delta x_2) &= I_0 e^{-\alpha \Delta x_2} \end{aligned} \quad \begin{aligned} \longrightarrow \\ \longrightarrow \end{aligned} \quad \frac{I_{sper}(\Delta x_3)}{I_{sper}(\Delta x_2)} = \frac{I_0 e^{-\alpha \Delta x_3}}{I_0 e^{-\alpha \Delta x_2}} = e^{-\alpha \Delta x_3 - \Delta x_2} = e^{-\alpha \Delta x} = e^{-\alpha} \text{ perchè } \Delta x = 1$$

Soluzione approssimata

Abbiamo che l'andamento dell'intensità in funzione dello spessore è:

$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Per lo strato 0 $\Delta x = 0$

$$I(0) = I_0 e^{-\alpha \Delta x = 0} = I_0 e^0 = I_0$$

la radiazione che passa per uno strato nullo è uguale alla radiazione iniziale come ci aspettavamo.

Prendiamo adesso il rapporto le intensità di due strati consecutivi abbiamo che il singolo strato ha $\Delta x = 1$

$$\begin{aligned}
 I(\Delta x_3) &= I_0 e^{-\alpha \Delta x_3} && \longrightarrow && \frac{I_{sper}(\Delta x_3)}{I_{sper}(\Delta x_2)} = \frac{I_0 e^{-\alpha \Delta x_3}}{I_0 e^{-\alpha \Delta x_2}} = e^{-\alpha \Delta x_3 - \Delta x_2} = e^{-\alpha \Delta x} = e^{-\alpha} \text{ perchè } \Delta x = 1 \\
 I(\Delta x_2) &= I_0 e^{-\alpha \Delta x_2} && \longrightarrow &&
 \end{aligned}$$

Approssimiamo, per α piccoli (molto minori di 1) possiamo fare la seguente approssimazione: $e^{-\alpha} \approx 1 - \alpha$

Adesso ricavate dalle medie le 2 intensità sperimentali e fatto il loro rapporto possiamo ricavare così α :

$$\frac{I_{sper}(\Delta x_3)}{I_{sper}(\Delta x_2)} = 1 - \alpha \quad \alpha = 1 - \frac{I_{sper}(\Delta x_3)}{I_{sper}(\Delta x_2)} \quad \alpha = 1 - \frac{I_{sper}(\Delta x_4)}{I_{sper}(\Delta x_3)} \quad \alpha = 1 - \frac{I_{sper}(\Delta x_{j+1})}{I_{sper}(\Delta x_j)}$$

α	$e^{-\alpha}$	$1 - \alpha$
0,02	0,980	0,980
0,04	0,961	0,960
0,06	0,942	0,940
0,08	0,923	0,920
0,10	0,905	0,900
0,12	0,887	0,880
0,14	0,869	0,860
0,16	0,852	0,840
0,18	0,835	0,820
0,20	0,819	0,800

Soluzione approssimata

$$\alpha = 1 - \frac{I_{sper}(\Delta X_{j+1})}{I_{sper}(\Delta X_j)}$$

I	$I(\Delta x_{j+1})/I(\Delta x_j)$	α approx
4362		
3690	0,85	0,154
3185	0,86	0,137
2751	0,86	0,136
2397	0,87	0,129
2123	0,89	0,114
1889	0,89	0,110
	media	0,13
	semidisp.	0,02

Linearizzazione mediante logaritmo



$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Vogliamo avere una espressione dove x abbia un esponente pari ad uno moltiplicato per un coefficiente.

Linearizzazione mediante logaritmo



$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Vogliamo avere una espressione dove x abbia un esponente pari ad uno moltiplicato per un coefficiente.

$$\frac{I(\Delta x)}{I_0} = e^{-\alpha \Delta x}$$

$$x = \log_a b \text{ se e solo se } a^x = b$$

$$e = 2,71828182\dots$$

$$\text{esponente} = \log_{\text{base}}(\text{argomento})$$

$$\log_2 8 = \log_2 2^3 = 3 \quad \log_a a^c = c$$

Linearizzazione mediante logaritmo



$$I(\Delta x) = I_0 e^{-\alpha \Delta x}$$

Vogliamo avere una espressione dove x abbia un esponente pari ad uno moltiplicato per un coefficiente.

