

REGIONE
TOSCANA



La pentola d'oro alla fine dell'arcobaleno

Grado scolastico: secondaria II grado

Area disciplinare: fisica

Liceo Classico e Linguistico "G. Carducci" - Viareggio

Docenti coinvolti: Cordelli, Lombardi, Passigni

Realizzato con il contributo della Regione Toscana
nell'ambito del progetto

Rete Scuole LSS a.s. 2023/2024

*La pentola d'oro alla fine
dell'arcobaleno*

Percorso LSS
di fisica (ottica)

Classe 4 Ac - a.s. 2023-2024

Liceo Classico-Linguistico

“G.Carducci” - Viareggio (LU)

Professori Cordelli, Lombardi, Passigni

Collocazione del percorso

Il percorso è inserito nella programmazione di fisica di una classe quarta di liceo classico.

Obiettivi essenziali di apprendimento:

- I concetti fondamentali dell'ottica geometrica: riflessione e rifrazione della luce
- La comprensione di un fenomeno naturale (l'arcobaleno) di cui si ha frequente esperienza ma le cui basi fisiche e geometriche sono tutt'altro che ovvie
- L'applicazione a un contesto osservativo naturale di proprietà geometriche relative a rette, circonferenze e sezioni coniche

Elementi salienti dell'approccio metodologico

Partendo dalle caratteristiche osservabili dell'arcobaleno (forma, contesto in cui si presenta, posizione rispetto al Sole, ecc...) si cerca di individuare i principi fisici alla base del fenomeno. Un'analisi in laboratorio del comportamento della luce in interazione con un mezzo trasparente porta a riconoscere la presenza di un raggio riflesso e uno rifratto. Come modello di goccia d'acqua si utilizza una sfera decorativa in vetro pieno, acquistata on line. Il successivo studio geometrico e analitico permette di riconoscere il ruolo dell'angolo di arcobaleno, nonché la forma dell'arco come sezione conica. Viene infine affrontata la questione della dispersione dei colori.

Materiali, apparecchi e strumenti impiegati

1. Tavoletta di compensato goniometrica
2. Lastre spesse di plexiglass sagomate secondo varie forme
3. Materiale da disegno per misure e rappresentazioni grafiche precise
4. Sfera in vetro Navaris, diametro 10 cm
5. Piccolo Laser da tavolo
6. Foto di arcobaleni scattate dagli studenti in varie situazioni
7. Software GeoGebra
8. Calcolatrice

Ambiente/i in cui è stato sviluppato il percorso:

A parte le foto degli arcobaleni realizzate dagli studenti in varie situazioni, il percorso si è svolto interamente in aula (dopo l'emergenza Covid 19 il nostro istituto non dispone più di un laboratorio di fisica, e quindi - per quanto possibile - per realizzare le esperienze didattiche si portano le attrezzature in classe).

Tempi impiegati

Il percorso ha interessato l'ultima parte dell'anno, cioè la seconda metà del secondo quadrimestre e ha richiesto per il suo completamento diverse settimane.

La documentazione ha richiesto diverse giornate di lavoro, sia per la raccolta e selezione dei materiali prodotti dagli studenti *in itinere* che per la stesura e revisione definitive delle slide a percorso completato.

Descrizione del percorso didattico

Prerequisiti:

L'unità didattica immediatamente precedente aveva riguardato la riflessione della luce; inoltre nel primo quadrimestre, nell'ambito dello studio delle onde, era stato acquisito il fatto che la luce sia un'onda (esperienza dell'interferenza da doppia fenditura). Per quanto riguarda la matematica sono stati utilizzate le proprietà della circonferenza, le funzioni trigonometriche (dirette e inverse), le sezioni coniche.

L'unità didattica inizia con un'ampia discussione in classe sul fenomeno dell'arcobaleno, qualcosa di cui si ha esperienza fin dall'infanzia ma di cui raramente si sente il bisogno di cercare una spiegazione

Comunque, quasi tutti gli alunni hanno delle foto sullo smartphone di arcobaleni che si sono trovati casualmente ad osservare e che li hanno particolarmente impressionati





Confrontando le varie foto e le esperienze, emergono alcuni fatti importanti riguardo al fenomeno:

1. È legato alla presenza di umidità nell'aria; infatti lo si osserva nei giorni di tempo perturbato e piovoso, ma anche nei pressi di un irrigatore in funzione

2. Non si verifica nelle ore centrali della giornata (tutte le foto infatti sono state scattate nel tardo pomeriggio o la mattina presto)

3. In nessuna delle foto il Sole è dalla stessa parte dell'arcobaleno, ma l'osservatore si trova sempre con il Sole alle spalle

(e quindi non si può passarci sotto o andare nel punto in cui finisce a prendere la leggendaria pentola d'oro che dà il titolo a questa UdA!)

