



**PROPRIETÀ
OTTICHE DEI
MATERIALI**

**MANUALE
DELL'INSEGNANTE**

VERSIONE ORIGINALE

MATERIALS SCIENCE PROJECT

UNIVERSITY-SCHOOL
PARTNERSHIPS FOR THE DESIGN
AND IMPLEMENTATION OF
RESEARCH-BASED ICT-ENHANCED
MODULES ON MATERIAL
PROPERTIES

SPECIFIC SUPPORT ACTIONS

FP6: SCIENCE AND SOCIETY: SCIENCE
AND EDUCATION



**MATERIALS
SCIENCE**



SCIENCE AND SOCIETY



PROJECT COORDINATOR
CONSTANTINOS P. CONSTANTINOU,
LEARNING IN SCIENCE GROUP,
UNIVERSITY OF CYPRUS

PROJECT PARTNERS



ACKNOWLEDGMENT



RESEARCH FUNDING FOR THE
MATERIALS SCIENCE PROJECT
WAS PROVIDED BY THE EUROPEAN
COMMUNITY UNDER THE SIXTH
FRAMEWORK SCIENCE AND
SOCIETY PROGRAMME (CONTRACT SAS6-CT-2006-
042942).

THIS PUBLICATION REFLECTS ONLY THE VIEWS OF
THE AUTHORS AND THE EUROPEAN COMMUNITY IS
NOT LIABLE FOR ANY USE THAT MAY BE MADE OF
THE INFORMATION CONTAINED HEREIN.

© DESIGN:
n.eleana@cytanet.com.cy
2010, NICOSIA - CYPRUS

PROPRIETÀ OTTICHE DEI MATERIALI

Progettazione e sviluppo

Personale Universitario

Gabriella Monroy
Sara Lombardi
Ester Piegari
Elena Sassi
Italo Testa

Insegnanti di scuola

Berlangieri Gerardo
Cascini Emanuela
D'Ajello Caracciolo Gabriele
Di Benedetto Maria
Gallo Susetta
Montalto Giorgio
Santaniello Aurelia
Tuzi Tiziana

Altri contributi

*Trasferimento, implementazione
e feedback*

Personale Universitario

Dimitris Psillos
Hatzikraniotis Euripides
Molohidis Anastasios
Soulis Ioannis

Insegnanti di scuola

Axarlis Stelios
Bisdikian Garabet
Lefkos Ioannis

Esperto esterno

Martine Meheut

INDICE

A: GUIDA DEL DOCENTE 07

1. Introduzione al modulo 08

2. Razionale del modulo 10

3. Aspetti legati alla Natura della Scienza e della Tecnologia 11

4. Teoria fisica di base del modulo 11

5. Prerequisiti del Modulo 21

6. Obiettivi del modulo 21

7. Approccio pedagogico e aspetti metodologici del modulo 22

8. Strumenti basati sull'uso del calcolatore 24

9. Difficoltà degli studenti 25

10. Valutazione dell'apprendimento degli studenti 26

11. Bibliografia 27

B: DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ STUDENTI 31

Note docenti 43

C: STRUMENTI DI VALUTAZIONE 65



**A: GUIDA
PER IL DOCENTE**

1. INTRODUZIONE AL MODULO

Vi è un'attenzione sempre crescente nella comunità europea verso problematiche relative all'alfabetizzazione scientifica e tecnologica, alla diminuzione dell'interesse degli studenti nei confronti di carriere lavorative nella Scienza e nella Tecnologia e al bisogno di stabilire degli standard comuni per gli obiettivi dell'insegnamento scientifico e tecnologico. In un recente rapporto della Commissione Europea (European Commission, 2007) tra le linee di azione e ricerca suggerite per affrontare queste problematiche vi è un chiaro richiamo all'importanza di integrare più efficacemente Scienza e Tecnologia nella pratica scolastica.

