

SGUARDI SULLA LUCE

UN PERCORSO TRA SCIENZE, GEOMETRIA E TECNOLOGIA

di Giacomo Bella, Nicola De Bei, Chiara Mazzeo *

Gli autori presentano un percorso pluridisciplinare sulla luce, costruito con una profonda e impegnativa condivisione del lavoro, nel rispetto delle caratteristiche di metodo delle diverse discipline. A partire dall'osservazione, condivisa e partecipata, di fenomeni naturali presenti nell'esperienza quotidiana, hanno guidato gli studenti a realizzare esperimenti di ottica per osservare e descrivere in un ambiente controllato i fenomeni che erano stati osservati, interpretandoli anche con il linguaggio della geometria. Il lavoro è stato arricchito dall'attività di progettazione e realizzazione di strumenti, significativi anche dal punto di vista storico: un «fare» che richiede «conoscenze» per acquisire «nuove conoscenze».

Giacomo Bella
(Insegnante di Matematica e Scienze),

Nicola De Bei
(Insegnante di Tecnologia),

Chiara Mazzeo
(Insegnante di Matematica e Scienze) presso la Scuola Secondaria di Primo Grado "A. Mandel- li" di Milano.

Il percorso sulla luce è iniziato alla fine dell'anno scolastico 2020-2021, quando abbiamo chiesto ai ragazzi di prestare attenzione ed eventualmente fotografare, nel corso delle vacanze estive 2021, situazioni in cui la luce è protagonista, come ombre, riflessione di paesaggi o di oggetti sull'acqua o su specchi, colori del cielo, arcobaleni, ... Abbiamo inoltre chiesto loro di scegliere un effetto della luce che avesse suscitato in modo particolare il loro interesse o la loro curiosità, e di descriverlo, senza però darne una spiegazione.

Al rientro a scuola, dopo la pausa estiva, le fotografie, le osservazioni e le descrizioni dei ragazzi sono state condivise; con la nostra guida i ragazzi hanno riconosciuto gli aspetti comuni presenti nelle fotografie, hanno individuato alcuni fenomeni e hanno formulato domande.

A conclusione di questa fase del lavoro, abbiamo concentrato la nostra attenzione sui seguenti fenomeni: la luce si propaga in modo rettilineo; la luce si riflette; la luce cambia direzione nel passaggio da un mezzo trasparente a un altro, cioè si rifrange; la luce bianca si scompone in componenti di diverso colore; il cielo, azzurro durante il giorno, assume colorazioni differenti soprattutto all'alba e al tramonto.

Lo studio di questi fenomeni e la risposta alle domande nate dalla loro osservazione hanno orientato il lavoro di Scienze durante i primi mesi dell'anno scolastico. Nelle diverse fasi del percorso durante le ore di Tecnologia i ragazzi hanno progettato e realizzato molti degli strumenti e degli apparati che sono stati utilizzati per le attività sperimentali.

A questo [link](#) è presente la *documentazione fotografica* delle attività svolte nel laboratorio di Tecnologia.



La luce si propaga per raggi: ombre e camera oscura

Alcune fotografie raccolte dai ragazzi durante l'estate riportavano immagini delle zone d'ombra e di luce che si formano in diverse situazioni (Figura 1).

In laboratorio quindi abbiamo preso in considerazione la formazione delle ombre che si proiettano su uno schermo quando un oggetto opaco viene illuminato da una sorgente puntiforme e, successivamente, da una sorgente estesa. In particolare, abbiamo osservato e confrontato le ombre proiettate su una parete, prima illuminando un ostacolo con la luce di una piccola torcia LED e poi illuminando lo stesso ostacolo con la luce emessa dallo schermo di un iPad.

Per spiegare la formazione dell'ombra e della penombra abbiamo messo in evidenza il fatto che, come si può osservare per esempio quando la luce solare filtra tra le nuvole o tra i rami di un bosco, è ragionevole pensare che la luce si propaghi in linea retta; in altri termini che sia ragionevole adottare il modello dei raggi di luce (Figura 2).



