



Didattica

Alessio Seganti

Liceo Torricelli-
Biliardini, Faenza

aseganti@gmail.com

Studio della diffusione della luce

ABSTRACT

This experiment aims to study light scattering phenomenon by using cheap lab instruments and a smartphone in order to provide illumination measurements and as a chromatic sensor. Different aspects are taken into account: illumination, scattering dependence from colour, scattered light polarization.

Scopo del presente esperimento è comprendere il fenomeno della diffusione della luce e con esso spiegare fenomeni della vita quotidiana quali il colore azzurro del cielo e il colore arancio-rosso del disco solare al tramonto; al contempo si potrà verificare la polarizzazione della luce diffusa a un angolo di 90° rispetto alla direzione di propagazione iniziale.

L'esperimento può essere proposto ad alunni del quarto o quinto anno di corso, nel primo caso come parte del programma di ottica, nel secondo in occasione dello studio dei fenomeni legati alla radiazione elettromagnetica.

Per svolgere l'esperimento è necessario disporre di uno *smartphone* dove si deve preliminarmente installare due *app*: *Light Meter* (o un'altra *app* con funzione di esposimetro) e *Color Grab* (o un'altra *app* per il riconoscimento dei colori). Nell'esperimento esposto è stato usato uno *smartphone* con sistema operativo *Android*. Sono inoltre necessari una vaschetta con pareti trasparenti (del tipo di quelle usate per i pesci rossi), una sorgente luminosa (come una torcia elettrica o, meglio, un faretto), qualche goccia di latte, oltre alla normale strumentazione da laboratorio scolastico di fisica.

Prima di affrontare l'esperienza è bene che gli studenti abbiano assimilato i concetti basilari riguardanti la propagazione delle onde e in particolare della luce e che conoscano le grandezze fotometriche e le relative unità di misura, con particolare attenzione all'illuminamento.

Per iniziare ad allestire l'esperimento posizionare con aste e piedistallo la torcia elettrica o il faretto in una posizione elevata a un'altezza approssimativamente pari alla metà dell'altezza della vaschetta rispetto al piano di lavoro. A una distanza di almeno 1,50 m dalla torcia posizionare uno schermo bianco verticale delle dimensioni approssimative di un foglio formato A3. Il bordo inferiore dello schermo deve trovarsi sul piano di lavoro, mentre quello superiore dev'essere a un'altezza almeno pari quella della vaschetta.

Posizionare eventualmente un tubo di cartone attorno alla torcia elettrica in modo da fungere da "collimatore" del fascio luminoso.

Se non si usa una lampadina a incandescenza o alogena, è meglio verificare preliminarmente con uno spettrometro tascabile che lo spettro di emissione della sorgente sia *continuo* e non *a righe*. Uno spettro a righe inficerebbe le misure di illuminamento per via del fenomeno della diffusione di Brillouin, che potrebbe variare lo spettro di frequenza e di conseguenza alterare la risposta dello strumento.

Verificare infine che la torcia illumini centralmente lo schermo.

A questo punto è possibile effettuare qualche misura preliminare per prendere confidenza con le applicazioni dello *smartphone*.

Misure preliminari

Scopo delle misure preliminari è verificare l'andamento dell'illuminamento variando la distanza dalla sorgente e trovare la posizione migliore in cui collocare il sensore di luce. Fare in modo che il sensore si trovi il più possibile al centro



Figura 1. Setup dell'esperimento.

del fascio. Nell'esperimento di test è stato utilizzato un *Samsung S6*, che ha il sensore di luce sul lato anteriore, a sinistra dell'altoparlante.

Per verificare quale fra le aperture dell'apparecchio sia il sensore di luminosità, aprire *Light Meter*, orientare lo *smartphone* verso una sorgente di luce e otturare con un dito alternativamente le aperture. Quando viene otturato il sensore, la *app* indicherà una luminosità di zero lux.

È consigliabile fissare lo *smartphone* a un supporto in modo da poter avere le mani libere per compiere tutte le altre operazioni necessarie. Si può utilizzare un supporto da automobile opportunamente adattato.

Collocare e fissare, usando il nastro adesivo, uno dei due metri a nastro sul piano di lavoro, nella direzione sorgente-vaschetta in modo che lo zero coincida con la sorgente di luce (Figura 1).