Implicitamente, questo richiamo ravvisa la necessità di colmare il distacco tra la vita reale e quello che si insegna a scuola. Se da una parte, infatti, vi è un crescente impatto delle scoperte scientifiche e tecnologiche nelle società industrializzate post-moderne, e la conseguente necessità di prendere decisioni "informate" a livello individuale riguardo problemi legati all'uso di tali scoperte nella vita dei cittadini, dall'altra, gli insegnamenti di materie scientifiche e tecnologiche restano ben divisi e raramente trattano delle relazioni tra queste domini di conoscenza con la società. In Italia, le conseguenze più evidenti di tale distacco si sono manifestate in una serie di decisioni di politica scientifica e tecnologica prese dalle autorità sulla scorta di movimenti di opinione pubblica basate su idee non informate su Scienza e Tecnologia. Solo per ricordarne alcune negli ultimi venti anni: la scelta nel 1987 di rinunciare alla costruzione di centrali nucleari per produrre energia; la sperimentazione nel 1995 di una terapia contro il cancro che pochi esperti della materia consideravano efficace; la legge del 2001 contro l'elettrosmog; la legge 30 del 2006, seguita ad un referendum popolare il cui esito fu molto discusso, che impedisce di fatto la ricerca sulle cellule staminali.

Tale separazione gioca a sfavore sia dell'insegnamento delle materie scientifiche che dell'insegnamento di materie tecnologiche. Da un lato, concetti, leggi e teorie scientifiche sono insegnate in maniera decontestualizzata e socialmente neutra, con ripercussioni negative sull'apprendimento e la motivazione degli studenti; dall'altro, gli insegnamenti

di elettronica, elettrotecnica, tecnologia, disegno e progettazione non posseggono uno status di legittimità tale da poterli inserire nei curricula di indirizzi scolastici che non siano quelli tecnici e professionali.

Da questo scenario emerge la necessità di supportare una più efficace integrazione tra Scienza e Tecnologia.

Tradizionalmente, l'integrazione tra Scienza e Tecnologia è stato uno degli obiettivi del movimento *Science-Technology-Society* (STS), nato intorno alla prima metà degli anni '80 (Ziman, 1980). Il movimento si proponeva come soluzione all'insoddisfazione nei riguardi di alcuni aspetti problematici delle grandi riforme dei curricula scientifici succedutesi nei decenni precedenti, specialmente nei paesi anglosassoni. Tra le problematiche emerse vi erano: scarsa relazione tra i contenuti scientifici proposti e la vita quotidiana degli studenti; poca attenzione alla epistemologia e sociologia della scienza (in breve, natura della scienza) e alla scienza come patrimonio intellettuale universale del genere umano; bassa priorità data ad obiettivi rivolti a preparare gli studenti a diventare cittadini che partecipano in maniera responsabile e consapevole alle decisioni sociali su questioni etiche e morali. Nel movimento STS gli obiettivi chiave erano (Aikenhead, 2003):

- acquisizione di conoscenze (concetti di e su Scienza e Tecnologia) finalizzate alla crescita personale, alla cittadinanza critica o a prospettive culturali;
- sviluppo di competenze (processi di indagine scientifica e progettazione scientifica) finalizzate alla raccolta di informazioni, soluzione di problemi e al prendere decisioni;
- sviluppo di idee e valori (nel contesto delle interazioni tra Scienza, Tecnologia e Società) per problemi locali, politiche pubbliche e problemi globali;

Un corso ispirato al movimento STS poteva abbracciare tutti e three gli obiettivi, dando però ad ognuno di essi un'enfasi diversa. Sulla scorta di queste idee "rivoluzionarie", il movimento STS si diffuse velocemente nel mondo anglosassone, dettando l'agenda delle riforme dei programmi scientifici di alcuni Stati degli Stati Uniti, nel Canada ed in alcuni stati europei fino a metà degli anni Novanta (ad esempio, il progetto PLON nei Paesi Bassi, Salters Horners nel Regno Unito).

In Italia, come anche in altri paesi europei, tale approccio non riuscì mai a penetrare nei programmi scolastici, marginalizzando così la discussione anche sulle idee chiave del movimento STS, in particolare quella della integrazione tra Scienza e Tecnologia. Come conseguenza, dopo più di 20 anni, del movimento resta un senso di inadeguatezza per non essere riusciti a conseguire gli obiettivi che ci si era posti (Zeidler et al., 2005). Quali le ragioni per tale insuccesso? In primo luogo, la eterogeneità degli obiettivi educativi, disciplinari, e formativi e delle loro diverse interpretazioni, che ha minato la coerenza interna del movimento stesso: risultati di ricerca mostrano che gli approcci STS sono significativamente più efficaci degli insegnamenti tradizionali delle scienze nel migliorare l'atteggiamento e l'interesse degli studenti verso la scienza, ma non nel favorire la comprensione disciplinare dei concetti scientifici di base. Prendendo, ad esempio il progetto olandese PLON, Eijkelhof & Lijnse (1988) affermano che: "si potrebbe concludere in via provvisoria che gli studenti PLON sono per lo più non danneggiati nella loro preparazione per futuri studi". Aikenhead (1994) riporta che i risultati di ricerca suggeriscono che la preparazione degli studenti su temi di scienza tradizionali al più non è compromessa da un insegnamento di tipo STS.

