I colori del prisma, quelli delle pellicole di sapone ed altri ancora

Pietro Cerreta, Associazione ScienzaViva, Calitri (Av)
p.cerreta13@gmail.com

1. I fenomeni dei colori, belli per gli occhi, il cuore e la mente di chi osserva

Quando viene forzata a rivelarsi nella sua più intima realtà, la luce si manifesta attraverso i colori. E' il caso del prisma, delle pellicole di sapone e di tanti altri materiali allorché vengono illuminati dal sole o da sorgenti di luce artificiali. Questi fenomeni, presi nell'insieme come punto di partenza, offrono un'interessante opportunità educativa perché spingono chi li osserva a considerare le loro differenze e le loro somiglianze. La riflessione, la rifrazione, l'interferenza, la diffrazione, la birifrangenza, l'assorbimento, ecc., a cui bisogna riferirsi per spiegarli, non risultano più una successione di argomenti libreschi, ma ciò che a aiuta a comprendere la meravigliosa molteplicità della bellezza offerta dai colori della natura. Ciò ha ispirato un mio progetto che è stato presentato a «Science on Stage», il festival dell'insegnamento scientifico europeo svoltosi a Londra nell' estate del 2015, col titolo «L'educazione scientifica attraverso i colori».

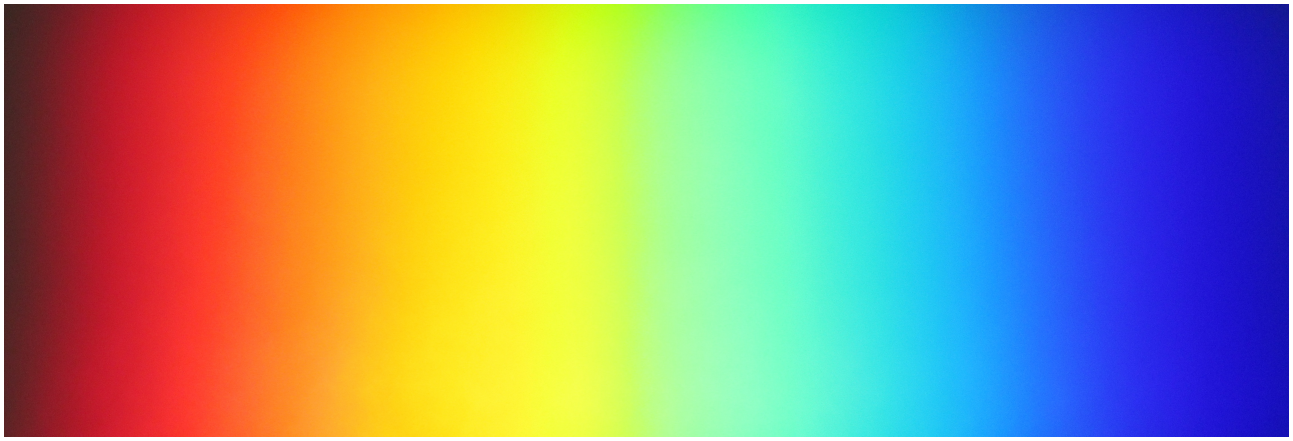

Figura 1. Spettro solare con un comune prisma di vetro

Mi ha mosso il desiderio di indicare una strada interessante ai docenti carenti di esperienze didattiche, in modo particolare a quelli alle prime armi.
Per non intimidirli, ho cercato di evitare quando più possibile il ricorso ad apparecchiature complicate, preferendo aggeggi realizzati con materiali di facile reperibilità e che richiedono di compiere gesti semplici.
Per ogni esperienza proposta indico un video della raccolta presente sul sito dell'Associazione ScienzaViva http://www.scienzaviva.it/Edu_scient_con_colori_2015.php .
Il primo argomento è quello dei colori del prisma, su come mostrarli dal vero, perché è incantevole vederli balenare al naturale su una parete o su un tavolo, vividi ed intensi (fig. 1). In secondo luogo, viene descritto come osservare i colori cangianti di lamine d'acqua saponata, adoperando come sfondo opportuni box neri. E' utile notare che questi colori, benché si manifestino come strisce iridescenti, non sono identici a quelli del prisma. Le loro proprietà sono completamente diverse, tuttavia hanno una relazione di fondo con essi che può essere scoperta. Inoltre, volendo, le loro strisce si trasformano in vere e proprie pitture cinetiche che talvolta assumono anche un aspetto vorticoso; si tratta di agire sullo spessore della lamina o con un soffio o col calore. Viene indicato anche un altro modo di forzare la luce a mostrare i suoi colori adoperando due filtri di polarizzazione. Bisogna di metterli a mo' di sandwich su strisce di nastro adesivo, dopo aver attaccato queste ultime ad una lastrina di vetro. Ne emergono mosaici stupendi, le cui singole tessere cambiano di colore, se chi agisce fa ruotare uno dei filtri.