$$\frac{I(\Delta x)}{I_0} = e^{-\alpha \Delta x}$$

$$x = \log_a b \text{ se e solo se } a^x = b$$

$$e = 2,71828182\dots$$

$$\log_e \frac{I(\Delta x)}{I_0} = \log_e e^{-\alpha \Delta x}$$

$$\text{esponente} = \log_{\text{base}}(\text{argomento})$$

$$\log_e \frac{I(\Delta x)}{I_0} = -\alpha \Delta x$$

$$\log_2 8 = \log_2 2^3 = 3 \quad \log_a a^c = c$$

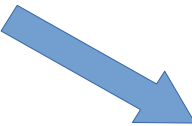
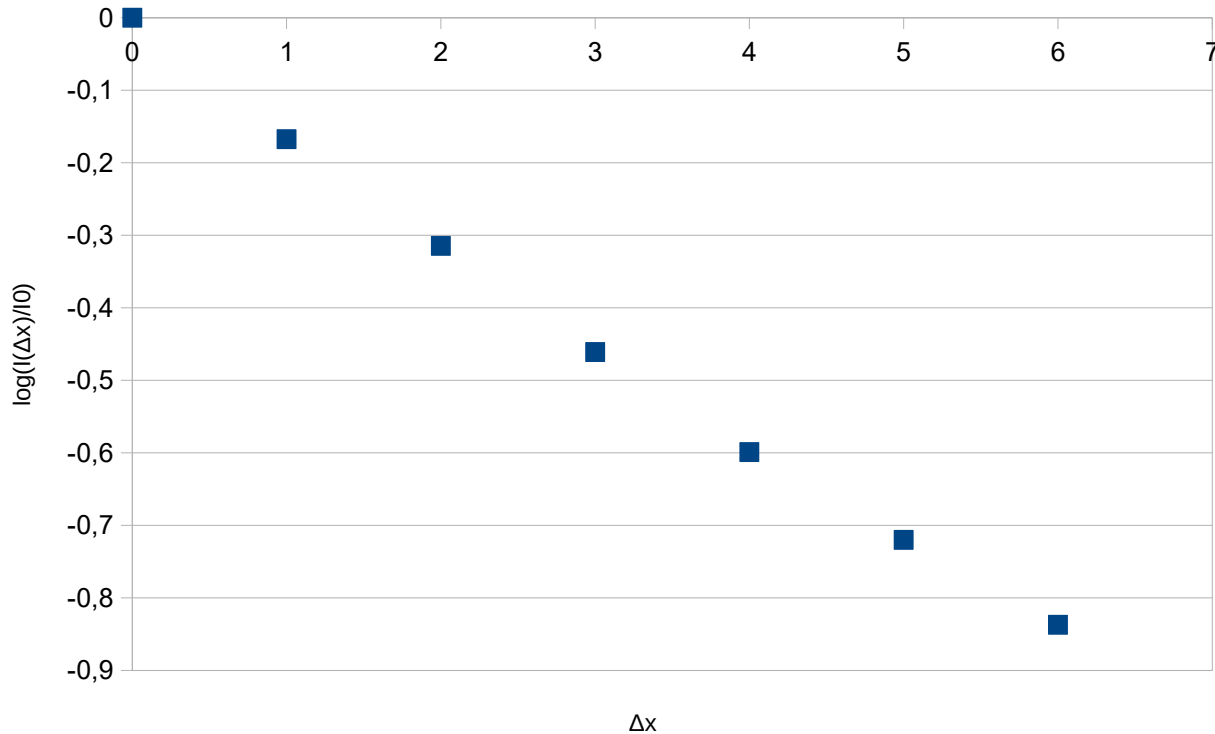

$$\alpha_j = \frac{-1}{\Delta x_j} \log \frac{I(\Delta x_j)}{I_0}$$

Grafico dei valori linearizzati



Δx	$\log(I(\Delta x)/I_0)$	α
0	0	
1	-0,167	0,167
2	-0,315	0,157
3	-0,461	0,154
4	-0,599	0,150
5	-0,720	0,144
6	-0,837	0,140
	media	0,15
	semidisp	0,01