Da tutte queste osservazioni emerge il fatto che l'arcobaleno ha in qualche modo a che fare con la riflessione della luce. Sembra infatti che

“...i raggi del Sole incontrano l'umidità dell'aria e vengono riflessi all'indietro verso l'osservatore”

(rimane il problema dei colori e della forma dell'arcobaleno, ma di questo si decide che è meglio occuparsi in seguito)

Volendo chiarire in maniera più precisa il concetto di “umidità dell’aria” si arriva ben presto alla conclusione che responsabili del fenomeno devono essere le goccioline d’acqua che formano la pioggia o la nebbia

 cos'è?

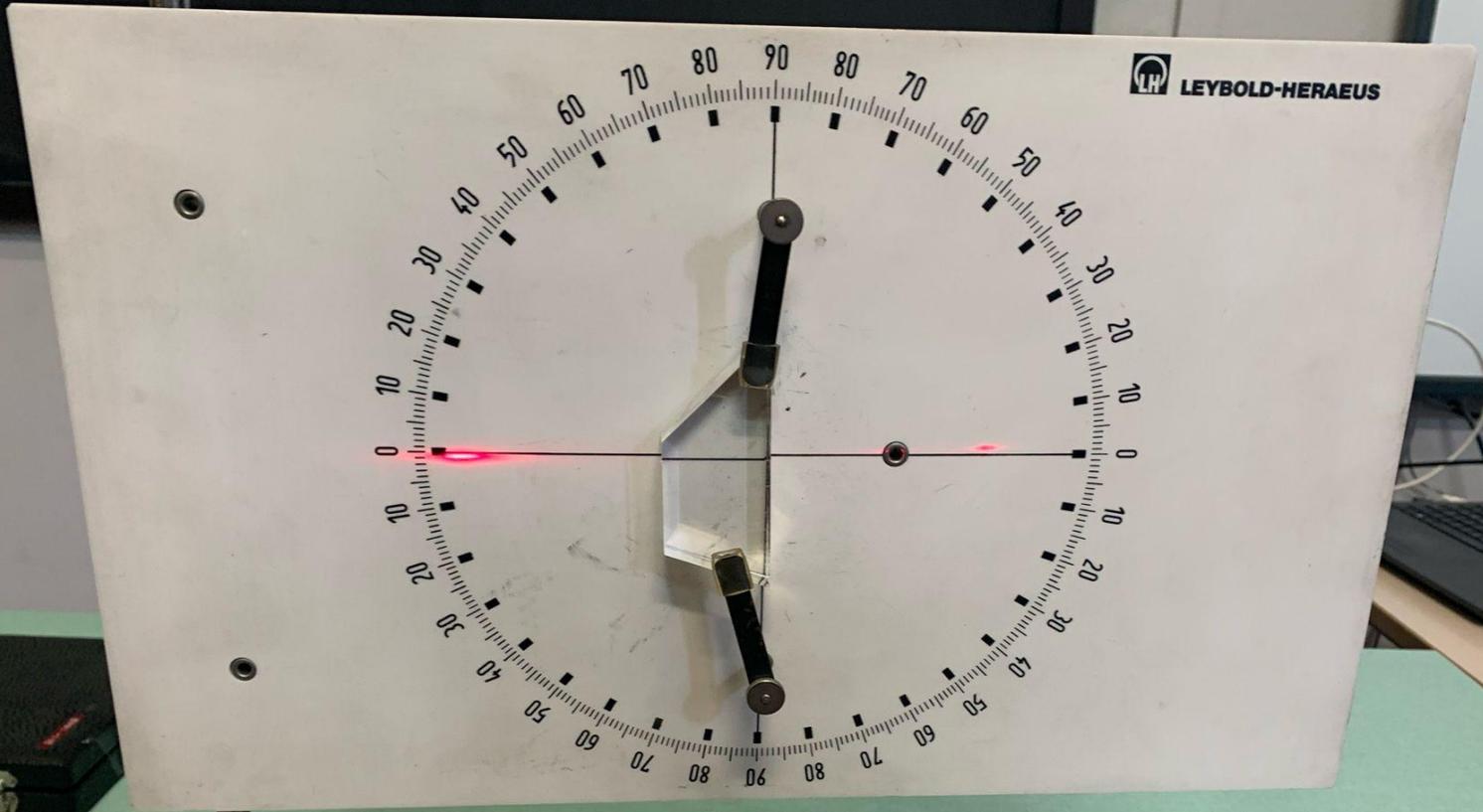
L'arcobaleno è un fenomeno ottico costituito da tanti minuscoli "prismi" (le gocce d'acqua) che danno luogo ad uno spettro quasi continuo di luce nel cielo laddove la luce stessa del sole attraversa le gocce che si trovano in sospensione dopo o durante un temporale, o presso una cascata o una fontana.