A questo gruppo di esperienze si aggiunge, infine, la ben nota tecnica della rimozione dei colori, facendo passare la luce solare attraverso gelatine colorate, ma anche attraverso filtri dicroici, i quali eliminano i colori non voluti riflettendoli come fa uno specchio. Per chi volesse vedere in sintesi di cosa tratta questo progetto, suggerisco il video *Science Education through colours* pubblicato da Science on Stage su youtube https://www.youtube.com/watch?v=nX-g0a0crYE .

2. I «famosi[1]» colori del prisma

Figura 2. I colori col prisma, senza fenditura

Quando si tratta di esibire i colori della luce o, come si suol dire, il suo spettro, l'oggetto che viene subito in mente è il prisma. Tuttavia, nonostante la sua notorietà, pare che i docenti finora non ne abbiano largamente fatto uso, forse perché fino a poco tempo fa era difficile procurarselo. Lo si vendeva infatti solo in negozi specializzati e nelle grandi città. Oggi le cose sono cambiate. Un buon prisma di vetro è possibile acquistarlo online e riceverlo a casa per pochissimi euro. Un altro impedimento sembra esser stato il precetto, peraltro molto diffuso, che il prisma da solo non basti a mostrare i colori della luce solare che invade una stanza attraverso una finestra. Si richiede invece che tale luce passi prima attraverso una fenditura, ne esca come un sottile fascio e vada in tal guisa ad incidere solo su una piccola parte del vetro del prisma. Per di più, si raccomanda che tutto ciò accada in una stanza buia.
Realizzare con diligenza queste condizioni sperimentali, per esempio in una comune aula scolastica, può creare molti problemi, se chi si ingegna in tale opera non ne possiede i mezzi e l'abilità.
Spesso, presi dal timore di perforare indebitamente una tapparella o di non saper costruire una fenditura adatta, si preferisce rinunciare ad assaporare la meraviglia dei famosi fenomeni dei colori e ci si accontenta della figura del libro di testo. Se però qualcuno provasse a trasgredire alle rigide indicazioni sulla fenditura ed esponesse il prisma, così com'è, alla luce diretta del sole che entra dalla finestra più prossima, senza neppure oscurare l'aula del tutto(fig.2), si stupirebbe di ottenere risultati sperimentali molto buoni e quasi identici a quelli ottenibili secondo le regole precise delle suddette prescrizioni . L'unica cura da adottare, in tal caso, sarebbe quella di orientare in modo opportuno il prisma (fig. 3); ad esempio, collocando innanzitutto l'oggetto su un tavolo e poi facendolo ruotare, a poco a poco, in modo tale che la luce del sole vada ad incidere proprio su un suo vertice. Lo si può esaminare, ad esempio, nel video http://www.scienzaviva.it/video_008-15.php. in cui la dispersione dei colori risulta ancora più evidente per l'impiego di due prismi, l'uno messo appreso altro, cioè mediante due successive rifrazioni. Una migliore percezione della dispersione della luce solare può essere ottenuta se il prisma lo si colloca su un cartoncino nero. In tal caso, il controllo dei colori emergenti dal vetro può essere affidato alla rotazione del cartoncino mediante il semplice movimento di due polpastrelli della mano.