$$\log_e \frac{I(\Delta x)}{I_0} = -\alpha \Delta x$$

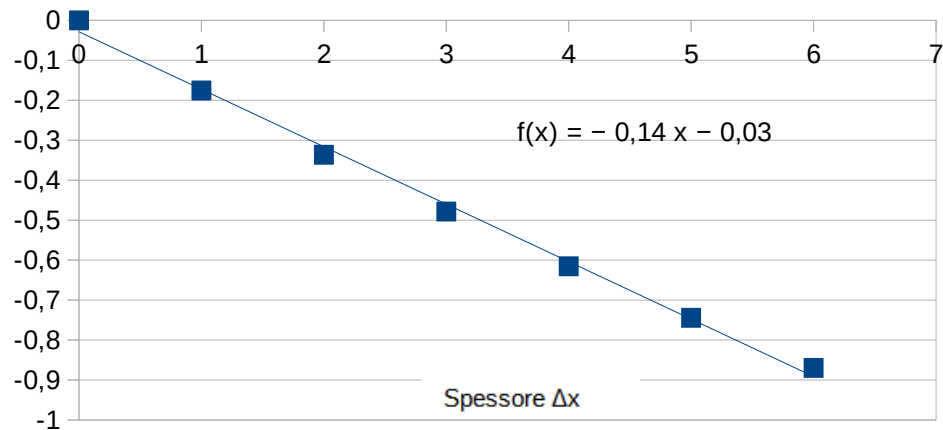
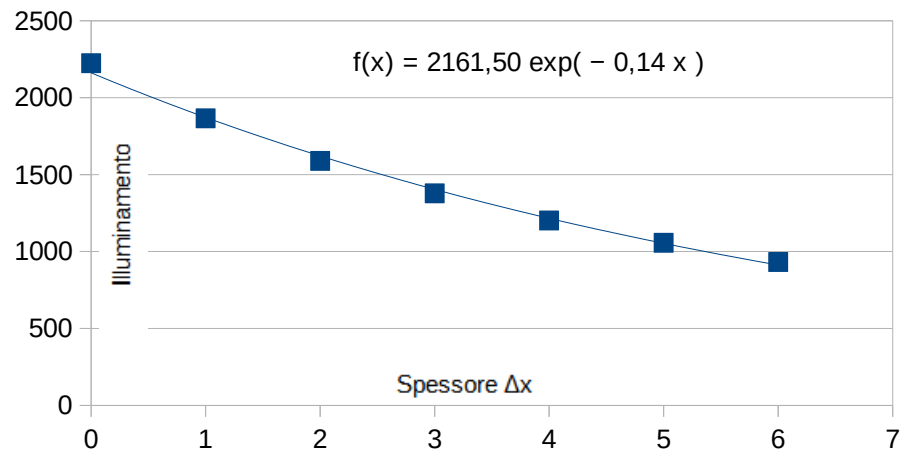
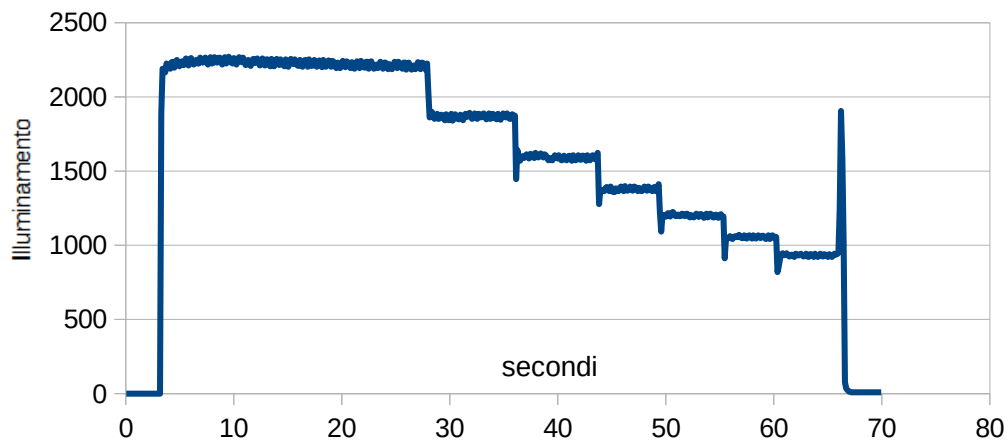
$$\alpha_j = \frac{-1}{\Delta x_j} \log \frac{I(\Delta x_j)}{I_0}$$

Riepilogo dei valori di α trovati...