È altresì chiaro che non si tratta di una semplice riflessione come quella vista a proposito degli specchi. La riflessione da parte di uno specchio convesso dovrebbe infatti disperdere la luce, che invece appare concentrata nella regione dell'arcobaleno

Si cerca quindi di capire cosa accade quando la luce incontra un mezzo trasparente. È il fenomeno della *rifrazione*, di cui gli alunni hanno qualche esperienza (ad esempio guardando gli oggetti sott'acqua), anche se le idee non sono così chiare come nel caso della riflessione

A tale scopo si utilizzano alcune semplici attrezzature del laboratorio scolastico:

1. una tavoletta goniometrica
2. lastre di un paio di cm di plexiglass di varie forme
3. un laser a bassa potenza



LEYBOLD-HERAEUS

2340

Si riconosce facilmente che ogni volta che la luce incontra la superficie di separazione tra due mezzi una parte del raggio incidente viene riflesso e un'altra prosegue ma cambiando direzione (raggio rifratto)

Tra le misure e l'analisi dei dati occorrono un paio di lezioni; alla fine si arriva alla legge di Snell.

$$\frac{\sin \hat{i}}{\sin \hat{r}} = \text{cost.}$$

Nella discussione viene fuori anche un'idea sensata sul fatto che il cambio di direzione del raggio rifratto possa dipendere dalla diversa velocità della luce nei due mezzi.

A questo punto è essenziale capire cosa accade quando il raggio luminoso incontra una goccia d'acqua.

È qui che entra in gioco l'elemento caratterizzante di questa UdA:

in fase di progettazione era stata fatta acquistare alla scuola una sfera di vetro pieno (10 cm diametro), solitamente utilizzata per scopi fotografici e decorativi



L'osservazione fondamentale per comprendere il fenomeno dell'arcobaleno è il fatto che (parte di) un raggio che colpisce la sfera al di sopra dell'equatore viene riflesso verso il basso

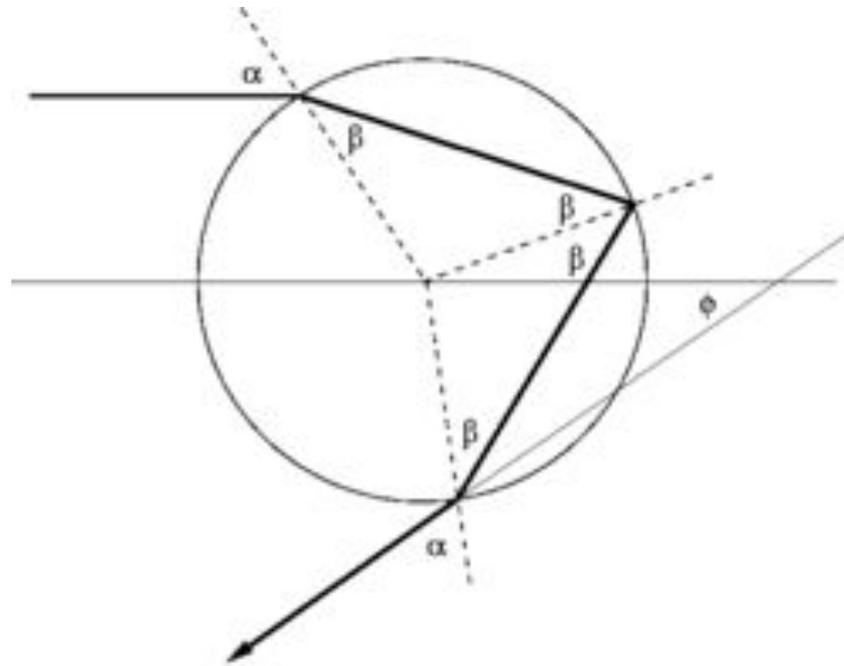


Si cerca una relazione tra l'altezza del raggio incidente e l'angolo del raggio riflesso, che viene ricavata (in maniera approssimata) dalla distanza del puntino luminoso che si forma sul piano orizzontale