In definitiva, dai risultati di ricerca emerge che ciò che il movimento STS si era inizialmente prefisso dal punto di vista educativo si è rivelato forse troppo ambizioso da attuare con successo nella pratica di classe. Quindi, sembra ragionevole tornare alle radici del movimento STS e riflettere sull'importanza del contenuto ai fini dell'integrazione tra Scienza e Tecnologia nei programmi e nella pratica scolastica.

Ad un primo livello di approssimazione, si può affermare che alcune aree di contenuto sono più adatte di altre per promuovere tale integrazione. I criteri per una tale scelta sono diversi: carattere intrinsecamente interdisciplinare che coinvolge la fisica, la chimica, l'ingegneria; una componente ad alto impatto tecnologico; l'utilizzo di applicazioni in qualsiasi futuro ragionevole. La Scienza dei Materiali è una di queste aree idonee, come anche le Biotecnologie, l'Informatica, ecc.

Il termine "Scienza dei Materiali"¹ riguarda diversi ma collegati campi di ricerca. Uno dei campi di ricerca

riguarda lo sviluppo di nuovi materiali solidi per le esigenze tecnologiche della società industrializzata. Solide conoscenze di base di Fisica e Chimica sono necessarie per questo tipo di ricerca, in particolare per quanto riguarda i legami tra le proprietà macroscopiche (note e desiderate) di materiali (solidi principalmente) ed i modelli microscopici che spiegano le proprietà note e sono alla base degli studi verso quelle desiderate. La ricerca si rivolge anche verso materiali organici in settori quali l'ingegneria genetica o la bioingegneria. In questo caso sono necessarie conoscenze di base in Biologia e Chimica, in particolare per quanto riguarda le proprietà macroscopiche dei sistemi biologici studiati. In questi nuovi settori di ricerca si osserva quindi un comune interesse per le applicazioni tecnologiche e una conoscenza di base comune: le proprietà macroscopiche dei materiali, con la loro descrizione scientifica, e i modelli microscopici che vengono utilizzati per la loro *spiegazione scientifica*. Naturalmente ci sono differenze sia a livello macroscopico che microscopico: nel caso di materiali inorganici, entrano in gioco soprattutto le proprietà, fisico-chimiche, mentre nel caso dei materiali organici, entrano in gioco le proprietà biologiche; i modelli dei materiali inorganici usano atomi e particelle subatomiche come componenti, mentre i modelli dei materiali organici usano macromolecole o geni come componenti.

Fino ad ora, la Scienza dei Materiali non è presente come materia nei programmi scolastici né in Italia né in Europa e la ricerca in didattica su questo contenuto è particolarmente scarsa. Il motivo principale è probabilmente imputabile al fatto che la Scienza dei Materiali è una materia interdisciplinare, percepita come altamente specializzata, il cui adeguamento al livello scolastico non è semplice. In realtà, la Scienza dei Materiali, in particolare quella parte che si occupa delle proprietà dei materiali, di per sé consente una integrazione operativa della Scienza e della Tecnologia nella pratica scolastica. Il modulo progettato dall'unità di ricerca di Napoli si occupa in particolare delle "proprietà ottiche dei materiali".

1. M. Vicentini, comunicazione privata

2. RAZIONALE DEL MODULO

Il tema della proprietà ottiche dei materiali è particolarmente adatto per affrontare il tema della integrazione tra Scienza e Tecnologia perché i legami tra la tecnologia e la società e i meccanismi con cui la ricerca di base produce rilevanti ricadute tecnologiche possono essere chiaramente esposti agli studenti. Ma, soprattutto, in questo settore un paradosso è evidente: molti studenti sono a conoscenza (e spesso sono in grado di utilizzare) nella vita di tutti i giorni i prodotti della ricerca in ottica (ad esempio, lettori CD/DVD, macchine fotografiche, occhiali, display di cellulari e i-pod) ma a tale conoscenza pratica di solito non corrisponde una conoscenza seppure elementare della fisica di base di questi dispositivi. Ciò può essere dovuto al fatto che, in molti programmi scolastici tradizionali (tra cui quelli della scuola secondaria superiore), l'Ottica ha un peso minore rispetto alla Meccanica, alla Termodinamica o all'Elettromagnetismo. Infine, questa zona di contenuto permette di trattare contenuti di fisica di base relativi alla propagazione della luce e di riconoscere che alcune proprietà della materia (ad esempio l'indice di rifrazione, la riflettività e la trasparenza) sono alla base del funzionamento di diversi dispositivi usati nel quotidiano.