Nella fase di misurazione spegnere tutte le luci artificiali e oscurare le finestre il più possibile in modo che l'illuminamento misurato dal sensore sia solo quello dovuto alla nostra sorgente. Per verificarlo, si effettua una misura di illuminamento a sorgente spenta: questa risulta di 1 lx, quindi può essere incorporata nei margini di incertezza delle successive misure.

Posizionare la vaschetta piena di acqua di fronte alla sorgente di luce e lo *smartphone* dalla parte opposta. La vaschetta usata per questo esperimento è larga 14 cm e lunga 20 cm ed è stata posizionata con il lato lungo in direzione del fascio di luce. Collocare inizialmente lo *smartphone* a una distanza di 30 cm dalla sorgente e quindi spostare lo *smartphone* in direzione perpendicolare all'asse ottico cercando di collocarlo nel punto con il massimo illuminamento.

Ripetere la misurazione alle distanze di 40, 50, 60, 70 e 80 cm. Le misure di distanza si intendono affette da un'incertezza di 1 cm dovuta a errori di allineamento e parallasse.

Si potrà notare che la misura di luminosità indicata dalla *app* è piuttosto instabile e tende a variare rapidamente nel tempo pur rimanendo in un intervallo limitato di valori.

Queste variazioni, dovute alla eccessiva sensibilità dello strumento, sono anche accentuate dalle increspature della superficie dell'acqua. *Light Meter* fornisce

comunque la media delle misurazioni effettuate. Si procederà quindi azzerando la *app* prima di ogni misura di luminosità e assumendo come valore della misura la media indicata dallo strumento una volta che questa si sia stabilizzata su un valore pressoché fisso.

Si attribuisce al valore della misura così prelevato un'incertezza di ± 5 lx.

Si riportano i dati prelevati sulla Tabella 1.

Distanza (m) $\pm 0,01$	Illuminamento (lx) ± 5
0,30	1084
0,40	481
0,50	309
0,60	207
0,70	160
0,80	125

Tabella 1. Misure di illuminamento al variare della distanza.

Si nota un andamento decrescente della luminosità all'aumentare della distanza dalla sorgente, come è lecito attendersi. Per verificare che tipo di legge lega la luminosità alla distanza, calcoliamo il prodotto delle due grandezze, quindi il prodotto della luminosità per il quadrato della distanza, riportando i risultati nella Tabella 2.

Distanza (m) $\pm 0,01$	Luminosità (lx) ± 5	$d \cdot l$	$d \cdot l^2$
0,30	1084	325	98
0,40	481	192	77
0,50	309	155	77
0,60	207	124	75
0,70	160	112	78
0,80	125	100	80

Tabella 2. Ricerca della proporzionalità fra illuminamento e distanza.

Con l'eccezione del primo valore, negli altri casi si nota che, entro le incertezze sperimentali, la luminosità risulta inversamente proporzionale al quadrato della distanza.

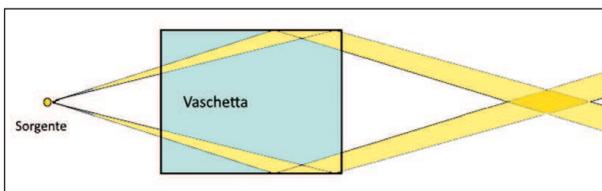


Figura 2. Schematizzazione della riflessione totale sulle pareti laterali della vaschetta.

Il primo dato non è in accordo con questa relazione per via dei raggi riflessi totalmente dalle pareti della vaschetta (si veda in proposito la Figura 2). Si decide pertanto di prendere la distanza di 0,40 m dalla sorgente come riferimento per le misure successive in quanto è sufficientemente vicina alla sorgente ma non risente dei fenomeni di riflessione totale.

Misure di illuminamento in presenza di diffusione

A questo punto inizia l'esperimento vero e proprio. Per accentuare il fenomeno della diffusione della luce, si verserà un numero progressivamente crescente di gocce di latte nella vaschetta di acqua (Figura 3) e ogni volta si misurerà l'illuminamento nella posizione precedentemente stabilita e in una posizione fissata nella direzione perpendicolare all'asse ottico, a una distanza di 10 cm dalla parete della vaschetta.

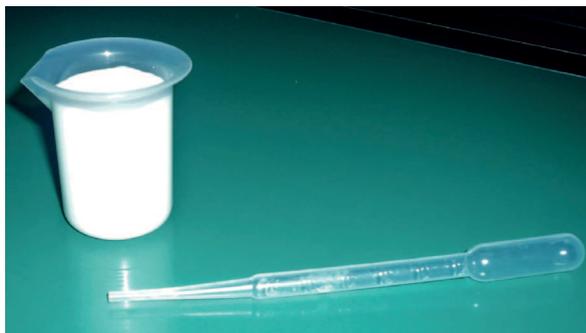


Figura 3. Becher con latte e contagocce.

