

La rifrazione e le sue applicazioni

Marco Barbisan – Prova Finale Metodi e Strumenti della Didattica della Fisica

Classe e tipologia di scuola secondaria

Il percorso didattico proposto è rivolto ad una classe seconda di un liceo scientifico. Come profilo della classe, si presuppone che vi sia almeno un discreto affiatamento tra gli studenti, e che questi abbiano già affrontato positivamente delle attività di gruppo.

Trauardo di sviluppo delle competenze

Coerentemente con le indicazioni nazionali relative al liceo scientifico, il traguardo di sviluppo delle competenze che si intende raggiungere con questo percorso didattico è di mettere in condizione lo studente di *“comprendere e valutare le scelte scientifiche e tecnologiche che interessano la società in cui vive”* [1]. In misura secondaria, le attività proposte andranno a sostenere altri traguardi, quali *“osservare e identificare fenomeni”* e la *“costruzione e validazione di modelli”*.

Focus disciplinare

Il focus del percorso didattico è sul fenomeno della rifrazione e sulle sue applicazioni in ambito tecnologico. Non verranno comunque trascurati fenomeni naturali in cui interviene la rifrazione e che vengono comunemente osservati nella vita quotidiana. I concetti trattati in questo percorso e le relazioni tra di essi sono schematizzati in Figura 1.

Il percorso didattico deve essere preceduto da un percorso sulla propagazione della luce e su riflessione, diffusione e assorbimento. Gli studenti devono aver già trattato le funzioni circolari in matematica.

Obiettivi di apprendimento

In accordo a quanto riportato nelle indicazioni nazionali circa il primo biennio del liceo scientifico [1], attraverso lo studio dell'ottica geometrica lo studente sarà in grado di interpretare il fenomeno della rifrazione e di alcuni strumenti ottici, in particolare le fibre ottiche. Nel primo biennio una componente fondamentale della didattica riguarda le attività sperimentali. Con l'attività di laboratorio prevista in questo percorso, lo studente esplorerà il fenomeno della rifrazione e lo saprà descrivere con linguaggio adeguato, producendo una relazione finale in cui l'esperienza verrà rielaborata in maniera critica. A partire dalle evidenze sperimentali, lo studente verrà condotto a modellizzare situazioni reali ed infine risolvere problemi di natura tecnologica, dando allo studente la possibilità di comprendere potenzialità e limiti delle applicazioni tecnologiche legate alla rifrazione.

In un'ottica di interdisciplinarietà, all'interno del percorso didattico sarà richiesto di conoscere le funzioni circolari, coerentemente con l'obiettivo di apprendimento di matematica (1° biennio) di *“studiare le funzioni circolari sia in un contesto strettamente matematico che sia in funzione della rappresentazione e soluzione di problemi applicativi”* [1].

Sempre in accordo con il traguardo di competenza principale, nel corso di alcune delle attività previste verranno utilizzati documenti tecnici reali in lingua inglese. Questo aiuterà lo studente nel comprendere l'importanza della lingua inglese nella vita reale e in particolare in ambienti di ricerca e di lavoro.