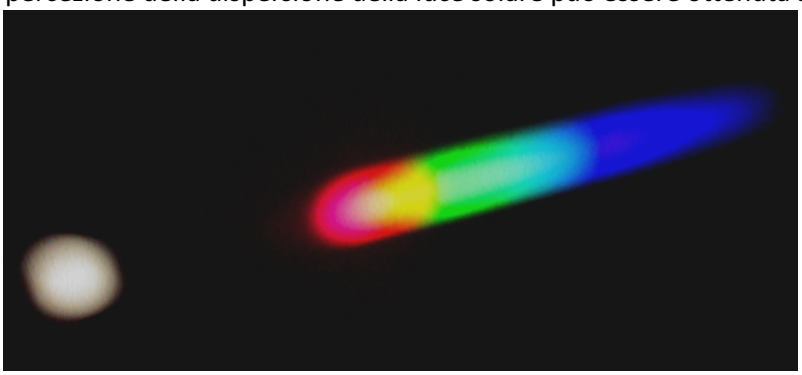

Figura 3. Altro uso del prisma, senza fenditura: lo spetto del sole in forma di ovali colorati di eccentricità crescente

E se il sole non c'è?
Allora bisogna costruirsi un dispositivo adatto, nel quale sia per esempio una lampada alogena a filamento verticale ad emettere la luce http://www.scienzaviva.it/video_003-15.php . È interessante notare che lo spettro ottenuto con la lampada non è molto diverso da quello di prima, ottenuto invece con la luce solare. Questa volta, però, come si vede dalle

[1] Famosi, lo scriveva I. Newton ad H. Oldenburg, Segretario della Royal Society di Londra, nel 1792 ne "La nuova Teoria della luce e dei Colori", A Letter of Mr. Isaac Newton[…] containing His New Theory about Light and Colours, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, No. 80 (19 Feb. 1671/2), p. 3075.

immagini del video, non si può fare a meno di un contenitore in cui sia praticata una fenditura. Di questo dispositivo si mostrano le caratteristiche ma, per la sua complessità, se ne suggerisce la realizzazione solo a chi è in grado di mettere le mani su attrezzature artigiane.