Ogni volta che si verserà, con un contagocce, un'ulteriore quantità di latte, si avrà cura di rimescolare il contenuto nella vaschetta in modo che questo risulti uniforme.

Come stabilito in precedenza, ogni misura di illuminamento verrà effettuata azzerando la *app* e prelevando il valore medio nel tempo una volta che questo si sia stabilizzato.

Nel caso della seconda misura, i valori sono molto più bassi dei precedenti e meno soggetti a fluttuazioni casuali, si riduce pertanto l'incertezza a 2 lx.

I dati ottenuti sono riportati nella Tabella 3.

Numero di gocce di latte nella vaschetta	Illuminamento a 40 cm dalla sorgente (lx) ± 5 lx	Illuminamento a 10 cm dalla vaschetta in direzione perpendicolare all'asse ottico (lx) ± 2 lx
0	481	1
1	415	10
5	360	15
10	234	19
15	160	23
20	109	26

Tabella 3. Illuminamento in presenza di diffusione.

Come si può notare la diffusione della luce in direzione perpendicolare in assenza di gocce di latte è praticamente nulla (considerando che 1 lx coincide con il valore di illuminamento del rumore di fondo).

Si nota pertanto che la luce che raggiunge il sensore lungo l'asse ottico diminuisce progressivamente all'aumentare del latte presente nella vaschetta e al contempo aumenta la quantità di luce diffusa nella direzione perpendicolare. Nelle fasi successive dell'esperimento si cercheranno di individuare due particolarità della luce diffusa: la polarizzazione e la lunghezza d'onda (e quindi il colore).

Polarizzazione della luce diffusa

Mantenendo il numero di 20 gocce di latte nella vaschetta, posizioniamo un filtro polarizzatore di fronte al sensore di luce dello *smartphone* e posizioniamo lo *smartphone* perpendicolarmente all'asse ottico, alla distanza di 10 cm dalla parete della vaschetta.

Prima di effettuare la misura quantitativa si può osservare qualitativamente che ruotando il filtro polarizzatore la luminosità della luce diffusa varia sensibilmente.

Misurando l'illuminamento percepito dal sensore a diversi angoli, possiamo verificare che la luce è polarizzata linearmente ed entro i limiti sperimentali verifica la legge di Malus.

Considerando che il valore minimo di illuminamento misurato è 14 lx e quello massimo è 22 lx, si ipotizza un adattamento alla funzione:

$$I = I_0 + I_1 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

con:

$$I_0 = 14 \text{ lx}$$

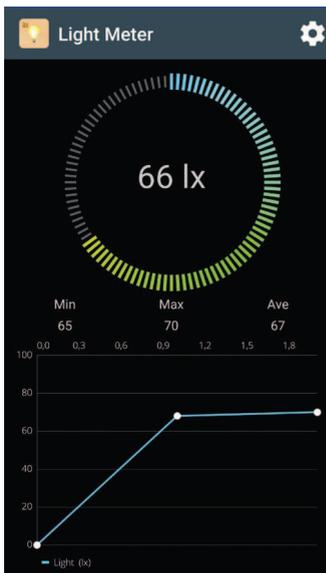
$$I_1 = 8 \text{ lx}$$

dove I_0 rappresenta l'illuminamento di fondo, costituito da luce non polarizzata, mentre I_1 è la massima intensità della luce diffusa polarizzata.

Nella Tabella 4 si riportano i punti misurati sperimentalmente a diversi angoli di rotazione del filtro polarizzatore rispetto a una direzione di riferimento e il valore calcolato con la funzione (1).

Angolo (θ°)	Illuminamento (lx) $\pm 2 \text{ lx}$	$[14 + 8 \cdot \cos^2(\theta)]$ (lx)
0°	22	22
30°	19	20
45°	15	18
60°	14	16
90°	14	14
135°	19	18

Tabella 4. Studio della polarizzazione della luce diffusa a 90° rispetto alla direzione della sorgente.



Schermata di *Light Meter*.

Considerando le incertezze sperimentali si può concludere che i dati sono in buon accordo con le previsioni, come si può evincere anche dal grafico (Figura 4).