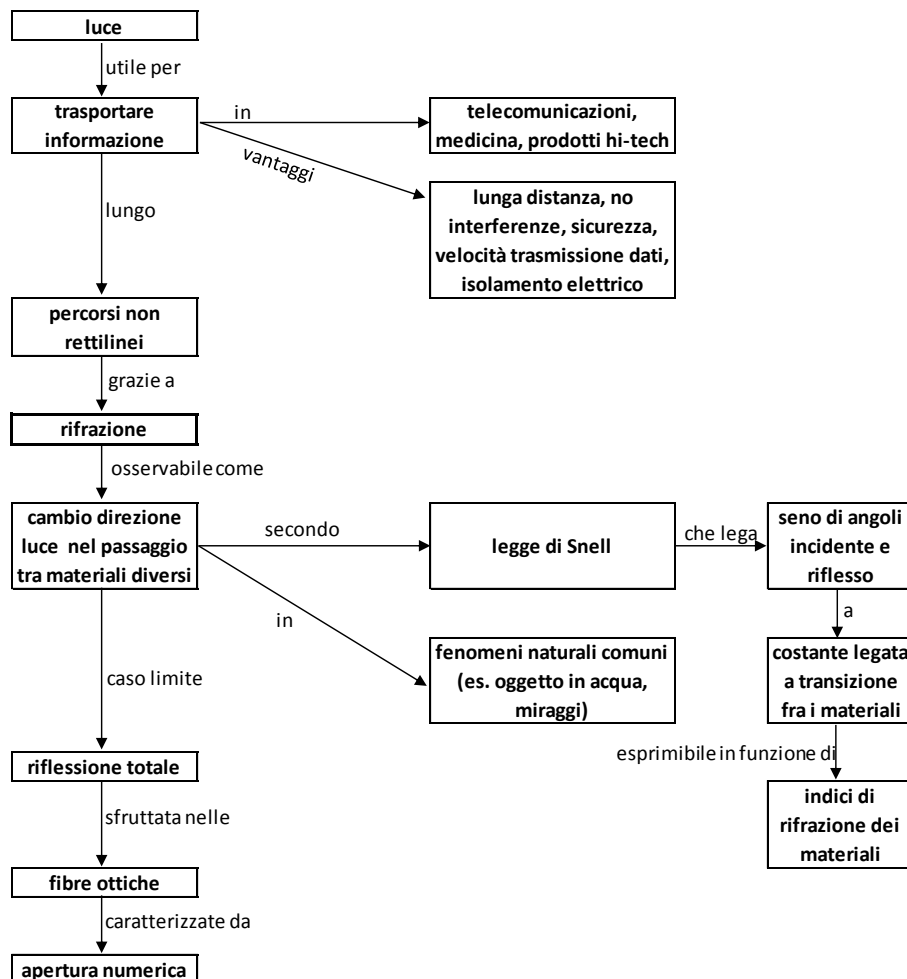


Figura 1: Mappa concettuale per il percorso didattico proposto.

Descrizione delle attività

Le attività sono state strutturate seguendo il modello di apprendimento esperienziale di Kolb [2].

Obiettivi contestuali

In coerenza con il traguardo di competenza e gli obiettivi di apprendimento, le attività proposte mirano a sviluppare gli obiettivi contestuali indicati in Tabella 1. Gli obiettivi sono stati più dettagliatamente esplicitati in termini di abilità e conoscenze.

Obiettivi contestuali	Abilità	Conoscenze
A: Individuare i fenomeni fisici che avvengono in una applicazione tecnologica, comprenderne il ruolo, le potenzialità e i limiti.	<ul style="list-style-type: none"> - saper identificare e scomporre il funzionamento di dispositivo tecnologico. - saper identificare i fenomeni fisici che consentono il funzionamento di tale dispositivo. - saper identificare potenzialità e limiti di un dispositivo tecnologico, anche in confronto a dispositivi che si basano su fenomeni fisici diversi. 	<ul style="list-style-type: none"> - conoscenza di applicazioni tecnologiche che fanno ricorso alla luce. - conoscenza empirica delle caratteristiche generali di un mezzo di comunicazione (portata, velocità dati, rumore).
B: Interpretare i dati ottenuti dall'osservazione di fenomeni naturali.	<ul style="list-style-type: none"> - saper cogliere le relazioni tra le grandezze fisiche studiate, sia qualitativamente che quantitativamente. - saper applicare una regressione lineare a un insieme di dati. 	<ul style="list-style-type: none"> - conoscere la regressione lineare e le informazioni da essa ottenute. - conoscenza basilare delle funzioni circolari. - conoscere le funzioni basilari di un foglio di calcolo.

C: Costruire un modello fisico a partire da osservazioni sperimentali e trarne previsioni.	- saper tradurre informazioni sperimentali in un modello fisico, utilizzando il linguaggio matematico. - saper fare previsioni qualitative e quantitative a partire dalle formule matematiche di un modello fisico.	- conoscere la legge di Snell e la condizione di angolo limite per la riflessione totale. - conoscere i valori degli indici di rifrazione per alcuni materiali comuni (aria, acqua, vetro).
D: Applicare le leggi della fisica in applicazioni pratiche.	- saper impiegare la legge di Snell in sistemi complessi con più di due materiali (es. fibra ottica)	- conoscere la grandezza apertura numerica.
E: Comunicare in ambito scientifico	- saper recuperare e interpretare informazioni tecniche da fonti attendibili (anche in inglese) attraverso internet - saper condurre una <i>peer review</i> per una relazione di laboratorio, in maniera costruttiva e rispettosa.	- conoscenza basilare della lingua inglese e di termini tecnici legati alla rifrazione. - terminologia specifica dei fenomeni legati alla rifrazione.

Tabella 1: Obiettivi contestuali, espressi in termini di abilità e competenze.

Ricognizione delle esperienze pregresse

Durata: 15'÷20'

Ambiente: aula

Modalità: Conversazione clinica

Materiale necessario: nulla

Si presuppone che una ricognizione delle conoscenze iniziali degli studenti sulla natura e la propagazione della luce sia già stata effettuata nel percorso precedente a questo. Gli studenti dovrebbero avere già accettato che la luce si propaghi in linea retta e che venga riflessa da una superficie piana secondo la ben nota relazione tra gli angoli di incidenza e riflessione. In questo caso si porterà l'attenzione degli studenti su due questioni da approfondire:

- Cosa accade ad un raggio di luce quando questo attraversa materiali trasparenti diversi?
- E' possibile deviare un raggio di luce senza adoperare una superficie riflettente? Quali proprietà dei materiali possono avere un ruolo in questo?

Gli studenti discuteranno insieme al docente per dare una risposta condivisa a queste domande. In questa fase verrà impiegata la tecnica della conversazione clinica e attraverso una catena di domande stimolo e di interventi indiretti basati sul rispecchiamento, il rinforzo, il rilancio interrogativo emergeranno le preconoscenze degli alunni. Non si insisterà sul perché la luce possa essere deviata; tale questione sarà infatti più rilevante quando, in un momento successivo a questo percorso didattico, si parlerà della natura ondulatoria della luce.