3. Pitture cinetiche con pellicole colorate di sapone

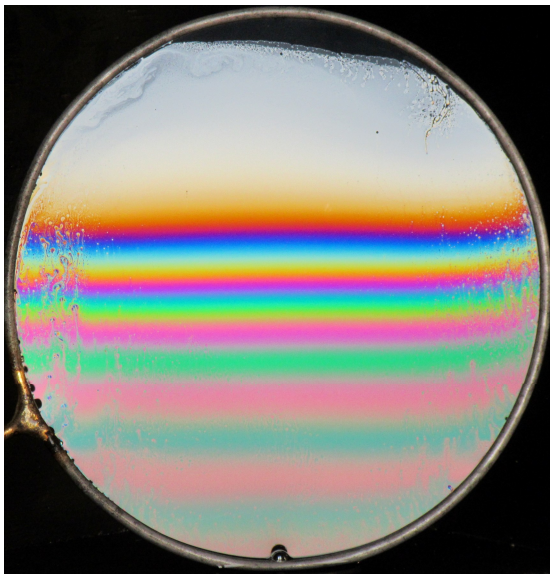

Figura 4. I colori di una pellicola di sapone

Quando osserviamo una bolla di sapone, siamo spesso attratti dalla sua stupefacente geometria sferica o dalla sua insospettabile elasticità, molto più di rado dai suoi colori. Ciò dipende dal fatto che questi, in genere, non sono di percezione immediata, sia perché compaiono tardi, quando la bolla sta per scoppiare, sia perché vengono sovrastati dalle luci delle lampade o delle finestre che dominano l'ambiente.
È dunque necessario che la pellicola duri abbastanza a lungo e che la si osservi su uno sfondo scuro il quale assorba le luci disturbanti (fig. 4).
Diversamente da quanto accade col prisma, i colori delle bolle di sapone non vengono prodotti per rifrazione ma per interferenza di luce riflessa da due superfici vicine, la superficie esterna e la superficie interna della pellicola. Quest'ultima può considerarsi, a tutti gli effetti, di sandwich di acqua saponata, con le molecole di sapone poste all'esterno e l'acqua all'interno. Poiché l'acqua tende a scendere giù per gravità, il sandwich a cui somiglia la pellicola tende a stringersi sopra e ad allargarsi sotto. Si veda ad esempio il video di ScienzaViva http://www.scienzaviva.it/video_010-15.php . Dunque, andando dall'alto verso il basso lungo questa specie di cuneo, il cammino ottico dei raggi di luce nell'acqua aumenta progressivamente. Pertanto, le onde dal rosso al violetto di cui la luce incidente è composta non trovano le stesse condizioni d'interferenza in ogni punto della pellicola e sopra di questa compaiono una molteplicità di striscioline colorate orizzontali. Infatti, certi colori delle onde incidenti si rafforzano con l'interferenza in alcune zone, diventando più brillanti, mentre scompaiono, lasciando il posto ai colori ad essi complementari, in altre. Ne risulta che alle due zone iniziali, nera e biancastra che si notano nella foto precedente, seguono vivaci bande di colori differenti e non tutti spettrali. Essi si alternano e si susseguono scendendo progressivamente verso il basso, a seconda di come si va allargando la base del cuneo. Quando la distanza tra le due facce del sandwich si riduce troppo, la pellicola si rompe.

Figura 5. Pitture cinetiche su una pellicola di sapone

Per una migliore distinzione di questi fenomeni, piuttosto che bolle rotonde di acqua saponata, è opportuno esaminare pellicole a forma di lamina piana. Questa può essere orientata più comodamente verso la luce incidente. Nella soluzione è preferibile versare della glicerina che rende queste delicate strutture maggiormente durevoli (ad esempio, adottando una delle seguenti proporzioni: acqua 100 cc, detersivo liquido 10 cc e glicerina 10 cc). Le lamine di cui si parla vengono prodotte semplicemente immergendo un telaio cavo nel recipiente della soluzione. Tali supporti possono essere fori aventi una sagoma qualsiasi.
A volte si usano cavità circolari già belle e fatte, come i boccagli di bottiglie di plastica o di contenitori di prodotti commerciali. Spesso però si preferisce realizzare anelli di ferro filato. Per osservare meglio i feno-

meni che avvengono sulle lamine è consigliabile che detti anelli abbiano il diametro di una decina di centimetri e un manico sufficientemente lungo per poterli immergere nell'acqua saponata, ma senza bagnarsi le mani. Lo stesso manico si rivelerà poi utile ad orientare le superfici delle lamine verso la luce e ad esplorare cosa accade in varie situazioni. Se si soffia delicatamente sulla loro superficie, le lamine si deformano leggermente, cioè il loro spessore cambia localmente.