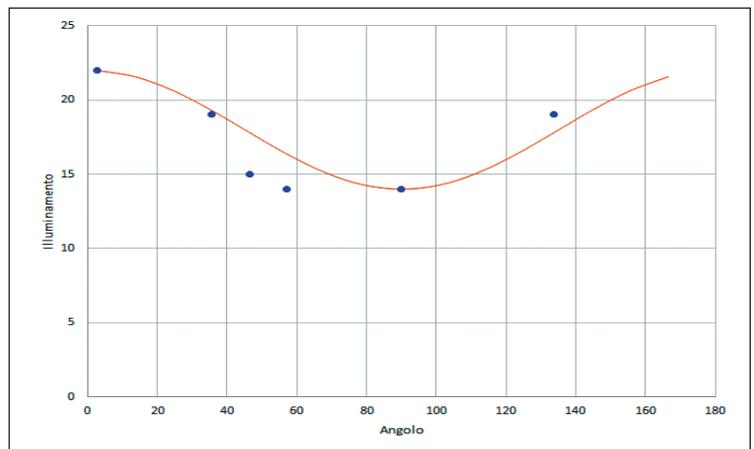


Figura 4. Illuminamento in funzione dell'angolo del filtro polarizzatore. In arancione la funzione di riferimento secondo la legge di Malus.

Si può pertanto concludere che la luce diffusa in direzione perpendicolare alla sorgente è in parte polarizzata linearmente.

Colore della luce diffusa e non diffusa

Sullo schermo che abbiamo posizionato all'inizio dell'esperimento di fronte alla sorgente luminosa verrà proiettata la luce che non subisce la diffusione da parte del liquido contenuto nella vaschetta.

Si può osservare che prima di iniziare a versare gocce di latte nella vaschetta la luce proiettata sullo schermo è di colore bianco. Per averne una conferma più oggettiva possiamo inquadrare lo schermo con l'obiettivo dello *smartphone* e analizzare l'immagine con una *app* di riconoscimento cromatico (per es. *ColorGrab*).

Questa operazione conferma che il colore della luce che arriva sullo schermo è bianco (Figura 5).

Quando invece la vaschetta contiene 20 gocce di latte, la luce proiettata sullo schermo vira visibilmente verso la parte dello spettro con frequenza minore (colori rosso-arancioni). Il fenomeno viene confermato da *ColorGrab* (Figura 6).

Si può dunque concludere che la luce non diffusa contiene una maggiore quantità di radiazioni con bassa frequenza, di conseguenza la luce diffusa privilegia le frequenze elevate (luce azzurra). Questa esperienza spiega ad esempio il colore rosso-arancione del sole al momento del tramonto, quando i raggi solari attraversano una quantità maggiore di aria e sono pertanto soggetti a una maggiore diffusione.

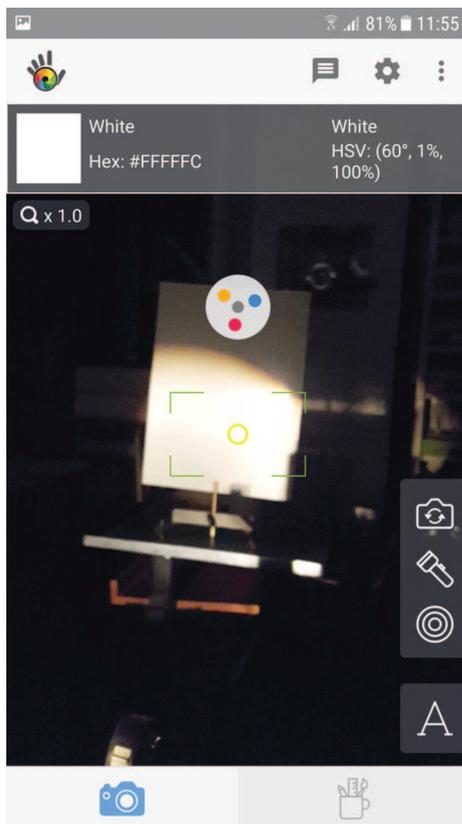


Figura 5. Schermata di *ColorGrab* che inquadra lo schermo su cui è proiettata la luce che attraversa la vaschetta senza gocce di latte.