Esperienza concreta

Durata: 40'

Ambiente: aula

Modalità: dimostrazione dell'insegnante, discussione

Obiettivi contestuali: A, E

Materiale necessario: Fibra ottica con lampada, foglio di carta, piccolo contenitore con acqua, *slide* e proiettore.

Immediatamente dopo la discussione della fase precedente l'insegnante mostrerà una fibra ottica e ne dimostrerà il funzionamento, illuminandola ad un estremo e mostrando la luce in uscita dall'altro, piegando la fibra in diversi modi. Si avrà particolare cura nel mostrare che all'uscita della fibra si forma un cono di luce. Per mostrare più agevolmente il cono di luce il docente si servirà di un foglio di carta, o potrà immergerà l'estremo della fibra in acqua, avendo disciolto in essa della polvere di gesso dalla lavagna.

A seguito della dimostrazione si discuterà in classe su quali siano le applicazioni delle fibre ottiche in ambito tecnologico, e quali vantaggi/svantaggi possano offrire rispetto ad altre tecnologie.

Al termine della discussione, con delle *slide* il docente mostrerà in dettaglio alcuni casi reali significativi, per stimolare ulteriormente l'interesse degli studenti:

- Le fibre utilizzate dalle compagnie telefoniche per portare internet nelle abitazioni; la capacità delle fibre di veicolare dati rispetto alle normali comunicazioni elettriche [3-4].
- Endoscopi utilizzati in ambito medico ed industriale [5].
- Una applicazione in cui si voglia misurare la luce emessa da una certa sorgente luminosa, ma si debba tenere lo strumento di misura lontano da fonti di disturbo [6].
- Alcune sorgenti di disturbi elettromagnetici per le normali comunicazioni elettriche, e gli effetti sulla qualità dei dati trasmessi [7]. Si vuole sottolineare che le fibre ottiche sono immuni a questi disturbi.
- Un esempio di intercettazione di dati trasferiti con segnali elettrici, grazie alle deboli emissioni radio prodotte da questi [8-9]. Si vuole sottolineare che le fibre ottiche sono immuni a questo rischio e trovano perciò impiego anche nei servizi di intelligence.

Compiti per casa: cercare in internet altre applicazioni specifiche delle fibre ottiche, produrre una *slide* che le illustri e caricarla nella piattaforma moodle del corso di fisica. Prendere visione delle *slide* caricate dagli altri studenti.

Osservazione attiva

Durata: 120'

Ambiente: laboratorio di fisica e laboratorio di informatica

Modalità: attività di laboratorio, *collaborative learning*, valutazione tra pari (compiti per casa)

Obiettivi contestuali: B, E (compiti per casa)

Materiale necessario: Kit di laboratorio con lampada, goniometro (sensibilità 1°) e semicilindro in vetro. Parallelepipedo in vetro. Goniometri stampati su carta (sensibilità 1°).

Gli studenti verranno condotti in laboratorio e si divideranno autonomamente in gruppi di due-tre persone. Dopo una rapida presentazione degli strumenti di laboratorio, gli studenti saranno lasciati liberi per una decina di minuti di esplorare in che modo la luce viene deviata variando l'angolazione tra fascio di luce e faccia verticale piana del semicilindro. Durante l'esplorazione libera, agli studenti verrà espressamente detto di considerare l'angolo tra il fascio di luce (entrante o uscente dal semicilindro) e la direzione normale alla faccia verticale piana del semicilindro. Al termine dell'esplorazione libera verranno raccolte le osservazioni degli studenti. Emergeranno le seguenti osservazioni:

- Quando il fascio di luce è perpendicolare alla faccia verticale del semicilindro, non si osserva alcuna deviazione del fascio stesso. Lo stesso si verifica se il fascio incide sulla superficie verticale curva del semicilindro.
- Se il fascio di luce non giunge perpendicolarmente alla superficie piana verticale, l'angolo di incidenza risulta essere sempre maggiore rispetto all'angolo con cui la luce si propaga all'interno del semicilindro (in questa fase non è il caso di parlare subito di angolo di rifrazione). Inoltre, maggiore è l'angolo di incidenza, maggiore sarà l'angolo di propagazione della luce all'interno del semicilindro.
- Quando il fascio di luce entra nel semicilindro attraverso la faccia verticale curva, in un certo intervallo di angoli di incidenza il fascio riesce ad attraversare completamente il semicilindro, ma oltre un angolo limite il fascio si riflette internamente sulla faccia verticale piana del semicilindro. Agli studenti sarà chiesto di misurare quest'angolo.

Agli studenti verrà spiegato che il fenomeno osservato è detto rifrazione. A questo punto all'interno di ciascun gruppo orienteranno il semicilindro in modo che la faccia piana verticale riceva in ingresso il fascio di luce. Gli studenti imposteranno l'angolo di incidenza a diversi valori, tra 0° e 85° a un passo (consigliato) di 5°, e misureranno per ogni caso l'angolo di rifrazione.

Successivamente gli studenti sostituiranno il semicilindro con il parallelepipedo di vetro. Per vari angoli di incidenza (a piacere), gli studenti prenderanno il secondo goniometro (di carta), lo centeranno sul punto di uscita del fascio dal parallelepipedo e misureranno l'angolo di uscita rispetto alla normale. Verificheranno così che (entro gli errori sperimentali) l'angolo di uscita è uguale all'angolo di incidenza.