Figura 1

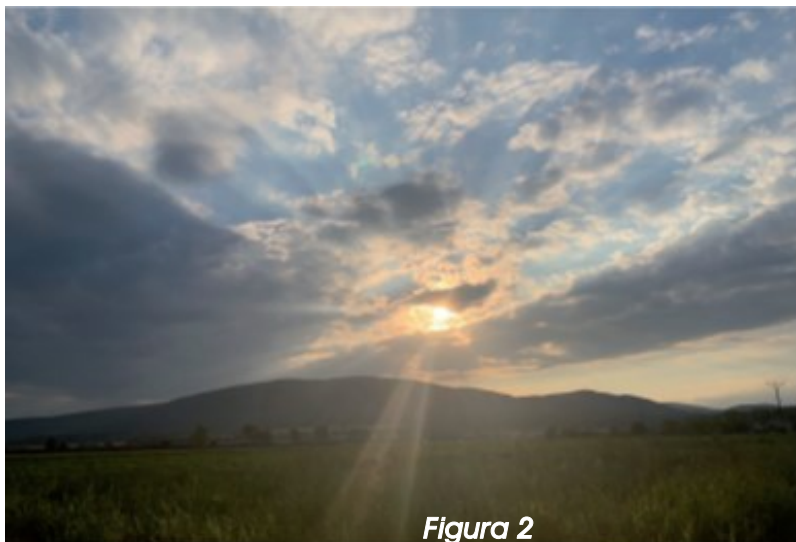


Figura 2

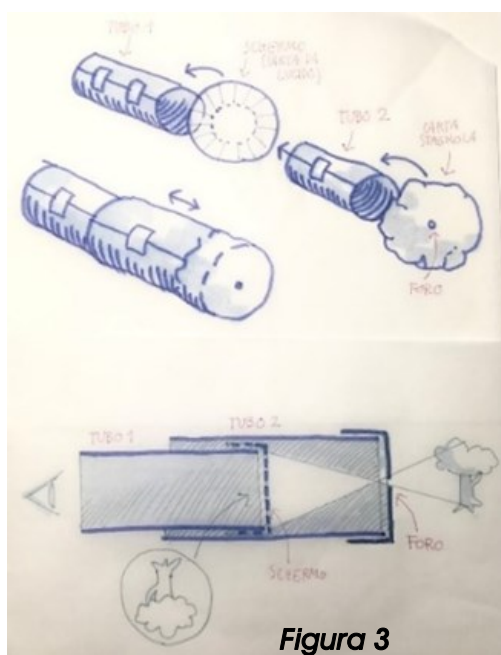


Figura 3

I ragazzi hanno quindi costruito una camera oscura, dispositivo il cui funzionamento si basa appunto sulla propagazione rettilinea della luce; nella Figura 3 è riportato il progetto per la sua realizzazione.

Utilizzando la camera oscura gli studenti hanno osservato oggetti presenti in classe e discutendo tra di loro e con noi sono giunti a queste conclusioni: sullo schermo appare un'immagine nitida dell'oggetto osservato; l'immagine è capovolta; aumentando la distanza tra lo schermo e il foro le dimensioni dell'immagine aumentano.

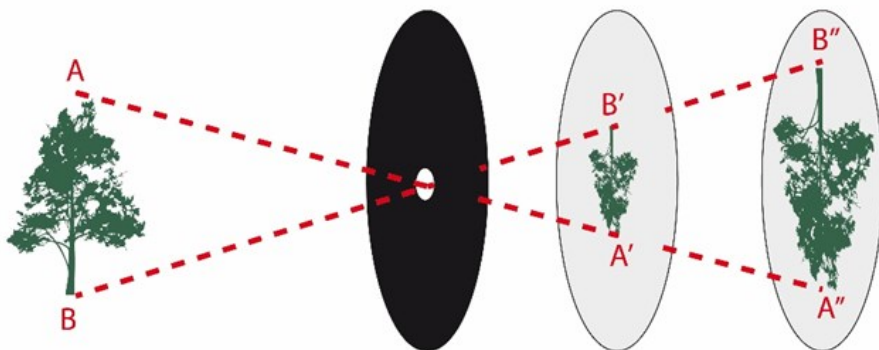


Figura 4

Per spiegare queste osservazioni, abbiamo utilizzato il modello della luce come insieme di raggi che si propagano in linea retta. I raggi di luce che colpiscono un oggetto AB vengono riflessi da ogni punto dell'oggetto in tutte le direzioni. Soltanto un raggio tra quelli riflessi da un dato punto dell'oggetto passa attraverso il piccolo foro della camera oscura e raggiunge lo schermo traslucido; lo stesso accade per tutti i punti dell'oggetto illuminato. Sullo schermo traslucido si forma così un'immagine dell'oggetto che, come mostra lo schema della Figura 4, è capovolta. Lo schema mostra inoltre che, proprio a causa della propagazione rettilinea della luce, l'immagine è tanto più grande quanto più lo schermo traslucido è lontano dal foro di entrata dei raggi.

Abbiamo poi osservato che, ingrandendo il foro di ingresso dei raggi nella camera oscura, il contorno dell'immagine sullo schermo appare meno definito e più sfumato; questo è dovuto al fatto che in questo caso nella camera oscura possono entrare più raggi di luce provenienti da un medesimo punto dell'oggetto con direzioni leggermente diverse.

Nella Figura 5 è riportato lo schizzo della camera oscura tratto dal quaderno di uno studente.

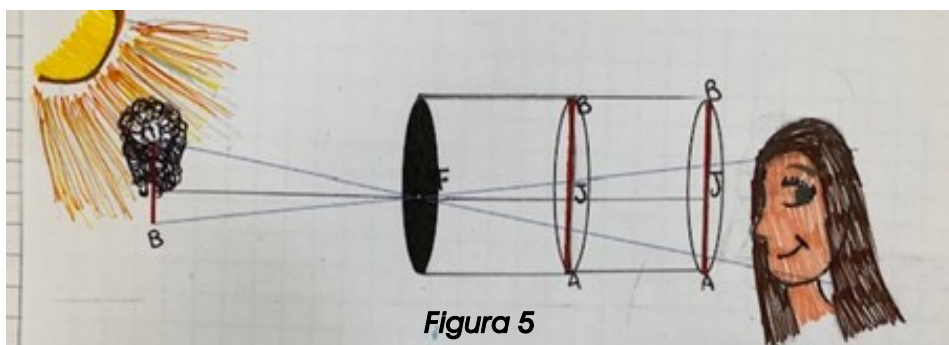
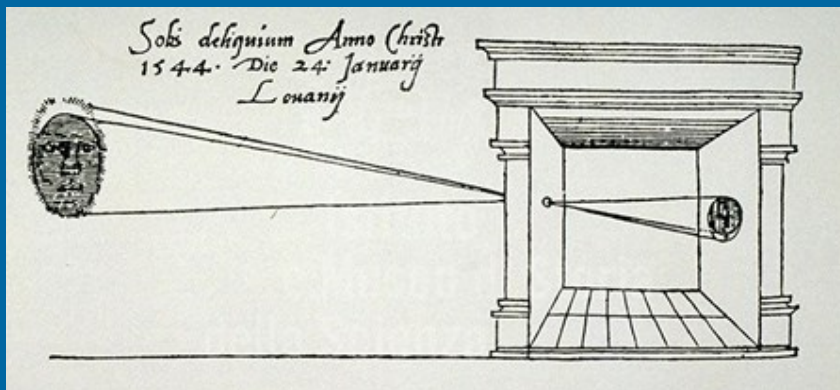