Queste considerazioni suggeriscono che le proprietà ottiche dei materiali sono un contenuto che vale la pena di ri-elaborare e ri-costruire a fini didattici per una efficace integrazione di Scienza e Tecnologia nella in pratica scolastica.

Nella costruzione del modulo si è seguito un approccio ispirato a quello sviluppato da Jones & Kirk (1990). In questo approccio, il punto di partenza è un oggetto tecnologico, mentre i concetti scientifici relativi al suo funzionamento vengono introdotti solo nello svilupparsi dell'intervento. I vantaggi principali di questo approccio sono la possibilità di mostrare la rilevanza della tecnologia nella vita di ogni giorno e la possibilità di studiare leggi alla base del funzionamento dell'oggetto tecnologico. La debolezza principale di questo approccio consiste nella circostanza che tale oggetto tecnologico è introdotto solo come un contesto iniziale, lasciandolo quindi da parte quando si affrontano i concetti scientifici. Inoltre, l'accento è posto più sull'indagine scientifica che non sulla progettazione dell'oggetto stesso. L'approccio di Kirk & Jones è stato quindi riorganizzato in un processo iterativo: l'insegnamento parte dallo studio di un comportamento preciso di un oggetto tecnologico comunemente usato, procede lungo un percorso volto a studiare sotto quali condizioni il comportamento osservato può essere descritto per mezzo di leggi della fisica e infine arriva alla progettazione dell'oggetto tecnologico stesso. Quindi il ciclo ricomincia guardando ad un altro comportamento della stesso oggetto tecnologica visto da una prospettiva diversa, e mirando all'introduzione di ulteriori leggi della fisica che possano giustificarne il comportamento. Nel complesso, il ciclo a spirale dovrebbe mirare ad una graduale analisi dei principi alla base della progettazione dell'oggetto tecnologico per mezzo dell'indagine sperimentale dei fenomeni fisici ad essa connessi. Lo schema in [Figura A1](#) illustra l'approccio adottato.



FIGURA A1

L'oggetto tecnologico usato è la fibra ottica². L'integrazione tra Scienza e la Tecnologia è incorporata nelle relazioni tra le idee chiave del contenuto scientifico (percorso e deviazione della luce nei materiali) e l'oggetto tecnologico (fibra ottica). Infatti, lo studio delle fibre ottiche può aiutare gli studenti a capire come e in quali condizioni la luce può essere guidata lungo un percorso specifico e come le fibre ottiche sono in grado di farlo. Il ruolo svolto dagli indici di rifrazione dei materiali che costituiscono la fibra ottica può essere chiarito con esempi concreti; inoltre l'analisi di diversi tipi di fibre può favorire la consapevolezza del perché fibre ottiche così diverse sono utilizzati in diversi campi (chirurgia, telecomunicazioni, applicazioni militari, ecc...)

In questo schema, la fibra ottica è introdotta all'inizio della sequenza. Quindi, seguono le indagini svolte ad attuare la ricostruzione del contenuto come descritto in precedenza. Le leggi di riflessione e rifrazione precedentemente introdotte sono usate per interpretare il funzionamento di base della fibra ottica. Il ciclo viene poi iterato per includere nel percorso di insegnamento maggiori indizi per la progettazione di fibre ottiche nel campo delle telecomunicazioni, approfondendo la comprensione della propagazione della luce in materiali non omogenei, con indice di rifrazione non costante.

L'approccio è finalizzato ad aumentare la motivazione degli studenti e ad affrontare alcune idee alternative sull'ottica geometrica note in letterature. La sequenza prevede sia attività di laboratorio che di simulazione parzialmente guidate dall'insegnante. Entrambi i tipi di attività prevedono la partecipazione attiva degli studenti, incoraggiati ad esprimere le loro idee e a formulare ipotesi sui comportamenti dell'oggetto tecnologico osservati, e la condivisione delle conclusioni tratte dalle evidenze sperimentali.