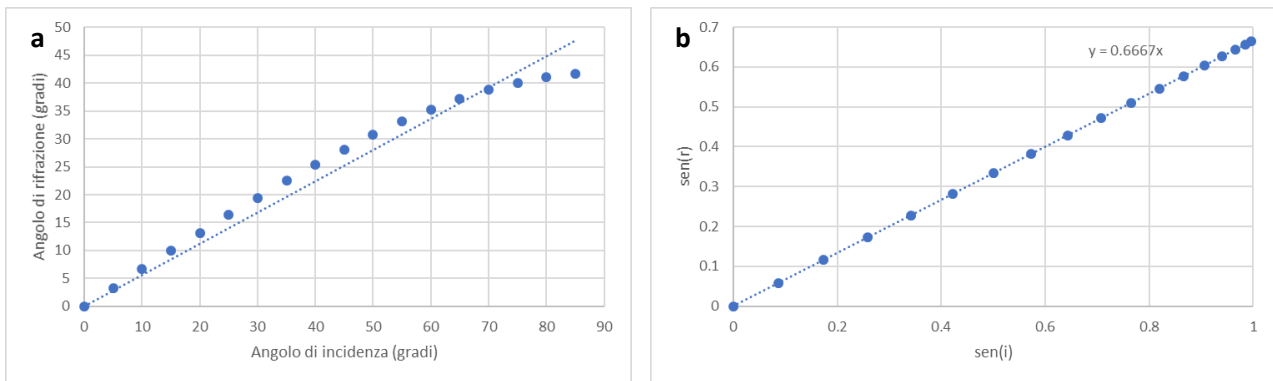


Figura 2: a) Valori dell'angolo di rifrazione in funzione dei rispettivi angoli di incidenza, calcolati assumendo che l'indice di rifrazione del vetro del semicilindro sia pari a 1.5. La retta rappresenta l'andamento stimato da una regressione lineare, con l'ordinata all'origine fissata a 0. b) Valori del seno dell'angolo di rifrazione, in funzione del seno dei rispettivi angoli di incidenza, sempre assumendo che l'indice di rifrazione del vetro del semicilindro sia pari a 1.5. La retta e l'equazione indicano il risultato della regressione lineare sui punti, con l'ordinata all'origine fissata a 0.

A questo punto ci si sposterà in aula di informatica per analizzare con un foglio di calcolo i dati raccolti relativi al semicilindro. Una volta inseriti i valori degli angoli di incidenza e rifrazione, essi verranno rappresentati in un grafico: angolo di rifrazione, variabile dipendente, in funzione dell'angolo di incidenza, variabile indipendente. L'andamento dei punti si scosterà chiaramente da una proporzionalità diretta; ciò sarà ancora più evidente effettuando un fit lineare dei punti, imponendo a 0 l'ordinata all'origine. Un esempio dei grafici attesi è mostrato in Figura 2a. Agli studenti verrà quindi chiesto di fare un secondo grafico simile al primo, rappresentando però il seno degli angoli (un esempio in Figura 2b). Entro gli errori sperimentali, dovrebbe risultare evidente una relazione di proporzionalità diretta. Applicando una regressione lineare, con l'ordinata all'origine libera o fissata a 0 a discrezione (adeguatamente motivata) degli studenti, ogni gruppo otterrà il coefficiente angolare (e il relativo errore) della retta ottenuta dalla regressione. Si chiederà infine di calcolare il seno dell'angolo limite per la riflessione interna al semicilindro. Tale valore dovrebbe essere compatibile con la stima del coefficiente angolare. L'eventuale tempo rimasto potrà essere speso dagli studenti nel laboratorio di informatica per discutere all'interno dei gruppi su quanto fatto, sistemare gli appunti e iniziare a impostare le relazioni di laboratorio.

Compiti per casa: Relazione di laboratorio (individuale), da consegnarsi durante la fase di concettualizzazione astratta. Ogni studente riceverà poi dal docente la relazione di laboratorio di un altro studente (non dello stesso gruppo): verrà richiesto di fornire delle indicazioni costruttive, oneste e rispettose per migliorare il documento. Le indicazioni verranno raccolte dal docente e smistate ai rispettivi autori prima dell'inizio della fase di sperimentazione attiva. Le versioni finali delle relazioni dovranno essere consegnate entro il giorno della prova scritta.

Concettualizzazione astratta

Durata: 120'

Ambiente: aula

Modalità: lezione frontale, a seguire apprendistato cognitivo

Obiettivi contestuali: C, E

Materiale necessario: calcolatrici (degli studenti)

Nella lezione successiva all'attività in aula informatica, si metteranno assieme le osservazioni sperimentali per ottenere un'unica visione coerente delle stesse. La lezione avverrà in modo frontale, chiedendo comunque agli studenti di richiamare quanto osservato in laboratorio, o di indovinare in quale maniera una data osservazione possa essere resa in linguaggio matematico.

- Anzitutto si partirà dalla legge di Snell, indicando che il rapporto tra i seni degli angoli incidente e di rifrazione è uguale ad una costante che dipende dai due materiali coinvolti, che si assume essere omogenei, e dall'ordine con cui i materiali vengono attraversati dal raggio di luce.