$\alpha_{\text{fit_esp}}$	0,14		
α_{approx}	0,13	\pm	0,02
α_{lin}	0,15	\pm	0,01

I valori di α trovati sono compatibili tra loro...

e se usassimo un'altra lampadina?



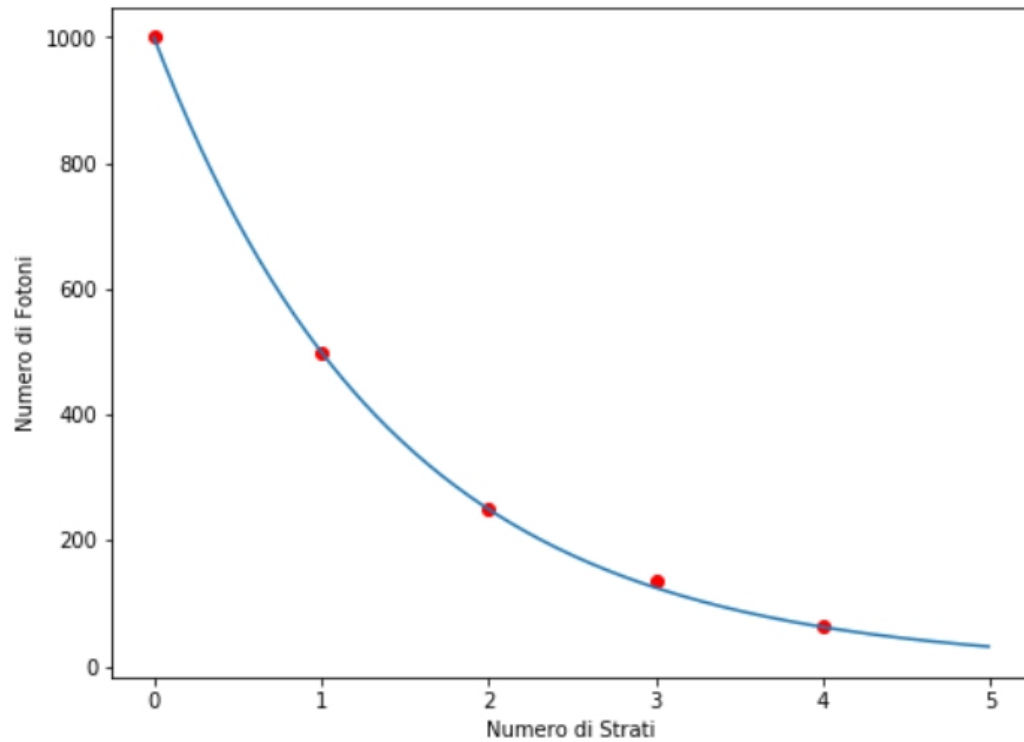
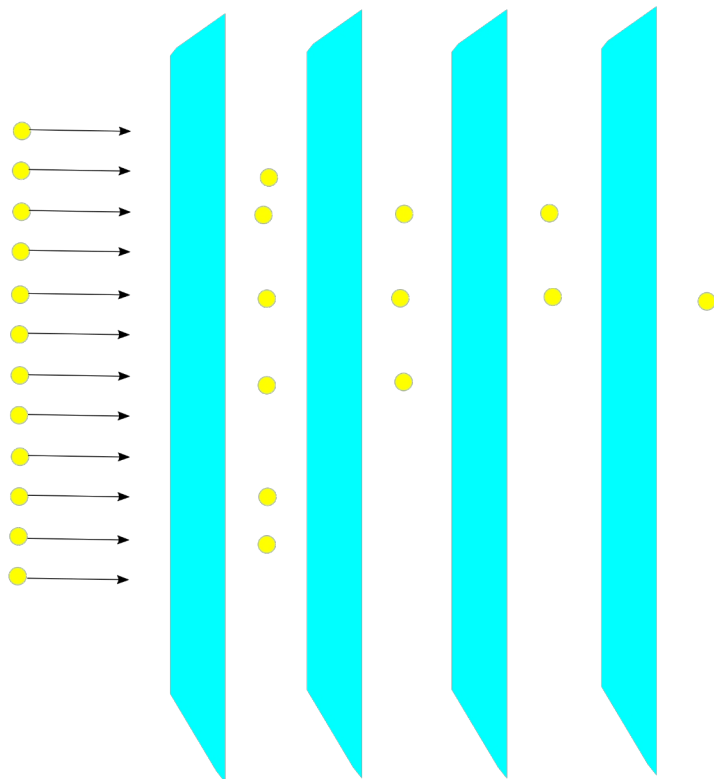
alpha sper	0,16
semidsp.	0,01

I risultati sono comparabili...

