

Esperienza 6: Misurare l'invisibile

Modellazione matematica e interpolazione studiando la polarizzazione

Dalle esperienze precedenti abbiamo imparato che quando si studia un fenomeno fisico è molto importante scegliere e/o costruire lo strumento adatto, conoscendo bene i limiti di quest'ultimo e le caratteristiche del fenomeno stesso, in modo da poterlo misurare correttamente. Anche se non si conosce il fenomeno dal punto di vista matematico, è possibile, con le dovute approssimazioni, riuscire comunque a scegliere lo strumento adatto per un certo esperimento. Ciò risulta semplice quando abbiamo un fenomeno fisico che è possibile vedere a occhio nudo, ma è più complicato quando esso è invisibile ai nostri occhi. In quest'ultimo caso, il ricercatore è costretto ad analizzare un fenomeno a tentativi per poi poter definire la legge matematica che vi sta dietro. Il fenomeno fisico della **polarizzazione** della luce è invisibile ai nostri occhi, ma è misurabile mediante la giusta strumentazione. Si è in grado di ipotizzare quale legge fisica si nasconde dietro questo fenomeno?

Quando un fascio di luce non polarizzata, avente intensità luminosa I_0 , attraversa un filtro polarizzatore lineare, l'intensità I del fascio in uscita è pari a:

$$I = \frac{1}{2} I_0$$

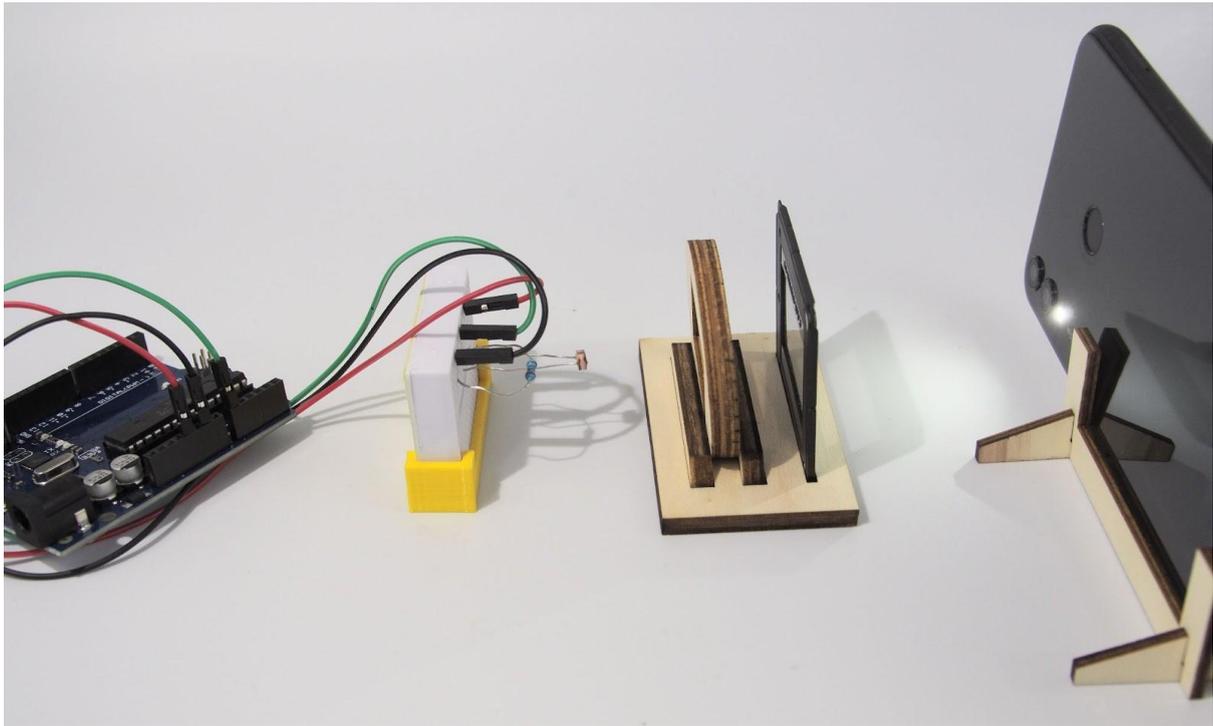
Questo accade perché la luce in uscita dal filtro polarizzatore oscilla lungo un piano ben definito, che è detto **piano di polarizzazione**, e dunque l'onda sarà linearizzata: solo le onde in entrata, che erano già polarizzate, potranno passare il filtro, il resto viene invece assorbito. Se dopo il primo polarizzatore lineare ne viene posto un secondo, una certa percentuale di luce potrà essere assorbita anche dal secondo filtro: se questo accade il valore di tale percentuale, dipende dall'angolo tra i piani di polarizzazione dei due filtri.

Al contempo, è possibile osservare un altro fenomeno di assorbimento usando un solo filtro polarizzatore ed una sorgente di luce polarizzata. Si provi, per esempio, a porre un polarizzatore davanti allo schermo di un cellulare o di un monitor acceso e ruotare il filtro: osservare cosa succede.