- La costante che interessa il passaggio della luce dal vuoto a un certo materiale verrà arbitrariamente definita costante di rifrazione di quel materiale. Verranno forniti alcuni esempi numerici dell'indice di rifrazione per alcuni materiali comuni (aria, acqua, vetro, ecc.) [10], e si spiegherà che nessun indice di rifrazione può essere inferiore a 1. Per comodità si equipara la rifrazione dall'aria a un certo mezzo di propagazione con la rifrazione dal vuoto allo stesso mezzo.
- Dall'esperienza col parallelepipedo in vetro gli studenti vengono portati a intuire che la costante nella legge di Snell relativa alla transizione mezzo-aria è il reciproco della costante per la transizione aria-mezzo.
- Con un esperimento immaginario si analizza il caso di due lastre sovrapposte, composte da materiali con indice di rifrazione diverso, circondate dall'aria. Da ciò si arriverà alla forma completa della legge di Snell, ovvero che il rapporto tra angolo incidente e angolo rifratto è pari al rapporto degli indici di rifrazione dei materiali rispettivamente a valle e a monte della superficie in cui avviene la rifrazione.

Per interiorizzare meglio quanto spiegato verranno svolti dei semplici esercizi volti a:

- Identificare qualitativamente quale tra angolo di incidenza e rifrazione sarà maggiore, dati gli indici di rifrazione dei due materiali, e viceversa.
- Dati degli schemi di rifrazione di un raggio di luce attraverso due o più materiali (di indice di rifrazione noto), indicare quali schemi sono realistici e quali no (e perché).
- Applicare numericamente la legge di Snell.

1-2 esercizi per ogni tipologia verranno svolti inizialmente dal docente, che non mancherà comunque di chiedere agli studenti di fare delle previsioni prima di dare la soluzione. Verrà successivamente presentata una decina di esercizi, che gli studenti dovranno risolvere autonomamente in classe. Ciascuno potrà comunque interpellare il professore o discutere coi vicini di banco per ottenere consigli.

Al termine di questa fase verrà trattato il caso della riflessione totale e verrà definito l'angolo limite per essa. Alla luce di ciò si rivedranno i dati raccolti in laboratorio, per comprendere pienamente perché il seno dell'angolo limite fosse uguale al coefficiente angolare della retta ottenuta come in Figura 2b. Agli studenti verrà chiesto di rispondere alle seguenti domande:

- Se l'indice di rifrazione del vetro fosse stato il doppio, che angolo limite si sarebbe osservato? E se l'indice di rifrazione del vetro fosse stato prossimo a 1?
- Se il semicilindro di vetro e la lampada fossero stati idealmente immersi in acqua, che angolo limite si sarebbe osservato?

Come esempio finale di riflessione totale vengono portati i miraggi prodotti dall'aria calda in prossimità del terreno.

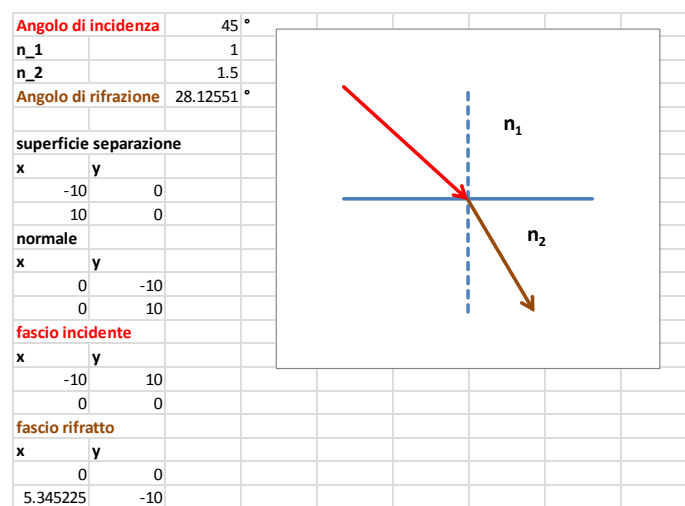


Figura 3: esempio di foglio di calcolo da preparare per casa.

Compiti per casa: Risolvere altri semplici esercizi simili a quelli proposti in classe. Costruire un foglio di calcolo per ottenere l'angolo di rifrazione a partire dall'angolo di incidenza e dagli indici di rifrazione dei materiali; con un grafico mostrare uno schema geometrico della situazione. Variare liberamente i dati di input e osservare che

angolo di rifrazione si ottiene. Un esempio è mostrato in Figura 3. Il foglio di calcolo verrà caricato sulla piattaforma moodle al termine del percorso, insieme alla relazione di laboratorio.

Sperimentazione attiva e valutazione

Durata: 60' (sperimentazione attiva) +60' (prova scritta e discussione dei procedimenti risolutivi)

Ambiente: aula

Modalità: dimostrazione pratica, *collaborative learning*

Obiettivi contestuali: A, C, D, E

Materiale necessario: calcolatrici (degli studenti), bacinella con acqua e sapone (eventualmente anche olio d'oliva), puntatore laser (3÷5 mW), bottiglia di plastica forata con acqua e sapone, *datasheet* fibre ottiche (una copia di ogni *datasheet* per ogni gruppo).