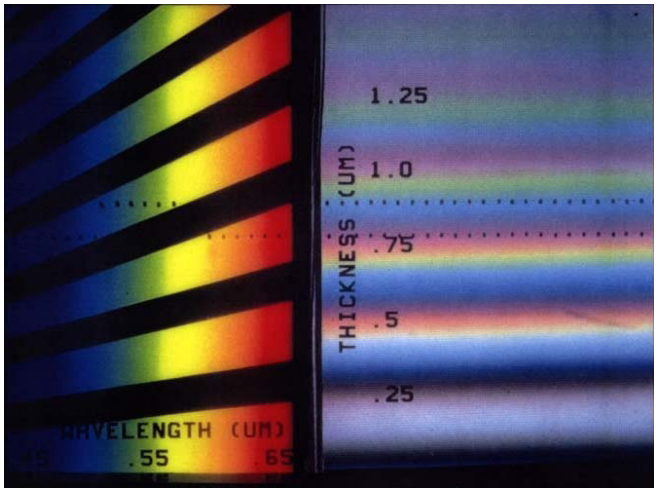

Figura 6. Relazione tra i colori del prisma e quelli delle pellicole di sapone

Di conseguenza, l'intero sistema delle strisce colorate si modifica, facendo riapparire in alto colori che ormai, per lo scorrimento dell'acqua, erano scesi verso il basso.
Se invece è il calore a perturbare l'equilibrio della struttura laminare, ad esempio quello che è transitato dai polpastrelli della mano al telaio metallico che la regge, nell'acqua del cuneo si inducono moti convettivi e, per analoghe ragioni, si manifestano agli occhi di chi osserva bellissimi vortici colorati (fig. 5). Dette figure vorticose si fermano solo quando la mano viene staccata dal telaio.
http://www.scienzaviva.it/video_004-15.php ; http://www.scienzaviva.it/video_013-15.php;
E' interessante risalire al collegamento tra i colori del prisma e quelli della lamina saponata. A tal fine si suggerisce l'attività proposta da P. Doherty dell'Exploratorium di San Francisco che consiste nel tracciare sullo spettro della luce bianca delle strisce nere oblique, ossia cancellare parzialmente i colori nel riquadro sinistro della figura (fig. 6), ottenendo come conseguenza quelli a fianco, che sono tipici delle lamine di acqua saponata[2]. Prendendo spunto da queste attività ho realizzato un modellino per la spiegazione dell'interferenza delle onde provenienti dalle due superfici vicine, esterna e interna, della lamina di cui si è detto all'inizio di questo paragrafo.

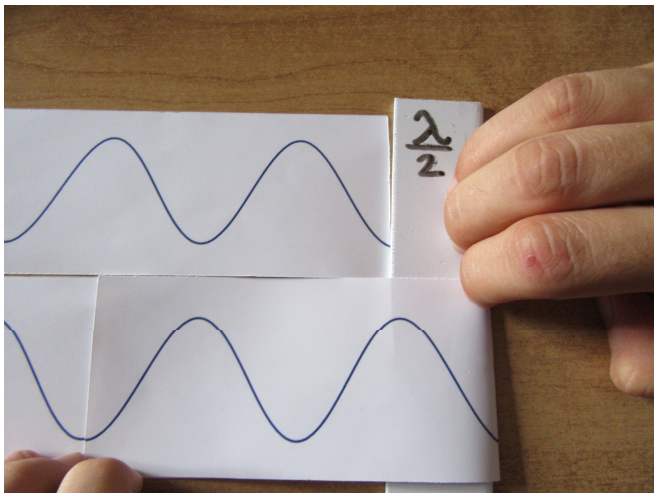

Figura 7. Modello didattico per spiegare l' interferenza

Nella foto accanto (fig.7) viene mostrato qualitativamente come avviene l'interferenza distruttiva del colore blu allorché le due superfici distano solo di mezza lunghezza d'onda. La striscia di forex a destra, su cui c'è la scritta λ/2 e che appare sotto le tre dita della mano nella foto accanto, rappresenta lo spessore della lamina in questione; la sinusoide superiore rappresenta invece l'onda riflessa sulla superficie esterna della lamina, essa è stata ribaltata *dall'alto in basso* perché nella riflessione su un mezzo più rifrangente dell'aria l'onda riflessa subisce lo sfasamento di 180°; mentre la sinusoide inferiore rappresenta l'onda riflessa sulla superficie interna; essa non viene sfasata e pertanto basta piegarla per rappresentare come torna indietro. Si noti che il ribaltamento della sinusoide, questa volta, avviene *lateralmente*.

4. I mosaici colorati di luce polarizzata e la rimozione di colori con filtri dicroici

I mosaici colorati di luce polarizzata sono descritti abbastanza ampiamente dai video di ScienzaViva: http://www.scienzaviva.it/video_005-15.php , http://www.scienzaviva.it/video_011-15.php e http://www.scienzaviva.it/video_002-15.php.

[2] http://www.exo.net/~pauld/summer_institute/summer_day8interference/Soap%20_film_Colors.html
http://www.exo.net/~pauld/summer_institute/summer_day8interference/Soap_film_Interference

Qui si fornisce solo una breve spiegazione dei fenomeni. Quando la luce incide sul primo filtro di polarizzazione, le onde di varia lunghezza d'onda in essa contenute, i colori per intenderci meglio, escono dal filtro vibrando tutte in piani paralleli.
Così orientate, giungono subito appresso sull'insieme delle strisce incrociate di nastro adesivo attaccate ad un lastrina di vetro.