Figura 5

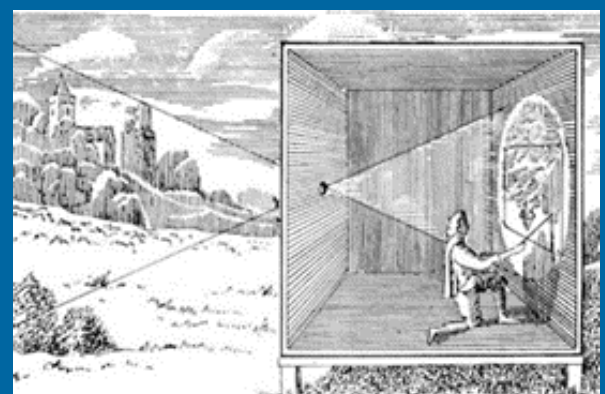
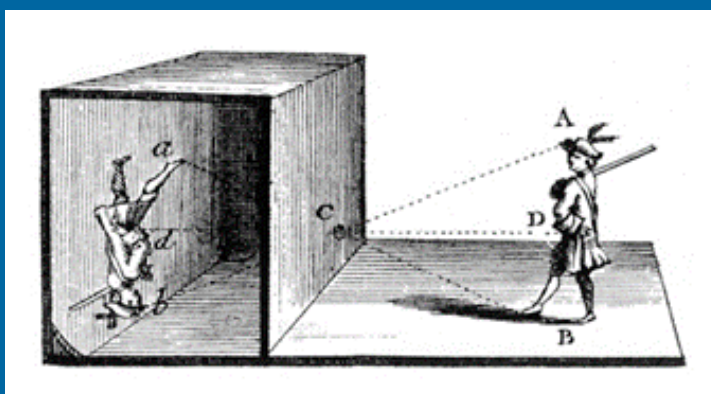
A conclusione di questa fase del lavoro abbiamo raccolto alcune informazioni sulla storia della camera oscura (si veda il box alla pagina seguente).

La camera oscura nella storia

Il principio alla base della camera oscura era già noto nell'antichità. Aristotele (IV sec. a.C.) in una sua opera accennò alla possibilità di vedere un'eclisse di Sole proiettata sulla parete di una stanza buia. Lo stesso fenomeno venne poi dettagliatamente studiato e descritto nell'XI secolo dallo scienziato arabo Alhazen. Il nome camera oscura compare tuttavia per la prima volta nel primo trattato di ottica di Keplero, famoso astronomo e matematico. Nell'estate del 1600 egli costruì nella piazza del mercato di Graz in Austria un grande strumento in legno e tendaggi neri per osservare un'imminente eclissi di Sole.



La camera oscura è stata utilizzata non solo nelle osservazioni astronomiche ma anche nell'arte: venne adottata dagli artisti fiamminghi nella prima metà del Quattrocento e poi dai pittori rinascimentali italiani per riprodurre paesaggi in modo realistico, rispettandone la prospettiva. Leonardo da Vinci in particolare progettò una camera oscura nella quale sull'unico foro praticato su una parete veniva posta una lente regolabile. Sulla parete opposta veniva così a proiettarsi un'immagine fedele e capovolta del paesaggio esterno, che poteva essere copiata su un foglio di carta appositamente appeso, ottenendo un risultato di estrema precisione.



Inoltre Leonardo da Vinci aveva già intuito che il nostro occhio funziona sostanzialmente come una camera oscura in cui il foro è dato dalla pupilla e lo schermo su cui viene proiettata l'immagine capovolta è dato dalla retina; ora noi sappiamo che gli stimoli che arrivano alla retina vengono trasmessi dal nervo ottico al cervello che li rielabora, producendo l'immagine diritta degli oggetti osservati.

La luce si riflette

Nella seconda fase del lavoro ci siamo soffermati sulle fotografie dei ragazzi in cui si osservano immagini riflesse, per esempio un paesaggio riflesso dalla superficie dell'acqua di un lago non increspata dal vento (Figura 6).