Dopo aver richiamato insieme agli studenti il contenuto della lezione precedente, viene finalmente posta la domanda: è possibile utilizzare la rifrazione per creare un oggetto al cui interno si possa incanalare e trasportare la luce? Quando gli studenti avranno indovinato, il docente effettuerà una dimostrazione pratica di riflessione totale multipla, adoperando un puntatore laser e una bacinella con acqua e sapone. Un esempio è mostrato in Figura 4a: anche se non immediatamente visibile, sotto la bacinella è presente uno strato d'aria dovuto all'incurvamento della base della bacinella. Una soluzione alternativa la si può ottenere con una bacinella riempita di acqua e olio: l'indice di rifrazione dell'olio è infatti superiore sia a quello dell'acqua che quello dell'aria. Una seconda dimostrazione, mostrata in Figura 4b, consiste nel produrre un getto d'acqua da una bottiglia forata, e intrappolare un fascio laser nel getto d'acqua.

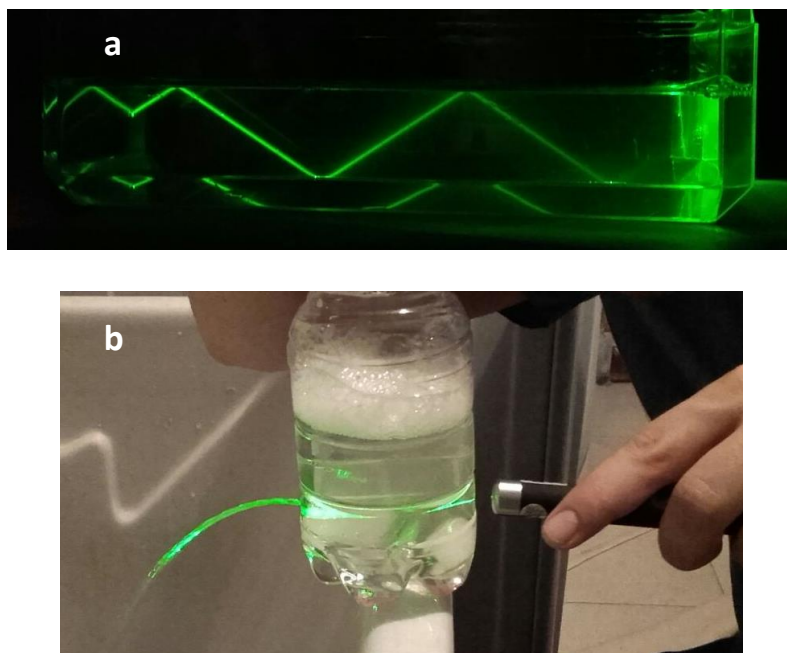


Figura 4: 2 dimostrazioni pratiche per illustrare la riflessione totale: un raggio laser può essere incanalato nel volume di acqua e sapone all'interno di una bacinella (figura a) oppure all'interno del getto di acqua e sapone che fuoriesce da una bottiglia forata (figura b).

A questo punto vengono illustrate la struttura e il funzionamento di una fibra ottica *step-index*, con *core* e *cladding*. Si richiama quanto osservato nella fase di esperienza concreta, e cioè che la luce esce (ed entra) da una fibra entro un cono di accettazione, ovvero che l'angolo tra raggio di luce e asse della fibra non può superare un valore limite. Gli studenti quindi si divideranno in gruppi, all'interno dei quali verrà chiesto di legare il seno dell'angolo massimo di entrata/uscita da una fibra con gli indici di rifrazione di *core* e *cladding*. In non più di 20' i gruppi dovranno giungere al risultato e presentarlo. Verrà quindi presentata la grandezza apertura numerica. Successivamente ai gruppi verranno sottoposti i seguenti casi:

- Un sistema ottico focalizza la luce raccolta dal sistema stesso sulla testa di una fibra. I raggi di luce arrivano con un angolo massimo X .

- Alcune sorgenti di luce sono poste su un piano a una distanza X da una fibra ottica. Rispetto all'asse della fibra ottica le sorgenti si trovano a distanze Y, Z, \dots

I gruppi riceveranno le schede tecniche di alcune fibre ottiche effettivamente messe in commercio [11-14]. I gruppi dovranno quindi calcolare con quali fibre si potrà raccogliere tutta la luce dal sistema ottico del primo quesito, e quali sorgenti di luce menzionate nel secondo quesito potranno essere effettivamente "osservate" da ogni fibra.

Nella lezione successiva, non nello stesso giorno, avrà luogo la prova scritta a conclusione del percorso sulla rifrazione. La prova scritta vera e propria durerà 30'. Vi saranno domande in cui verranno presentati dei casi di rifrazione attraverso due mezzi trasparenti. Gli studenti dovranno indicare quali situazioni sono verosimili, o quali possibili valori (domande a risposta multipla) per gli angoli o gli indici di rifrazione sono compatibili con lo schema fornito. Verrà poi chiesto di calcolare l'angolo limite per la riflessione totale in un oggetto di vetro flint immerso in acqua. Verrà infine chiesto di calcolare l'apertura numerica e l'angolo massimo di accettazione di una fibra commerciale (non fra quelle mostrate in precedenza), dati gli indici di rifrazione di *core* e *cladding* [11-14]. Il resto dell'ora di lezione verrà speso discutendo assieme agli studenti i procedimenti per la soluzione degli esercizi contenuti nella prova scritta. Se dovesse ancora avanzare del tempo, si raccoglieranno le impressioni degli studenti sul percorso fatto ed eventuali dubbi ancora rimasti.