2. Le fibre ottiche sono incluse nei programmi ministeriali per Telecomunicazioni (4° anno di Istituto Tecnico) o trattate come esempio di applicazioni delle leggi dell'ottica geometrica in Fisica (4° anno di Liceo Scientifico)

3. ASPETTI LEGATI ALLA NATURA DELLA SCIENZA E DELLA TECNOLOGIA

L'argomento delle proprietà ottiche dei materiali può essere sfruttato anche per trattare alcuni aspetti legati alla Natura della Scienza e della Tecnologia, e alle loro relazioni implicite ed esplicite con la Società. Per Natura della Scienza si intende qui un insieme di punti di vista che riguardano l'epistemologia e la sociologia della scienza ed i valori e le credenze inerenti alla conoscenza scientifica e il suo sviluppo (Lederman, 1992). Analogamente, si intenderà qui con Natura della Tecnologia l'insieme dei punti di vista che riguardano l'epistemologia e la sociologia della Tecnologia, i valori sottostanti alla Tecnologia come conoscenza umana per sé e i modi in cui essa viene sviluppata. Sebbene esistano diversi punti di vista riguardanti la Natura della Scienza (e della Tecnologia), si condivide l'assunto che le dispute tra i filosofi, gli storici, i sociologi della scienza (e della tecnologia) siano irrilevanti per il livello della Scuola Secondaria Superiore (Lederman, 2006). L'obiettivo che si intendeva perseguire inserendo l'insegnamento esplicito durante il modulo di aspetti legati alla Natura della Scienza e della Tecnologia nel modulo è principalmente quello di aiutare gli studenti ad acquisire un'idea informata su questi aspetti. A tal fine, si è proceduto ad individuare alcune idee chiave attorno cui organizzare gli interventi. Le idee sono: il rapporto tra Scienza e Tecnologia; il ruolo degli esperimenti nella costruzione della conoscenza scientifica; il lavoro degli scienziati.

Per quanto concerne l'idea chiave relativa all'integrazione Scienza e Tecnologia ci si richiama al punto di vista proposto da Lewis (2006). In particolare, attraverso le attività del modulo sono presentati agli studenti sia attività di indagine scientifica (ad esempio, investigare quali sono le proprietà del materiale che costituisce la fibra ottica) che attività di progettazione tecnologica (ad esempio, progettare una fibra tale che i rimbalzi di un fascetto di luce all'interfaccia tra core e cladding siano ridotte). Durante lo svolgimento di queste attività, agli studenti sono evidenziate le loro somiglianze e loro differenze più significative, individuando così un legame concreto tra Scienza e Tecnologia. In secondo luogo, durante le numerose attività di modellizzazione presenti nel modulo, si evidenzia come tale processo sia rilevante ed

essenziale sia per gli scienziati, che così possono, ad esempio, investigare, studiare e prevedere l'evoluzione di fenomeni complessi utilizzando sistemi più semplici, sia per gli ingegneri, che così possono, ad esempio, effettuare uno studio di fattibilità di un progetto rivolto alla soluzione di un problema complesso ricorrendo ad una situazione semplificata. In entrambi i casi, sia lo scienziato che l'ingegnere decidono ciò che può essere considerato marginale nello studio del fenomeno (e pertanto irrilevante) e ciò che invece è essenziale per riprodurre il fenomeno in un sistema semplificato da studiare in laboratorio o da simulare al computer.

Per quel che riguarda le altre due idee chiave, ci si rifà a quanto proposto da Vicentini (2006a, b). Nel primo caso, durante le attività sperimentali del modulo si sottolinea la differenza tra "esperire" e "sperimentare", sottolineando che *"la realtà dell'esperire è la complessa realtà del mondo naturale mentre la realtà dello sperimentare è quella, in parte semplificata, degli oggetti in un laboratorio. L'esperire, in quanto attività spontanea senza una precisa finalità, non prevede a priori una particolare strategia, mentre lo sperimentare, in quanto attività pianificata verso un fine definito, richiede la definizione di procedure atte all'uso che prevedano una pianificazione dell'osservazione"*. In tal modo, si guida gli studenti a comprendere che l'obiettivo degli esperimenti è quello di creare situazioni opportune in laboratorio (ad esempio, mediante la scelta dell'apparato, delle procedure, degli strumenti adatti all'analisi dei dati, dei criteri di interpretazione dei risultati, ecc...) per rispondere a delle domande opportunamente pianificate e che il loro ruolo essenziale è quello di *"stabilire correlazioni tra i parametri misurati che si esplicitano nella definizione di leggi empiriche per la descrizione scientifica del fenomeno"*.