Si osserva che aumentando l'altezza del raggio incidente l'angolo di diffusione dapprima aumenta per poi tornare a diminuire, quindi la funzione che lega l'angolo di diffusione alla posizione del raggio incidente deve presentare un massimo; questa osservazione verrà corroborata dalla successiva analisi teorica

Passiamo quindi all'analisi "teorica" del fenomeno, ricavando la costruzione geometrica della diffusione della luce da parte di una goccia sferica



Utilizzando la legge di Snell si riesce anche a ricavare analiticamente la funzione che lega l'angolo di diffusione α all'altezza y del raggio incidente rispetto al piano equatoriale, dati il raggio R della sfera e l'indice di rifrazione n .

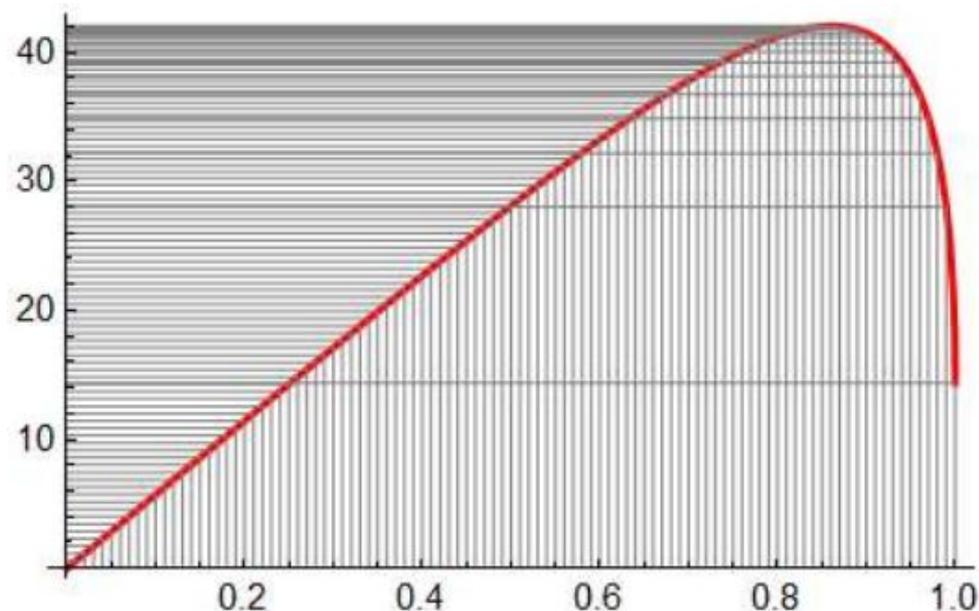
$$\alpha(y) = 4 \sin^{-1}\left(\frac{y}{nR}\right) - 2 \sin^{-1}\left(\frac{y}{R}\right)$$

Il grafico della funzione viene ottenuto mediante il software GeoGebra

Dall'analisi del grafico, in particolare il fatto che ci sia un massimo, si deduce che per un intervallo di valori abbastanza ampio dell'altezza del raggio incidente i corrispondenti angoli di diffusione sono tutti molto vicini al valore massimo della funzione $\alpha(y)$

Questo spiega il fatto che la luce diffusa dalle goccioline è localizzata in una zona ben delimitata del cielo; infatti l'osservatore rileverà principalmente i raggi diffusi da quelle goccioline per le quali l'angolo osservatore-gocciolina-Sole è uguale all'angolo di diffusione massimo, detto *angolo di arcobaleno*

In questo grafico sulle ascisse c'è il rapporto tra l'altezza del raggio incidente rispetto al piano equatoriale della goccia d'acqua e il raggio della goccia stessa, mentre sulle ordinate l'angolo di diffusione. I segmenti orizzontale tracciati per vari punti della curva evidenziano la concentrazione dei raggi diffusi intorno all'angolo di arcobaleno di circa 42°



A questo punto la discussione in classe si concentra sulle caratteristiche più specificatamente geometriche del fenomeno, ed emergono due considerazioni della massima importanza:

1. Se l'angolo tra i raggi solari, le goccioline e l'osservatore deve avere un valore determinato, l'altezza del Sole sull'orizzonte non può superare tale valore. Considerando che l'angolo di arcobaleno è prossimo a 45° e che una rotazione terrestre in 24 ore corrisponde a 15° in un'ora, se ne deduce l'arcobaleno è osservabile solo entro tre ore prima del tramonto o tre ore dopo l'alba. Questo spiega come mai tutte le foto sono state scattate nel tardo pomeriggio o la mattina presto.