Gli studenti riceveranno in seguito giudizi e indicazioni costruttive sulla prova scritta e sulla relazione di laboratorio. I voti numerici verranno comunicati in maniera riservata, onde sminuire il senso di competizione tra gli studenti e privilegiare un atteggiamento costruttivo tra docente e studenti.

Al termine del percorso didattico, gli studenti verranno valutati rispetto agli obiettivi contestuali specificati nella Tabella 1. La valutazione avrà luogo durante l'intero percorso didattico; essa si baserà sui compiti per casa, sulla relazione di laboratorio e sulla prova scritta, nonché su quanto osservato sistematicamente dal docente in classe circa il grado di partecipazione degli studenti. La Tabella 2 fornisce la rubrica di valutazione sulla base della quale verrà determinato il livello di padronanza maturato da ogni studente in base alle competenze oggetto della valutazione. Quanto ottenuto servirà al docente per adattare il percorso didattico successivo (che riguarderà sempre l'ottica) alla classe, e per agire in maniera mirata su eventuali studenti che hanno dimostrato lacune.

Dimensioni	Criteri	Indicatori	Livelli di padronanza			
			Avanzato	Intermedio	Base	Iniziale
Capacità di analizzare fenomeni fisici	Individuare i fenomeni fisici che avvengono in una applicazione tecnologica, comprenderne il ruolo, le potenzialità e i limiti.	Riconosce le applicazioni tecnologiche che sfruttano la rifrazione.	In modo autonomo e consapevole individua le applicazioni delle fibre ottiche e si dimostra interessato ad approfondire ulteriormente l'argomento.	Autonomamente e seguendo le indicazioni date dall'insegnante individua le applicazioni delle fibre ottiche e riporta le informazioni necessarie.	Individua le applicazioni basilari delle fibre ottiche, riportando alcune informazioni.	Se supportato dall'azione dell'insegnante e guidato da suggerimenti individua le applicazioni delle fibre ottiche.
Capacità di interpretare dati	Interpretare i dati ottenuti dall'osservazione di fenomeni naturali.	Coglie gli elementi qualitativi e quantitativi essenziali delle osservazioni fatte.	Autonomamente e consapevolmente identifica tutti i fenomeni ottenibili dal kit per la rifrazione, ragiona criticamente su di essi ipotizzando ulteriori test da compiere.	Autonomamente riesce a identificare tutti i fenomeni fondamentali nell'osservazione libera, e li sa descrivere correttamente.	Coglie le relazioni fondamentali tra oggetti e azioni coinvolti nella sperimentazione libera.	Se supportato dall'insegnante esplora liberamente in laboratorio e interpreta quanto osservato.
		Sa lavorare con un foglio di calcolo (grafici, funzioni, regressione lineare).	Autonomamente e consapevolmente compie i calcoli e le analisi assegnati, utilizza i fogli di calcoli per simulare condizioni sperimentali alternative.	Seguendo autonomamente le indicazioni fornite dall'insegnante compie tutti i calcoli e le analisi sui fogli di calcolo con ordine, correttezza e eleganza nella presentazione.	Se facilitato dall'insegnante mediante istruzioni specifiche crea fogli di calcolo, identifica e corregge i propri errori nella sua preparazione.	Se supportato dall'insegnante crea fogli di calcolo.
Capacità di costruire modelli fisici	Costruire un modello fisico a partire da osservazioni sperimentali e trarne previsioni.	Conosce e applica la legge di Snell e la condizione per la riflessione totale.	Autonomamente e consapevolmente ricorda ed applica le formule a situazioni complesse, anche in casistiche nuove che non sono state affrontate in classe.	Autonomamente ricorda le formule e le applica in situazioni non banali.	Ricorda le formule e le sa applicare in situazioni basilari.	Se supportato dall'insegnante riesce a ricordare le formule ed eseguire i calcoli.
		Sa fare previsioni qualitative immediate a partire da dati numerici.	Autonomamente e consapevolmente riesce a fare previsioni qualitative istantaneamente, senza dover ricordare tutte le regole e ragionarci.	Autonomamente, seguendo le indicazioni fornite, confronta numericamente le grandezze considerate e fa previsioni qualitative corrette.	Se facilitato, associa dei comportamenti qualitativi alla rifrazione in base ai materiali considerati.	Se supportato con opportuni suggerimenti da parte dell'insegnante riesce a cogliere le relazioni qualitative tra le grandezze in gioco.