Materiale

- torcia del cellulare
- resistenza da 220 Ohm
- fotoresistenza
- Arduino Uno
- cavi jumper MM
- cavo di collegamento tra computer e Arduino
- breadboard
- supporto per la breadboard
- componenti in legno per telaio di supporto per il polarizzatore fisso e mobile
- componenti in legno per telaio di supporto cellulare
- polarizzatore circolare da ruotare
- polarizzatore quadrato fisso

Preparazione del setup sperimentale



1. Montare il circuito per il funzionamento della fotoresistenza seguendo le indicazioni della scheda *Guida rapida al microprocessore Arduino*.
2. Utilizzare le componenti in legno per assemblare il telaio di supporto per il cellulare, come mostrato nelle figure sottostanti, e inserire la breadboard nel suo supporto in modo che la fotoresistenza sia ben rivolta verso la fonte di luce.
3. Posizionare tra la breadboard e il cellulare il supporto per i polarizzatori, da montare come illustrato nelle figure sottostanti, e inserire in esso il polarizzatore mobile e quello fisso.
4. Accendere la torcia del cellulare.
5. Per questo esperimento consigliamo l'utilizzo del programma opportunamente modificato con il metodo di confronto dei dati stabilito dalla classe nella scheda *Esperienza 2: Taratura*. Se non si è ancora eseguita questa scheda l'insegnante vi fornirà il programma adatto.

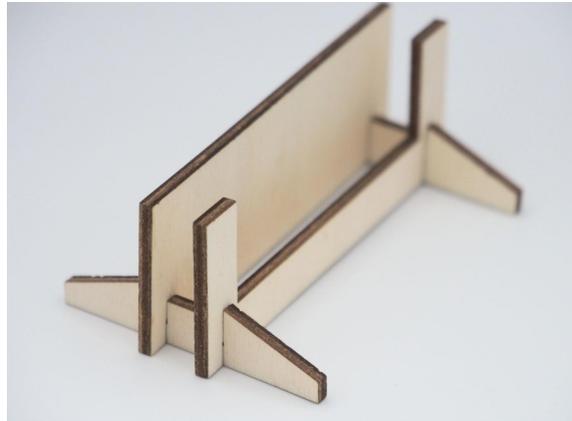
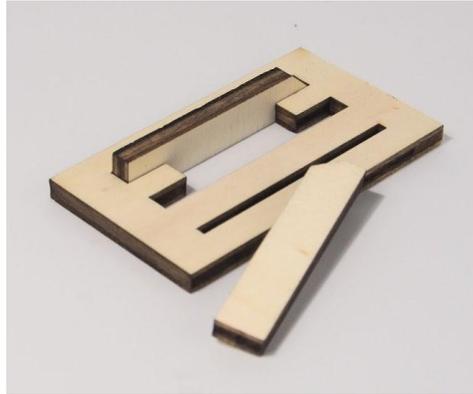
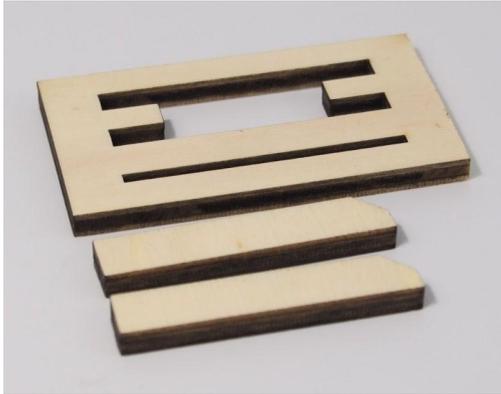


Foto sopra: come montare il supporto per il cellulare.

Foto sotto: come montare il supporto per i filtri polarizzatori.



Esecuzione dell'esperimento

Dopo aver posto il supporto con i due filtri polarizzatori tra il cellulare e la breadboard, per prima cosa bisogna ruotare il polarizzatore mobile finché non si trova l'angolo tra i due polarizzatori che permette di avere il **valore massimo** di intensità luminosa che la fotoresistenza riesce a misurare in questa configurazione. Questo sarà l'**angolo zero** tra i due piani di polarizzazione, ossia quello da cui partire per calcolare gli angoli successivi tra i due filtri. Si può prendere come riferimento lo spigolo obliquo del supporto del polarizzatore mobile per stabilire quale tacca del polarizzatore si trova in corrispondenza dell'angolo zero. Se l'angolo zero cade nello spazio tra due tacche del polarizzatore mobile, si prenderà come riferimento la tacca più vicina.

angolo (rad)	I misurata
0.00	34.32
0.17	32
0.35	29.86
0.52	26.01
0.70	21.98
1.05	17.58
1.22	12.01
1.40	6.72
1.57	2.97
1.75	0.76
1.92	0

Successivamente si scelgono degli angoli ben definiti, di cui va calcolata l'ampiezza in radianti, si ruota il polarizzatore mobile delle quantità corrispondenti e si misura l'intensità della luce in uscita dai filtri al variare dell'angolo di inclinazione. Per convertire gli angoli da gradi a radianti si può utilizzare questa uguaglianza:

$$90^\circ = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

Le tacche segnate sul polarizzatore mobile sono a distanza di 10 gradi ciascuna, o 0,175 radianti.