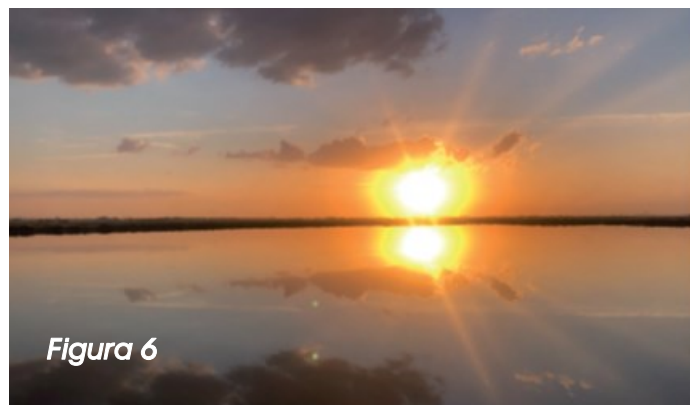


Figura 6

Un esperimento realizzato in aula ha permesso di spiegare il fenomeno della riflessione della luce. Uno specchio piano è stato posto sulla cattedra, che è stata accostata alla lavagna con un lato dello specchio appoggiato alla lavagna; specchio e lavagna risultavano così perpendicolari. Abbiamo quindi inviato sullo specchio il raggio di un puntatore laser¹, in modo che fosse radente alla lavagna e abbiamo così potuto osservare sulla lavagna sia il raggio incidente sullo specchio sia il raggio riflesso da questo (Figura 7).

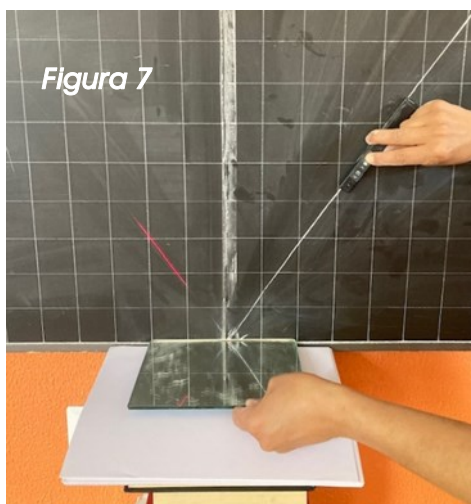


Figura 7

Abbiamo quindi tracciato sulla lavagna con il gesso la direzione dei due raggi di luce e la semiretta n perpendicolare al piano dello specchio nel punto di incidenza del raggio del puntatore. Gli studenti hanno misurato con un goniometro da lavagna gli angoli che il raggio incidente e il raggio riflesso formavano con la perpendicolare n , verificando la loro uguaglianza (Figura 8).

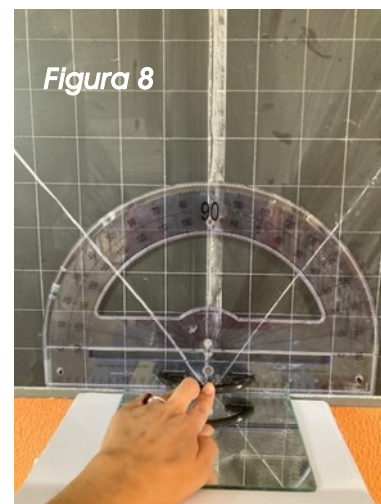


Figura 8

La misura è stata poi ripetuta variando l'angolo di incidenza del raggio del puntatore laser sullo specchio, e analizzando le misure eseguite abbiamo verificato la legge della riflessione della luce nelle due parti: il raggio riflesso appartiene al piano formato dal raggio incidente e dalla perpendicolare allo specchio nel punto di incidenza; l'angolo di riflessione e l'angolo di incidenza sono uguali.

A conclusione di questa fase del percorso, nel laboratorio di Tecnologia gli studenti hanno progettato e realizzato un periscopio, strumento usato nei sommergibili e nelle trincee durante la Grande Guerra (Figure 9 e 10).

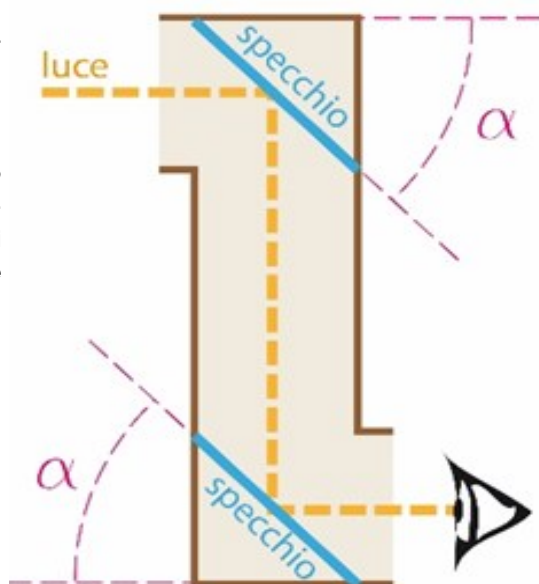


Figura 9



Figura 10

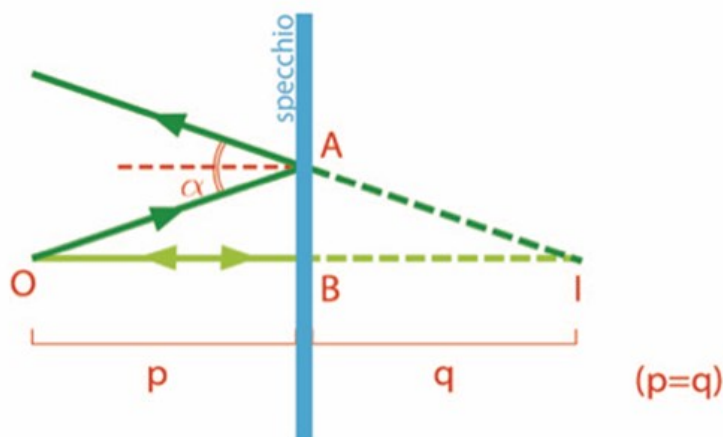
Costruzione dell'immagine formata da uno specchio piano