Dimensioni	Criteri	Indicatori	Livelli di padronanza			
			Avanzato	Intermedio	Base	Iniziale
Capacità di applicare leggi fisiche	Applicare le leggi della fisica in applicazioni pratiche.	Effettua previsioni quantitative per compiere scelte in ambito tecnologico.	Oltre a effettuare previsioni quantitative, intuisce e analizza quantitativamente altri scenari per una data applicazione tecnologica.	Autonomamente coglie gli aspetti essenziali per il raggiungimento di un dato obiettivo in campo tecnologico. Collega i vari fenomeni coinvolti anche dal punto di vista matematico.	Coglie gli aspetti essenziali per il raggiungimento di un dato obiettivo in campo tecnologico. Con adeguate facilitazioni riesce a collegare i vari fenomeni coinvolti anche dal punto di vista matematico.	Se supportato dall'intervento dell'insegnante ragiona e sa applicare le leggi fisiche.
Capacità di comunicare in ambito scientifico	Comunicare in ambito scientifico.	Recupera e interpreta informazioni tecniche da fonti affidabili, anche in inglese.	Ragiona in maniera critica sull'attendibilità dei documenti che recupera online. Comprende testi in lingua inglese. Si informa attivamente sui dati tecnici a lui sconosciuti.	Consulta in modo autonomo fonti attendibili da internet anche in lingua inglese, recuperando le informazioni richieste e quelle ad essa attinenti.	Consulta fonti attendibili in italiano e in alcuni casi in lingua inglese. Riesce a comprendere parte dei testi e ad estrarre le informazioni essenziali che gli/le servono.	Se supportato è in grado di ricercare e scegliere informazioni da fonti in italiano in internet.
		Conduce una <i>peer review</i> per una relazione di laboratorio in maniera costruttiva e rispettosa.	Dimostra di aver studiato attentamente e consapevolmente la relazione affidatagli/le. Fornisce indicazioni costruttive ben al di là della semplice correzione del contenuto. Incoraggia o comunque dimostra solidarietà verso chi ha scritto la relazione.	Dimostra di aver studiato attentamente la relazione affidatagli/le. Fornisce indicazioni costruttive.	Se facilitato sa una serie di domande guida specifiche esegue la <i>peer review</i> della relazione che gli/le è stata affidata.	Se supportato dal docente esegue la <i>peer review</i> di parte della relazione che gli è stata affidata e fornisce alcune indicazioni.

Tabella 2: Rubrica di valutazione delle competenze.

Riferimenti bibliografici

- 1 MIUR, "Indicazioni nazionali riguardanti gli obiettivi specifici di apprendimento concernenti le attività e gli insegnamenti compresi nei piani degli studi previsti per i percorsi liceali di cui all'articolo 10, comma 3, del decreto del Presidente della Repubblica 15 marzo 2010, n. 89, in relazione all'articolo 2, commi 1 e 3, del medesimo regolamento", decreto 7 Ottobre 2010, n°211, allegato F.
- 2 D.A. Kolb et al., "Experiential learning theory: Previous research and new directions." Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles 1.8 (2001): 227-247.
- 3 N. Massa, "Fiber optic telecommunication." Fundamentals of Photonics. University of Connecticut (2000).
- 4 M. Curran et al., "Basics of fiber optics", white paper, Amphenol Fiber systems, consultato in Maggio 2018 da <http://www.fibersystems.com/pdf/whitepapers/Basics-of-Fiber-Optics.pdf>
- 5 C. Pitris, "Endoscopic imaging", slide del corso *Biomedical Imaging and Applied Optics*, Università di Cipro. Consultazione nel Maggio 2018 da <http://www.eng.ucy.ac.cy/cpitris/courses/ECE477/presentations/English/18.%20Endoscopy.pdf>
- 6 R. Pasqualotto et al., "Spectroscopic diagnostics for the negative ion RF source SPIDER." Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 623.2 (2010): 794-796.
- 7 RF Venue Inc., "Common sources of interference", pagina web consultata nel Maggio 2018 da <https://www.rfvenue.com/blog/2014/12/14/common-sources-of-interference>
- 8 National Security Agency (NSA), "TEMPEST: a signal problem". Consultato nel Maggio 2018 da <https://www.nsa.gov/news-features/declassified-documents/cryptologic-spectrum/assets/files/tempest.pdf>
- 9 V. Bindar, et al., "Aspects of electromagnetic compatibility as a support for communication security based on TEMPEST evaluation." 2014 10th International Conference on Communications (COMM). IEEE (2014).
- 10 Sito web <https://refractiveindex.info>, consultato nel Maggio 2018.
- 11 Thorlabs Inc., "0.22 NA Solarization-Resistant Step Index Multimode Optical Fibers". Pagina web consultata nel Maggio 2018 da https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=6840
- 12 Avago Technologies, "AFBR-HUXYYYY Plastic Optical Fiber Cable", documento consultato nel Maggio 2018 da https://www.mouser.com/ds/2/678/V02-4964EN_DS_AFBR-HUXYYYY_2015-08-19-908554.pdf
- 13 Corning Inc., "Corning 62.5/125 Optical Fiber", documento consultato nel Maggio 2018 da <https://www.photonics.byu.edu/FiberOpticConnectors.parts/images/mmf625.pdf>
- 14 OZ Optics Inc., "Optical fibers", documento consultato nel Maggio 2018 da https://www.ozoptics.com/ALLNEW_PDF/DTS0135.pdf