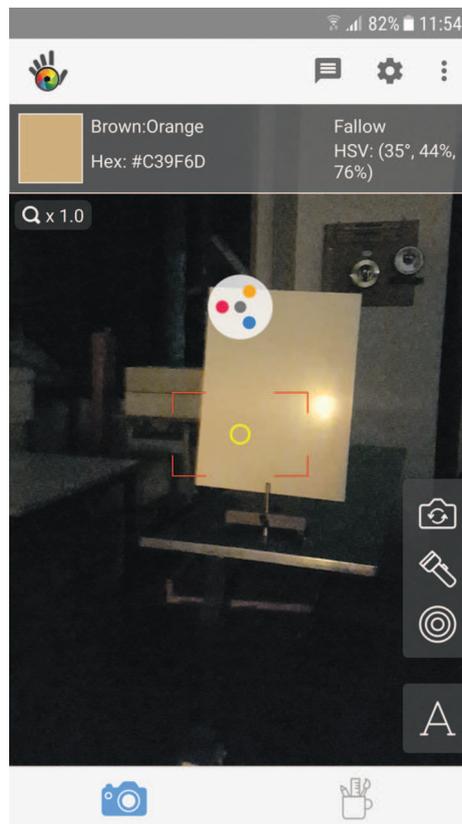


Figura 6. Schermata di *ColorGrab* che inquadra lo schermo su cui è proiettata la luce che attraversa la vaschetta contenente 20 gocce di latte.

Note e storia

L'esperimento trae ispirazione dal progetto *Science Smart Kit*. Tale progetto è stato presentato al 55° congresso nazionale dell'AIF (2016) ed è risultato tra i vincitori del bando del MIUR "Nuove idee per la didattica laboratoriale nei Licei Scientifici". È stato portato a compimento negli anni 2016-17 da un *team* di insegnanti dei Licei "Torricelli-Ballardini" (Faenza), "F.P. di Calboli" (Forlì) e "Fermi" (Alghero). Esso comprende un *kit* di "accessori" per *smartphone* per realizzare attività di laboratorio di fisica, di scienze, chimica e matematica, schede per studenti e docenti, e ha previsto iniziative di aggiornamento e formazione docenti. Alcuni degli esperimenti del progetto sono disponibili sulla piattaforma "Fare Laboratorio – LS-OSA" all'indirizzo: ls-osa.uniroma3.it.

Il presente esperimento, pur non essendone parte integrante, sfrutta il *know-how* maturato in tale esperienza.

Bibliografia

M. MONTEIRO, C. STARI, C. CABEZA, A.C. MARTÍ, "The Polarization of Light and Malus' Law Using Smartphones", *The Physics Teacher*, 55, 264 (2017);
 F.S. CRAWFORD, "La fisica di Berkeley, Onde e oscillazioni", vol. 3, Zanichelli, Bologna, 1972, pagg. 391, 449.

Sitografia

CASINI, G. SORBARA, M. PATELLA, F. "Diffusione della Luce", Università Tor Vergata di Roma (ldfm.roma2.infn.it/new/materiale/presentazioni.html)
Light Meter: play.google.com/store/apps/details?id=com.tsang.alan.lightmeter
Color Grab: play.google.com/store/apps/details?id=com.loomatix.colorgrab

**Nessuna domanda? Nessuna risposta!¹**

**Esame orale 2019. Il gioco delle 3 ... buste.
 Spunto sul vivo² in punta di lingua.**

¹ **Nota sulle cose non note**

Nella prima parte del colloquio il candidato si confronta con una situazione "non nota".

Cosa non deve contenere la busta: domande, serie di domande, argomenti, riferimenti a discipline.

Indicazioni della Commissione tecnica del Miur per la conduzione del Colloquio: [www.campania.istruzione.it/allegati/2019/Materiale Formazione USR Campania Esami di Stato_Seconda Fase_aprile 2019.zip](http://www.campania.istruzione.it/allegati/2019/Materiale%20Formazione%20USR%20Campania%20Esami%20di%20Stato_Seconda%20Fase_aprile%202019.zip)

The second clue: No question? No answer!

John Archibald Wheeler, *Information, Physics, Quantum: The Search for links*, Proc. 3rd Int. Symp. Foundations of Quantum Mechanics, Tokyo, 1989, pp. 354-368 (cqi.inf.usi.ch/qic/wheeler.pdf).

Versione in italiano: J.A. Wheeler, *Potremo mai arrivare a comprendere l'esistenza?*, Nuova Civiltà delle Macchine, 4 (32), 1990, pp. 31-47.

² Dicesi in buro-gergo: "in situazione".

Riccardo Urigu