Abbiamo fatto osservare ai ragazzi che, quando ci guardiamo allo specchio, la nostra immagine e le immagini degli oggetti che si trovano attorno a noi appaiono come se fossero situate dietro allo specchio. Lo stesso effetto si può osservare, ovviamente, quando vediamo le immagini formate da uno specchio d'acqua, cioè da una superficie d'acqua non increspata, o da superfici molto levigate. Per questo le immagini formate dagli specchi piani sono dette *immagini virtuali*.

Per capire la posizione dell'immagine virtuale formata da uno specchio piano abbiamo considerato una *situazione modello* molto semplice. Abbiamo cioè immaginato che un oggetto O molto piccolo, rappresentato come un punto geometrico, fosse posto davanti allo specchio piano a distanza p (Figura 11).

Abbiamo quindi costruito graficamente la sua immagine I formata dallo specchio, tracciando due raggi di luce che partono dal punto-oggetto O e incidono sullo specchio e i rispettivi raggi riflessi: il raggio OA che incide sullo specchio con angolo di incidenza α viene riflesso in una direzione che forma con la perpendicolare un angolo uguale all'angolo di incidenza; il raggio OB, perpendicolare allo specchio, forma un angolo di 0° con la perpendicolare e quindi la direzione del raggio riflesso BO coincide con quella del raggio incidente.

Figura 11



I due raggi riflessi, prolungati oltre lo specchio, si intersecano nel punto I da cui sembrano provenire; il punto I è dunque l'*immagine virtuale* dell'oggetto O. Abbiamo infine verificato sul disegno che O e I sono alla stessa distanza dallo specchio ($p = q$); si trovano quindi in posizione simmetrica rispetto al piano dello specchio.

A conclusione di questa parte dell'attività abbiamo osservato che tutti gli oggetti reali che vediamo riflessi in uno specchio non sono punti geometrici, ma hanno dimensioni estese. L'immagine di un oggetto esteso formata da uno specchio piano si ottiene costruendo l'immagine di tutti i punti dell'oggetto secondo il metodo che abbiamo appena utilizzato. Quindi anche l'immagine di un oggetto esteso data da uno specchio piano è virtuale e si forma in posizione simmetrica rispetto allo specchio.

La condizione per vedere gli oggetti: la riflessione diffusa

Abbiamo osservato che la maggior parte degli oggetti che si trovano attorno a noi non emettono luce, ma sono illuminati dalla luce dell'ambiente. Ci siamo allora domandati in base a quale processo noi li possiamo vedere, dal momento che solo pochi tra essi hanno una superficie liscia che riflette la luce. Si può rispondere a questa domanda se si considera che una superficie non liscia ma irregolare, è di fatto costituita da tante piccolissime superfici lisce, che si comportano come minuscoli specchi orientati in modo casuale gli uni rispetto agli altri. Per la legge della riflessione ciascuno di essi riflette la luce in una direzione diversa da quella in cui la riflettono gli specchi vicini; quindi la luce che colpisce una superficie non liscia viene inviata in

tutte le direzioni ed è proprio la luce così *sparpagliata* dalle superfici irregolari degli oggetti che, raggiungendo il nostro occhio, ci permette di vedere gli oggetti stessi (Figura 12). Questo fenomeno prende il nome di *riflessione diffusa*.

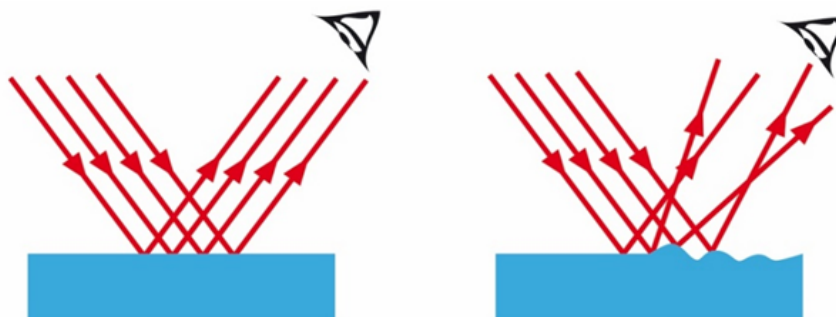


Figura 12

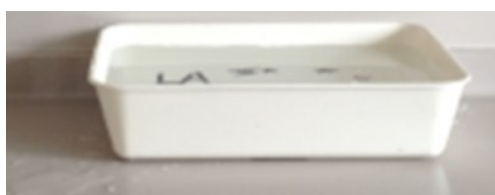
La luce nel passaggio tra acqua e aria: il fenomeno della rifrazione

Abbiamo studiato il fenomeno della rifrazione della luce mediante un esperimento effettuato nel laboratorio di Scienze nella cui realizzazione sono stati coinvolti direttamente gli studenti.