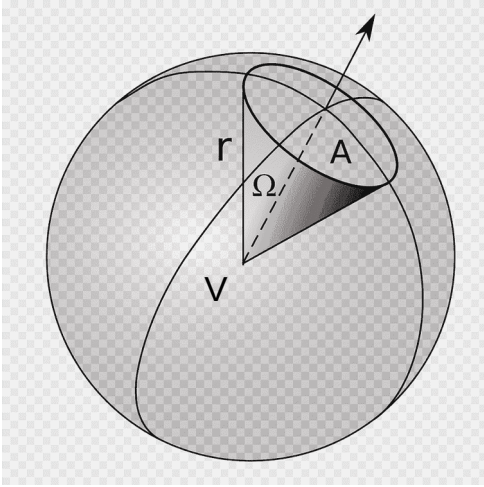
Alcune avvertenze per lo svolgimento dell'esperimento

- Se usate una lampada a risparmio energetico tenetela accesa per circa 10 min prima di svolgere l'esperimento.
- Il vostro setting sperimentale è diverso, in generale, da quello che vi è stato mostrato: La vostra lampadina ha un flusso luminoso (lumen) differente; La distanza tra il cellulare e la lampadina è differente; Le buste trasparenti sono di un'altra marca (quindi α differente).
- La cosa importante è che all'aumentare del numero di strati, l'illuminamento misurato dal vostro sensore (i lux che misurate) abbia un andamento esponenziale decrescente.
- Se il vostro illuminamento iniziale è troppo basso (< 2000 lux) i risultati potrebbero essere imprecisi, si consiglia di diminuire la distanza lampadina-cellulare avvicinando la lampada, oppure di utilizzare una lampada con una lampadina più luminosa.
- Se cambiate lampada e/o cambiate distanza, l' α di attenuazione vi dovrebbe venire uguale. Perché?

Grazie dell'attenzione!



Appendice A: Angolo Solido



Una sorgente luminosa puntiforme ideale irraggia energia in tutte le direzioni uniformemente.

Per valutare l'energia emessa nello spazio da una sorgente puntiforme si considera una porzione dello spazio, posta ad una certa distanza dall'oggetto.

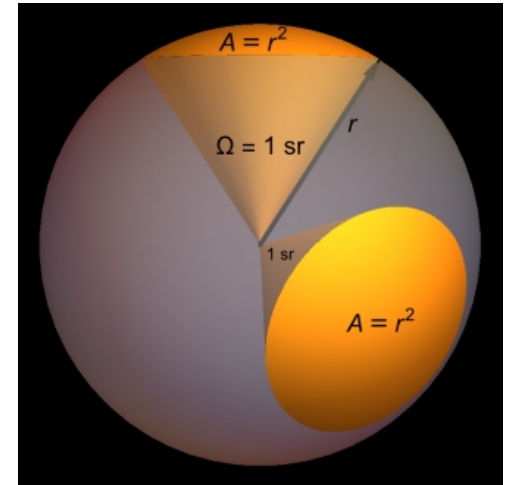
Per delimitare un'apertura nello spazio tridimensionale si utilizza il concetto di angolo solido, ovvero la porzione di spazio delimitata da una superficie conica che interseca una sfera.

Preso il vertice del cono interno alla sfera di raggio r , l'**angolo solido Ω** è il **rapporto tra A** (area della porzione della superficie sferica data dall'intersezione della sfera con il cono) **e r^2** .

Essendo il rapporto di due aree è un numero puro.

L'unità di misura dell'angolo solido è lo steradiano, l'angolo solido unitario (1sr) di vertice V è quello che delimita su una superficie di una sfera di raggio r una superficie uguale a r^2 .