I valori di intensità luminosa misurati vanno di volta in volta trascritti assieme agli angoli di inclinazione corrispondenti su un foglio Excel o su un foglio Google.

Suggerimento:

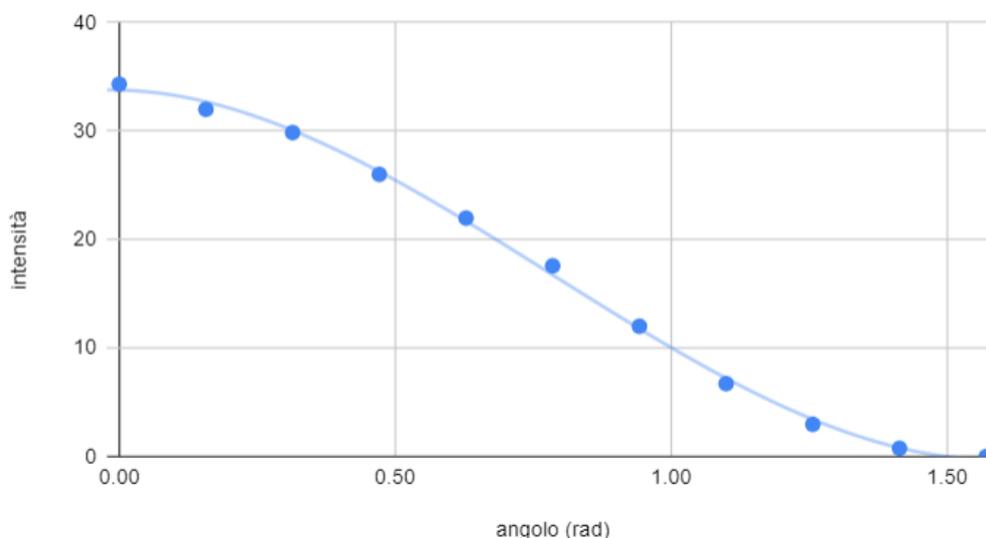
Cercando di fare tesoro delle tecniche apprese dalle esperienze precedenti e calandovi nei panni del ricercatore, cercate di realizzare un esperimento il più accurato possibile, prestando molta attenzione a non variare le condizioni esterne di luce tra una misura e la successiva, descrivendo con precisione la procedura seguita e raccogliendo i dati in maniera comprensibile agli altri gruppi, in modo da poterli poi confrontare con loro. Fate in modo di costruire un apparato sperimentale stabile, che venga mosso il meno possibile, e di diminuire i fattori di disturbo esterni al minimo, o perlomeno di tenerne conto.

Analisi dei dati

Dopo aver raccolto i dati di intensità luminosa I e degli angoli θ e averli scritti ordinatamente dentro una tabella, come nella figura precedente, si può procedere con la creazione di un **grafico**. Il grafico avrà lungo l'asse delle ascisse l'angolo di inclinazione espresso in radianti, e lungo l'asse delle ordinate l'intensità luminosa misurata e convertita adeguatamente secondo la procedura di taratura che avete adottato.

Per creare il grafico è possibile sfruttare le impostazioni predefinite dei fogli Google (o di un foglio Excel). Si consiglia un grafico a punti sparsi.

Rappresentare i dati con un grafico ci permette di visualizzare a colpo d'occhio la relazione presente tra le diverse grandezze misurate, cosa che leggendo soltanto le misure è di difficile interpretazione.



Spunti di riflessione

- Quale formula matematica sembra seguire l'andamento sperimentale dei dati? Provare a formulare delle ipotesi e confrontare le risposte insieme al resto della classe.
- Qual è il minimo numero di punti che deve avere il grafico per poter confrontare l'andamento sperimentale con la legge teorica?

Approfondimento

Come è possibile notare, durante l'esperimento i due polarizzatori bloccano sempre più luce in base all'aumentare dell'angolo tra i due piani di polarizzazione (fino a 90°). Se essi sono perpendicolari tra loro, la luce verrà bloccata totalmente; se invece l'angolo tra di essi è nullo, la luce viene polarizzata senza nessun cambiamento nell'intensità luminosa. Questo comportamento segue la **legge di Malus**, descritta dalla seguente formula:

$$I = I_0 \cos^2 \theta$$

dove θ è l'angolo tra i due piani polarizzatori, I è l'intensità luminosa in uscita dai due filtri e I_0 è l'intensità luminosa misurata quando l'angolo tra i due piani polarizzatori è pari a zero.

- I. La formula reale si discosta molto da quella che avete proposto?
- II. Provare a confrontare i dati calcolati con la formula teorica, calcolando l'intensità luminosa con la formula di Malus a partire dagli angoli utilizzati nell'esperimento. I dati calcolati si avvicinano a quelli misurati?