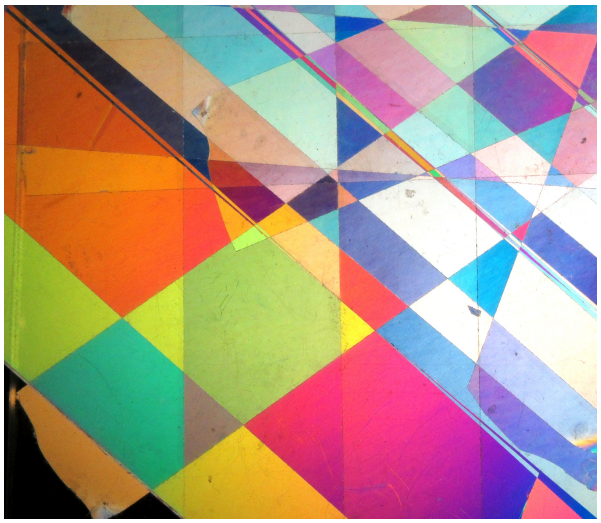

Figura 8. Mosaico di luce polarizzata

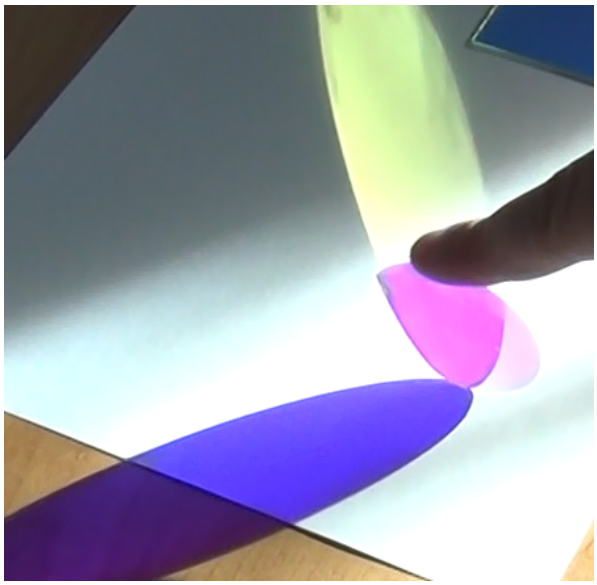

Figura 9. La rimozione del colore con un filtro dicroico

Ma il cellophane è birifrangente! Ed è proprio a causa della birifrangenza che le due componenti di ogni onda, quella parallela alla lunghezza di una striscia di nastro e quella ad essa perpendicolare, sono costrette a viaggiare a differenti velocità.
All'uscita dal nastro, insomma, il piano di vibrazione di ciascuna onda si ritrova ad essere non più parallelo a quello in ingresso. Il rosso e il blu, ad esempio, che erano entrati insieme nel cellophane vibrando parallelamente, ora vibrano in piani angolati l'uno rispetto all'altro. Più aumenta lo spessore del nastro, maggiore è l'angolo che li separa.
Pertanto, ogni colore che esce dalle strisce incrociate di nastro adesivo risulta ruotato rispetto al piano in cui era entrato. Ora, il secondo filtro, di questi colori, fa passare solo quelli che vibrano paralleli al suo asse. Ne emerge così un'insieme di tessere colorate come quelle di un mosaico (fig. 8).
Se detto filtro viene fatto ruotare, il colore di ciascuna tessera cambierà, dando al mosaico un'altra configurazione cromatica.
Infine, si accenna alla rimozione della luce con filtri dicroici (fig. 9) rinviando ad alcuni esempi che concludono il video di youtube citato in precedenza
https://www.youtube.com/watch?v=nX-g0a0crYE .
I filtri dicroici sono fatti di vetro e trasmettono solo determinate lunghezze d'onda della luce e riflettono tutte le altre. Essi possono essere quindi usati anche come "specchi" colorati. Il loro funzionamento, infatti, si basa su una selezione del colore effettuata mediante l'interferenza che avviene in strati molto sottili di materiali speciali depositati sul vetro, il cui risultato è quello far passare il colore voluto e di rinviare indietro tutto ciò che è complementare. Ciò ha il vantaggio di evitare l'assorbimento, che invece avviene nei filtri tradizionali, e il conseguente riscaldamento.

This document was created with Win2PDF available at http://www.win2pdf.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.