La superficie della sfera è pari a $4\pi r^2$, se prendiamo l'angolo solido che sottende tutta la sfera abbiamo che esso misura: $4\pi r^2 / r^2 = 4 \pi \text{ sr}$

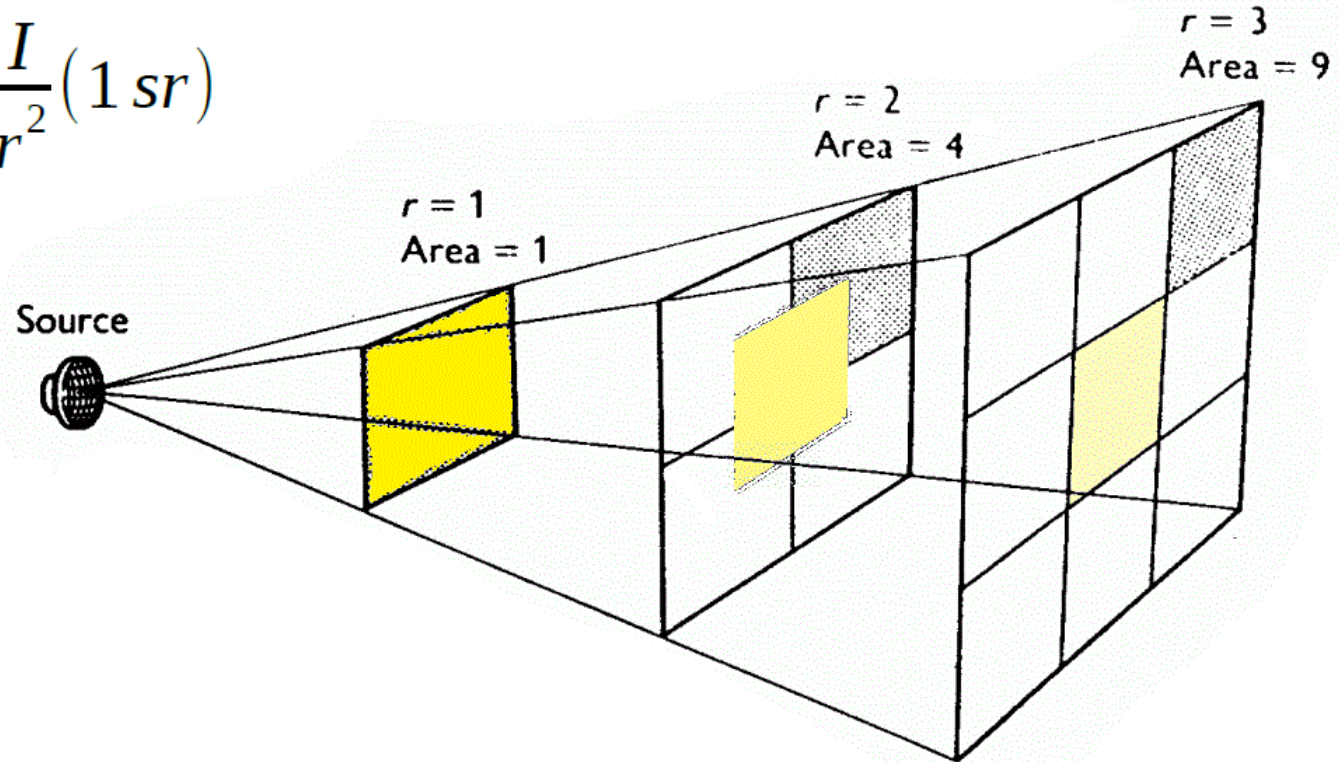


Appendice B: Legge dell'inverso del quadrato

Nel caso di irraggiamento isotropo, il flusso luminoso è direttamente proporzionale alla intensità luminosa. Dato che l'intensità è costante in tutto le direzioni per determinare il flusso luminoso bisogna moltiplicare per l'intero angolo solido 4π sr (ovvero l'angolo sotteso dalla sfera):

$$\Phi = I \cdot 4 \pi \text{ sr}$$

$$E = \frac{\Phi}{A} = \frac{4 \pi I}{4 \pi r^2} = \frac{I}{r^2} (1 \text{ sr})$$



Bibliografia e Sitografia (non esaustiva)

- ASPETTI PRATICI E DEFINIZIONI RIGUARDANTI ALCUNE GRANDEZZE FISICHE IN USO IN FOTOMETRIA E RADIOMETRIA di Vincenzo Iorio
- Grandezze Radiometriche e Fotometriche Prof. M. Di Giulio
- FISICA 2 di A.Caforio A.Ferilli Le Monnier
- FISICA 3 di A.Caforio e A.Ferilli Le Monnier
- Fisica con Arduino di G. Organtini Zanichelli
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/vision/photom.html>