Con un pennarello indelebile abbiamo realizzato una scritta sul fondo di una vaschetta di materiale non trasparente che è stata posata vuota su un tavolo; gli studenti a turno hanno verificato che potevano vedere o meno la scritta o alcune sue parti a seconda della distanza a cui si trovavano dal tavolo. Si sono quindi posizionati a una distanza dalla vaschetta a cui la scritta non era visibile e uno di loro ha versato acqua nella vaschetta, fino a quando la scritta è divenuta visibile agli altri, che, ovviamente, avevano mantenuto la propria posizione (Figura 13).



Figura 13



Per spiegare quanto osservato, abbiamo analizzato il percorso dei raggi di luce diffusi da un generico punto P della scritta, sia quando la vaschetta era vuota sia quando in essa era stata aggiunta acqua.

Questo punto P, illuminato dalla luce dell'ambiente, diffonde raggi di luce in tutte le direzioni.

Nella vaschetta senz'acqua alcuni raggi intercettano le pareti, mentre altri escono dalla vaschetta. Se l'osservatore si trova abbastanza distante, i raggi provenienti da P sono intercettati dalle pareti, non raggiungono il suo occhio e il punto P non è visibile. Se però l'osservatore si avvicina, alcuni raggi provenienti dal punto P raggiungono il suo occhio e P diventa visibile.

Quando si versa acqua nella vaschetta, alcuni raggi, che nella situazione precedente non potevano raggiungere l'occhio dell'osservatore, *cambiano direzione*, a causa della *rifrazione* della luce, e la scritta, o una sua parte, diventa visibile (Figura 14).

Queste osservazioni ci hanno permesso di descrivere il fenomeno della rifrazione: quando un

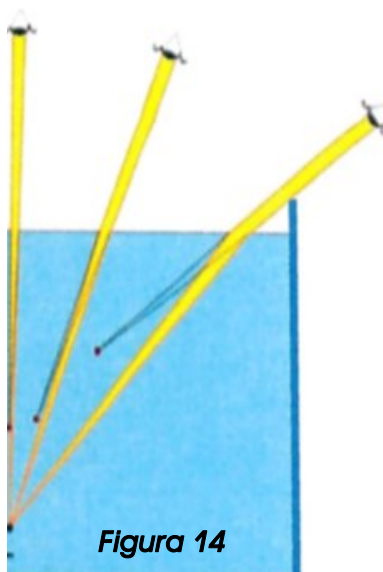


Figura 14

raggio di luce che si propaga in un mezzo trasparente, acqua nel caso dell'esperimento, incide sulla superficie che lo separa da un secondo mezzo trasparente, nel nostro caso aria, viene in parte riflesso indietro nell'acqua e in parte passa nell'aria, cambiando direzione (Figura 15). Grazie a questo cambio di direzione alla superficie di separazione acqua-aria, i raggi provenienti dalla scritta che si trova sul fondo della vaschetta raggiungono gli occhi di chi osserva.

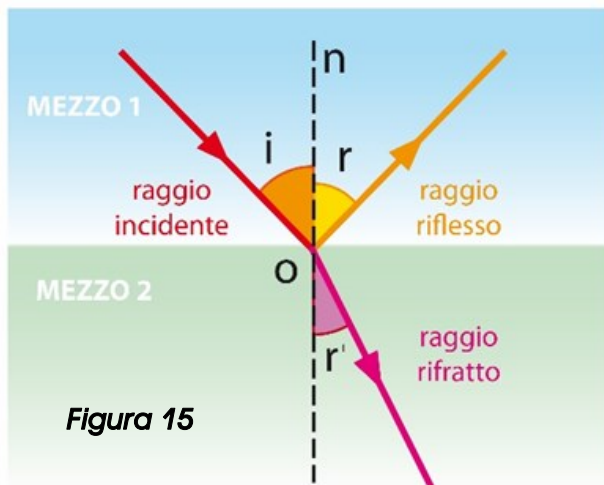


Figura 15

Un altro esempio degli effetti della rifrazione della luce, che può essere visualizzato facilmente anche a casa, è mostrato nella Figura 16: a causa della rifrazione, la cannuccia parzialmente immersa nell'acqua contenuta nel bicchiere appare spezzata in corrispondenza nel punto di immersione.

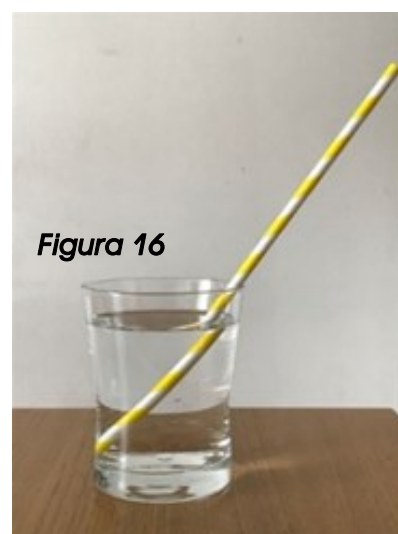


Figura 16

Abbiamo quindi studiato, anche quantitativamente, la rifrazione della luce dapprima osservando la traiettoria di un raggio laser che attraversa una vaschetta contenente acqua al variare dell'angolo di incidenza, poi utilizzando lo strumento mostrato in