2. In tutti gli schizzi che sono stati fatti, sia insieme in classe che singolarmente a casa, per modellizzare i vari aspetti del fenomeno, le gocce d'acqua sono state disegnate su una linea verticale mentre in realtà appartengono a un piano verticale. Ciò significa che i raggi diffusi che raggiungono l'osservatore sono distribuiti sulla superficie di un cono avente vertice nell'osservatore e apertura pari all'angolo di arcobaleno. Ciò rimanda a qualcosa visto lo scorso anno nelle lezioni di matematica: la forma dell'arcobaleno - essendo l'intersezione di un cono con un piano - è un arco di ellisse

Resta aperto a questo punto il problema dei colori. È esperienza comune che in varie situazioni i colori dell'iride emergono dalla luce bianca. Per indagare in che modo questo effetto possa essere collegato all'arcobaleno, si illumina il nostro modello di goccia in vetro con la luce prodotta da una lampada a incandescenza.



L'effetto non è molto evidente, ma è comunque rilevabile



Analizzando la formula analitica trovata in precedenza ci si rende conto che l'unico parametro che dipende non dalla geometria ma dalla fisica del materiale di cui è composta la goccia è l'indice di rifrazione n .

È altresì noto (già dalla scuola media) che il bianco è l'unione di tutti i colori

Si cerca quindi in rete la tabella dell'indice di rifrazione dell'acqua per i vari colori...

λ (nm) [nel vuoto]	$n_{\text{H}_2\text{O}}$ (20 °C)	Colore
656	1.331	Rosso
589	1.333	Giallo
486	1.337	Blu
434	1.340	Indaco
397	1.345	Violetto

Si ritorna quindi alla funzione che esprime l'angolo di diffusione in funzione dell'altezza del raggio incidente sull'equatore della goccia e, utilizzando GeoGebra, si producono i due grafici corrispondenti al rosso e al violetto. Si possono quindi stimare i due angoli di arcobaleno, rilevando una differenza di quasi due gradi

Per decidere se due gradi sono sufficienti per apprezzare la dispersione dei colori che si osserva nell'arcobaleno, viene proposto di confrontare questo valore con le dimensioni angolari di oggetti celesti osservabili, per esempio la Luna. Dai dati reperiti in rete risulta che il diametro angolare della Luna (che è chiaramente visibile ad occhio nudo) è di circa $\frac{1}{2}$ grado, e quindi un'ampiezza di due gradi è ben apprezzabile: l'ipotesi fatta è plausibile!

Verifica degli apprendimenti

Essendo quella della discussione in classe e analisi dei dati la parte preponderante di questa UdA, la verifica/valutazione si è svolta essenzialmente in maniera 'dinamica' osservando la classe in interazione e monitorando gli interventi, la partecipazione, le intuizioni, la capacità di rielaborazione, la qualità della comunicazione e la correttezza delle deduzioni di ogni alunno

Analisi dei risultati ottenuti (1)

Gli alunni hanno dimostrato fin dalla lezione introduttiva interesse e curiosità per il tema proposto. Un momento fondamentale per l'accensione del circolo virtuoso della motivazione è stato quello dell'analisi preliminare delle foto che molti di loro avevano nella galleria dello smartphone, foto scattate in contesti molto distanti da quello scolastico.

Analisi dei risultati ottenuti (2)

La spiegazione del fenomeno 'arcobaleno' ha richiesto anche riflessioni in termini geometrici e analitici non banali, che vanno oltre la semplice applicazione di una formula o di una proprietà elementare dei triangoli, cosa che conferisce a questo argomento una valenza importante anche per la matematica

Analisi dei risultati ottenuti (3)

Al termine del percorso tutti gli alunni hanno dimostrato - seppur in gradi diversi - una certa comprensione del fenomeno e dei principi fisici e geometrici ad esso sottostanti

Valutazione dell'efficacia del percorso: considerazioni del gruppo di ricerca LSS

L'interesse suscitato da un fenomeno conosciuto al di fuori dell'ambito scolastico e considerato solitamente più collegato al mondo dell'arte e della letteratura che a quello della fisica, ha sicuramente un effetto molto positivo a livello motivazionale. Questo - a nostro parere - è l'obiettivo a cui dovrebbe tendere ogni azione didattica, cosicché l'apprendimento sia un processo attivo e consapevole