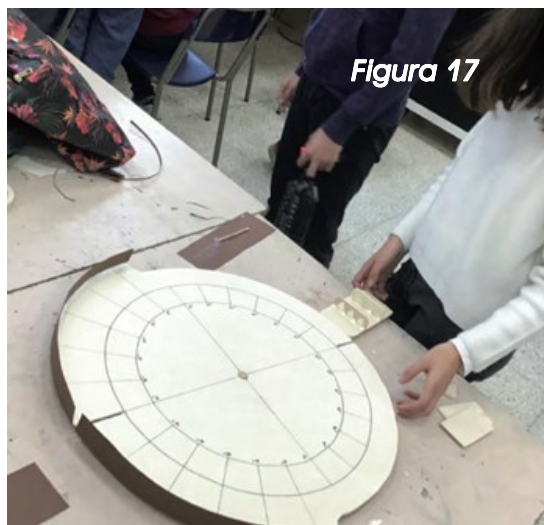


Figura 17

Figura 17, realizzato dai ragazzi nel laboratorio di Tecnologia, che abbiamo chiamato *banco ottico*. La parte principale di esso consiste in un goniometro con cui si possono misurare gli angoli di incidenza, di riflessione e di rifrazione quando un raggio di luce incide sulla superficie che separa due mezzi trasparenti, per esempio aria e vetro.

Abbiamo ripetuto le misure in diverse situazioni: angoli di incidenza diversi e oggetti di vetro con forme diverse. Ragionando su quanto hanno osservato, i ragazzi hanno potuto verificare che l'entità del cambiamento della direzione del raggio, nel passaggio da un materiale all'altro, dipende sia dall'angolo di incidenza sia dalla coppia di materiali che il raggio di luce attraversa (Figura 18).

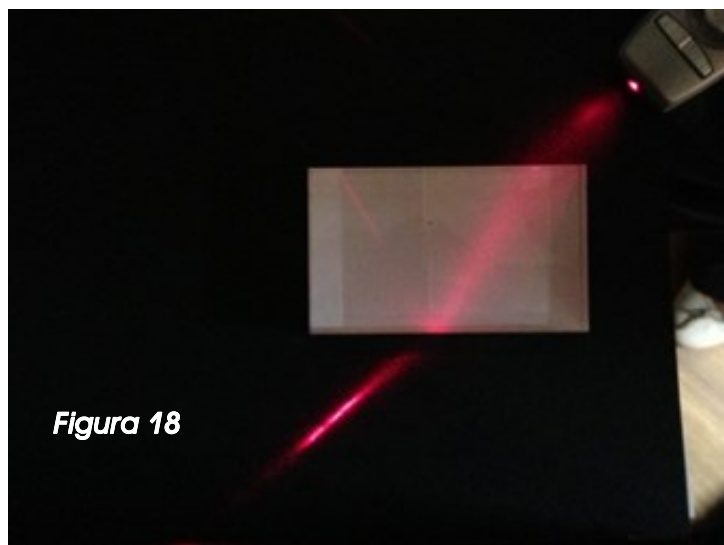


Figura 18

La dispersione della luce

Abbiamo verificato che la luce del Sole si scompone in componenti di diverso colore, ripetendo l'esperimento realizzato da Isaac Newton alla fine del Seicento. Per questo abbiamo fatto incidere su un prisma di vetro la luce solare che entrava da una finestra del laboratorio e abbiamo osservato che la luce bianca, dopo aver attraversato il prisma, dava origine a un'immagine colorata.

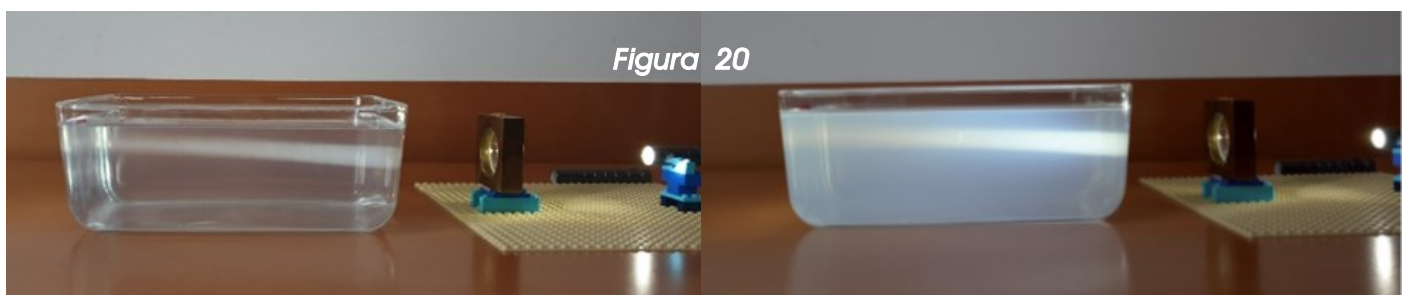
La luce bianca è infatti la combinazione di luce con i sette colori dell'iride: rosso, arancione, giallo, verde, azzurro, indaco, violetto. Nel passaggio attraverso il prisma di vetro le diverse componenti della luce bianca vengono deviate ciascuna con un proprio angolo, diverso da quello delle altre; in particolare la componente violetta è la maggiormente deviata e quella rossa la meno deviata (Figura 19). L'angolo di rifrazione nel passaggio da un mezzo a un altro è infatti diverso per le diverse componenti colorate della luce bianca. Questo fenomeno è chiamato *dispersione* della luce. Abbiamo poi osservato il fenomeno inverso, cioè la composizione della luce bianca a partire dai colori dell'iride, utilizzando il *chromoscopio* (o disco di Newton) che è stato realizzato in *compensato* nel laboratorio di Tecnologia.



I colori del cielo

A conclusione del percorso sulla luce un esperto, nonno di un nostro alunno², che aveva seguito il percorso interagendo con noi docenti, ha spiegato che la colorazione azzurra del cielo è dovuta alla *diffusione* della luce da parte dei gas che costituiscono l'atmosfera e delle particelle (polveri, vapore acqueo, eccetera) contenute in essa.

Il punto centrale della sua presentazione è stata l'esecuzione di un esperimento, in cui un raggio di luce bianca collimata attraversava una vaschetta contenente acqua. Ha mostrato che quando all'acqua si aggiungeva qualche goccia di latte, il percorso della luce nell'acqua diventava visibile; aggiungendo altre gocce di latte l'effetto si accentuava e l'acqua nella vaschetta assumeva una tenue colorazione azzurra (Figura 20).



Ci ha quindi spiegato che quanto osservato nell'esperimento avviene tutte le volte che un raggio di luce attraversa un liquido o un gas: una parte del raggio di luce, invece di proseguire nel suo cammino rettilineo, viene diffusa, ovvero sparpagliata in tutte le direzioni dal liquido o dal gas. I raggi del Sole che attraversano l'atmosfera sono diffusi da essa; una frazione dei raggi diffusi arriva ai nostri occhi e quindi noi vediamo l'atmosfera. In altre parole, la diffusione dei raggi solari *illumina* l'atmosfera, rendendola visibile.

Inoltre ci ha spiegato che il colore azzurro del cielo sereno (e il colore azzurrino dell'acqua della vaschetta) è dovuto al fatto che le componenti azzurra, indaco e violetta della luce bianca del Sole sono diffuse molto più efficacemente delle altre.

Ci ha infine spiegato che il cielo a occidente al tramonto e a oriente all'alba si colora di rosso-arancio, perché il Sole è basso sull'orizzonte e i suoi raggi devono attraversare uno spessore di atmosfera molto maggiore di quello attraversato a mezzogiorno. Il grande spessore attraversato impoverisce la luce bianca del Sole delle componenti azzurro-indaco-violetto, che sono appunto quelle diffuse molto più efficacemente delle altre.

La valutazione

Nella valutazione del lavoro abbiamo tenuto in considerazione la partecipazione dei ragazzi, l'attenzione e la cura nelle attività di laboratorio, nonché l'iniziativa nel porre domande e formulare congetture sulla spiegazione dei fenomeni studiati. Inoltre, è stata data importanza alla compilazione puntuale del quaderno secondo le *richieste* che sono state fatte di volta in volta, per descrivere e sintetizzare quanto osservato in laboratorio; per ogni fase del percorso ai ragazzi è stata consegnata una scheda di sintesi per lo studio personale. Dopo la conclusione del percorso, ai fini della valutazione (e non solo) ci sono state due occasioni particolarmente significative. In primo luogo, è stata proposta una verifica scritta sui contenuti affrontati che, attraverso diverse tipologie di *richieste* (test a risposta multipla, risposte a domande aperte, completamento di disegni incompleti, stesura di brevi descrizioni e relazioni...), chiedeva a ciascun ragazzo di riportare fedelmente quanto osservato e di interpretare i fenomeni secondo il modello dell'ottica geometrica. A questo [link](#) è presente il testo della verifica finale.

In secondo luogo, è stato chiesto ai ragazzi di presentare ai visitatori durante l'*Open Day* il percorso affrontato.

L'open day

Durante la giornata di scuola aperta è stato illustrato questo percorso che già si era concluso. I ragazzi, che sono stati coinvolti nell'allestimento dell'aula dedicata alla luce, hanno riproposto ai visitatori uno o più esperimenti per ciascun fenomeno considerato e hanno mostrato e descritto gli strumenti realizzati nelle ore di Tecnologia, spiegandone il funzionamento. Hanno così avuto l'occasione, comunicando con entusiasmo e precisione quanto scoperto e imparato durante le ore di lezione, di sperimentare la corrispondenza tra quanto osservato, spiegato e realizzato cogliendo il carattere unitario del percorso fatto.

A questo [link](#) è possibile accedere al video dell'open day della scuola.

Giacomo Bella (Insegnante di Matematica e Scienze), Nicola De Bei (Insegnante di Tecnologia), Chiara Mazzeo (Insegnante di Matematica e Scienze) presso la Scuola Secondaria di Primo Grado "A. Mandelli" di Milano.

Note

¹ Il puntatore laser è stato utilizzato quasi esclusivamente dagli insegnanti, talvolta dai ragazzi solo se attentamente sorvegliati dall'insegnante e in condizioni di sicurezza; in particolare, nel *banco ottico* è stato predisposto un vano apposito in cui il puntatore potesse essere inserito e spostato solo in determinate posizioni che evitassero il rischio, anche accidentale, di intercettare gli occhi dei presenti.

² Mario Guzzi, già Professore Ordinario di Fisica Sperimentale presso l'Università degli Studi di Milano Bicocca.

L'attività descritta è stata svolta nelle classi terze durante l'anno scolastico 2021-2022 ed è stata condivisa nel Gruppo di Ricerca di Scienze «Educare Insegnando» promosso dall'Associazione "Il rischio educativo" e coordinato da Maria Elisa Bergamaschini e Maria Cristina Speciani - www.formazioneilrischioeducativo.org.