Infine, sulla base di quanto esposto per gli esperimenti, e dell'assunto che la conoscenza scientifica si sviluppa necessariamente in un contesto sociale, si può guidare facilmente gli studenti a comprendere che il lavoro degli scienziati consiste essenzialmente nel costruire e ristrutturare schemi di conoscenza che permettano loro di tenere conto delle informazioni provenienti sia dal lavoro sperimentale che dall'interazione con i propri pari.

4. TEORIA FISICA DI BASE DEL MODULO

LA VISIONE

Vediamo perché della luce arriva al nostro occhio che è l'apparato di rivelazione della luce visibile. Se il nostro occhio è colpito direttamente dalla luce emessa dalle sorgenti di luce o dalla luce riflessa dagli oggetti illuminati. La prima si chiama luce diretta e l'altra luce diffusa perché c'è materia che diffonde la luce.

La diffusione della luce è il principale processo implicato nella visione: solo se ci sono particelle (sufficientemente grandi) colpite dalla luce, possiamo vedere il percorso della luce stessa. Le particelle illuminate dalla luce agiscono come centri di diffusione della luce che li investe e quindi permettono di "vedere" il fascetto luminoso. Se non vi fosse della luce diffusa non si vedrebbe quindi nulla³.

Inoltre, la trasparenza del mezzo nel quale sono immersi l'oggetto e l'osservatore è condizione per vedere distintamente un oggetto.

OTTICA GEOMETRICA

Un materiale omogeneo è un materiale che ha sempre le stesse proprietà nella porzione di spazio considerata. La luce si propaga in maniera rettilinea nei materiali omogenei. Quando la luce incontra una superficie di separazione (che può essere chiamata anche interfaccia) tra due materiali omogenei non prosegue secondo una traiettoria rettilinea ma viene deviata.

Quando la luce incide perpendicolarmente alla superficie di separazione tra le due sostanze, ad esempio acqua ed aria, il fascio l'attraversa indisturbato, proseguendo nell'aria senza alcun cambio di direzione. Se, invece, il fascio incide sulla superficie di separazione con certo angolo, una parte della luce del fascio viene riflessa ed una parte viene invece rifratta, ossia attraversa la superficie di separazione cambiando la direzione di propagazione (Figura A2).

3. È esperienza comune, ad esempio, che a volte dalle persiane di una finestra si vedono ben definiti fasci di luce entrare nella stanza come fossero lame luminose al cui interno si muovono granelli di polvere che sembrano danzare dentro la zona luminosa.

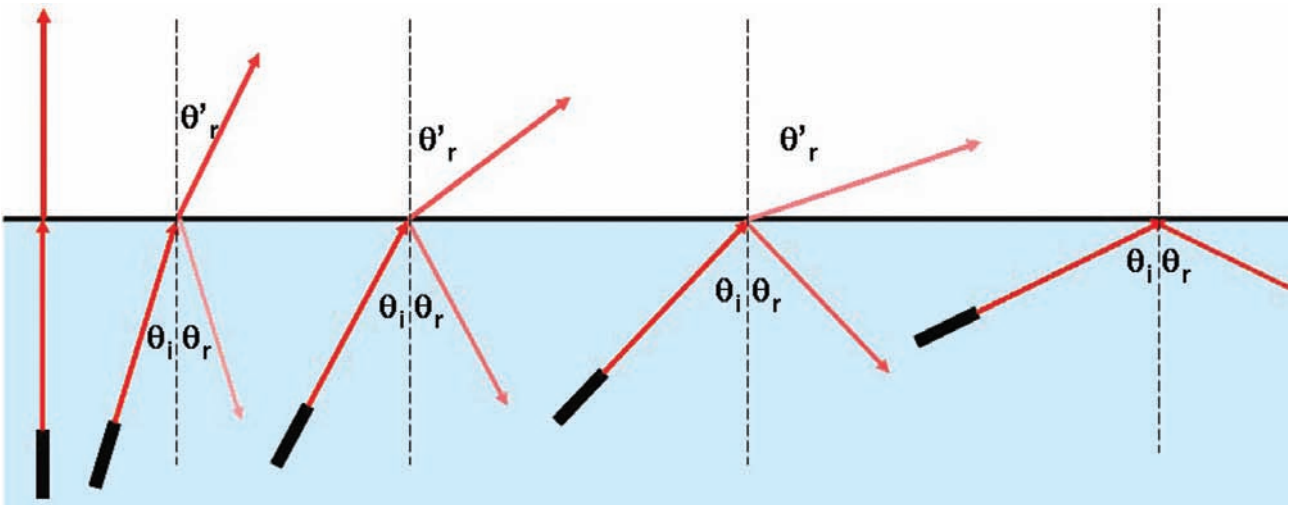


FIGURA A2

Chiariamo un po' i termini su introdotti:

- la superficie di separazione tra due sostanze o materiali ne delimita l'estensione nello spazio e ne definisce il contorno. La superficie di separazione tra due sostanze o materiali può essere anche denominata *interfaccia* tra le due sostanze o materiali. Per esempio la superficie piana di un tavolo è l'interfaccia tra il tavolo e l'aria. La superficie piana dell'acqua in una bacinella è l'interfaccia tra l'acqua e l'aria. Le interfacce non sono necessariamente lisce, in generale sono essere scabre o rugose.
- chiamiamo *fascetto incidente* il fascetto che incide sull'interfaccia di due sostanze o materiali; chiamiamo *fascetto riflesso* il fascetto che non oltrepassa l'interfaccia tra due sostanze o materiali dopo averla incontrata, cioè torna indietro nella sostanza in cui il fascetto si propagava prima di incontrare l'interfaccia. Chiamiamo *fascetto rifratto* il fascetto che attraversa l'interfaccia di due sostanze o materiali dopo averla incontrata cioè viene trasmesso da una delle due sostanze o materiali all'altra, con una direzione di propagazione diversa da quella del fascetto incidente.
- nello schema di [Figura A2](#) un fascetto si propaga dall'acqua all'aria, quindi si dirà che esso incide sull'interfaccia acqua-aria. Si chiama *angolo di incidenza* l'angolo formato dalla retta che rappresenta la direzione di propagazione del fascetto incidente con la retta perpendicolare all'interfaccia stessa. In [Figura A2](#) sono raffigurati

diversi angoli di incidenza, indicati tutti con il simbolo θ_i . Si chiama *angolo di riflessione* l'angolo formato dalla retta che rappresenta la direzione di propagazione del fascetto riflesso con la retta perpendicolare all'interfaccia stessa. In [Figura A2](#) sono anche raffigurati diversi angoli di riflessione, indicati tutti con il simbolo θ_r . Si chiama *angolo di rifrazione* l'angolo formato dalla retta che rappresenta la direzione di propagazione del fascetto rifratto con la retta perpendicolare all'interfaccia stessa. In [Figura A2](#) sono raffigurati diversi angoli di rifrazione, indicati tutti con il simbolo θ_r .

- in una sostanza o materiale omogeneo, cioè che ha sempre le stesse caratteristiche fisiche e chimiche, *la luce viaggia in linea retta*. Sia l'aria che l'acqua sono mezzi "omogenei".
- quando la luce è *riflessa*, *gli angoli di incidenza e di riflessione sono uguali*, cioè

$$\theta_i = \theta_r$$
- *il fascetto rifratto e il raggio riflesso formano con la perpendicolare all'interfaccia angoli di incidenza e rifrazione tali che* (legge di Snell)

$$\frac{\sin(\theta_i)}{\sin(\theta_r)} = n_{1,2}$$

dove $n_{1,2}$ è una costante che dipende da entrambe le sostanze o materiale. In particolare si *definisce*

$$n_{1,2} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

dove n_1 e n_2 sono detti *indici di rifrazione* delle sostanze in cui si propagano rispettivamente il fascetto incidente ed il fascetto rifratto. Nel caso particolare il fascetto incidente si propagava in acqua mentre il fascetto rifratto in aria: si può determinare sperimentalmente che in questo caso

$$n_1 = n_{\text{acqua}} \approx 1.33$$

e

$$n_2 = n_{\text{aria}} \approx 1$$

- l'aria ha un indice di rifrazione molto vicino a quello del vuoto per il quale, per definizione,

$$n_{\text{vuoto}} = n_0 = 1$$

- quando la luce passa da un mezzo con indice di rifrazione minore a un mezzo di indice di rifrazione maggiore, il raggio rifratto si *avvicina* alla perpendicolare all'interfaccia, mentre se la luce passa da un mezzo di indice di rifrazione maggiore ad uno minore, si *allontana* dalla perpendicolare all'interfaccia.
- quando la luce passa *da una sostanza o materiale con indice di rifrazione maggiore ad uno minore*, come nel caso dell'esperimento mostrato, il più piccolo angolo di incidenza per cui non si ha più rifrazione si chiama angolo limite. In tali casi poiché il fascetto rifratto si allontana dalla normale, esso arriverà ad un valore di 90° oltre il quale non esisterà più il fascetto rifratto e tutta la luce si rifletterà nuovamente nella sostanza o materiale in cui si propagava il fascetto incidente. L'esistenza dell'angolo limite è legata al fatto che, dalla legge di Snell introdotta sopra, è possibile trovare dei valori di θ_i per i quali l'angolo di rifrazione θ_r è tale che:

$$\frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_i) \geq 1$$

Il più piccolo di questi valori, quando $\theta_r = 90^\circ$, detto appunto θ_l , è quindi quello per cui:

$$\sin(\theta_l) = \frac{n_2}{n_1}$$

Nel caso in esame,

$$n_1 = n_{\text{acqua}} \approx 1.33$$

$$n_2 = n_{\text{aria}} \approx 1$$

e $\theta_l \approx 48,75^\circ$. Quindi, per avere riflessione totale, un fascetto deve propagarsi da una sostanza con un dato indice di rifrazione ad un'altra con indice di rifrazione minore. Il fenomeno della riflessione totale permette di condurre la luce da un luogo all'altro seguendo percorsi non rettilinei. Per far avvenire questo fenomeno abbiamo però bisogno di due sostanze (o materiali) con due indici di rifrazione diversi.

INTENSITÀ DELLA LUCE SULLA SUPERFICIE

L'intensità della luce riflessa e della luce rifratta varia con l'angolo di incidenza. In particolare, quando l'angolo di incidenza è nullo, l'intensità della luce trasmessa è essenzialmente uguale a quella della luce incidente, non essendoci riflessione. Aumentando progressivamente l'angolo di incidenza del fascio, l'intensità della luce rifratta diminuisce, mentre aumenta quella della luce riflessa. Per angoli di incidenza maggiori dell'angolo limite, l'intensità della luce incidente è uguale a quella della luce riflessa, non essendoci rifrazione. Le variazioni di intensità della luce riflessa e rifratta sulla superficie di separazione tra due mezzi omogenei si possono spiegare in termini di conservazione dell'energia. L'energia trasportata dal fascio di luce incidente si ridistribuisce tra quella del fascio riflesso e quella del fascio rifratto. Indicando con I l'intensità della luce incidente e con I_r ed I_t rispettivamente le intensità della luce riflessa e rifratta, e pensando che **l'intensità del fascio di luce sia legata all'energia trasferita dalla luce nell'unità di tempo ad un oggetto**, per la conservazione dell'energia, si ha: $I = I_r + I_t$. Nei casi in cui l'angolo di incidenza è nullo oppure è maggiore dell'angolo limite, si verificano le due situazioni limite $I = I_t$ o $I = I_r$. In tutti gli altri casi, se aumenta l'intensità della luce riflessa deve diminuire quella della luce rifratta, in modo tale che la loro somma resti costante e pari all'intensità della luce incidente.

FIBRE OTTICHE⁴

Una volta compreso il meccanismo alla base del funzionamento di una guida di luce, è facile capire quello di una fibra ottica che abbiamo esplorato inizialmente.

4. Per maggiori dettagli consultare i seguenti siti:

<http://www.unipi.it/athenet1-14/08/articoli/Addobbati.htm>

<http://www.synova.ch/pdf/ALAC04.pdf>

<http://www.synova.ch/english/synova.html>

http://www.corning.com/opticalfiber/discovery_center/tutorials/fiber_101/aperture.asp

http://www.rpi.edu/dept/phys/SciT/InformationTransfer/reflrefr/rr_summary.html

La fibra ottica è costituita in generale da un sottile filo di vetro a base di silice, che si presenta in natura sotto forma di sabbia proveniente da erosioni o da depositi alluvionali, ha un nucleo interno denominato core di diametro che va da 10 ad alcune decine di μm , ricoperto da un rivestimento concentrico anch'esso di vetro trasparente alla luce ed alla radiazione infrarossa, denominato *mantello (cladding)* di diametro

125 μm . Esistono anche fibre ottiche di materiali simili alla plastica. Il cladding ha indice di rifrazione di poco inferiore a quello del core. Il core ed il cladding, a loro volta, sono ricoperti da un "rivestimento primario" di materiale plastico per la protezione della fibra ottica dalle abrasioni meccaniche: il suo diametro è di 250 μm . In [Figura A3](#) è mostrata la struttura di una tipica fibra ottica:

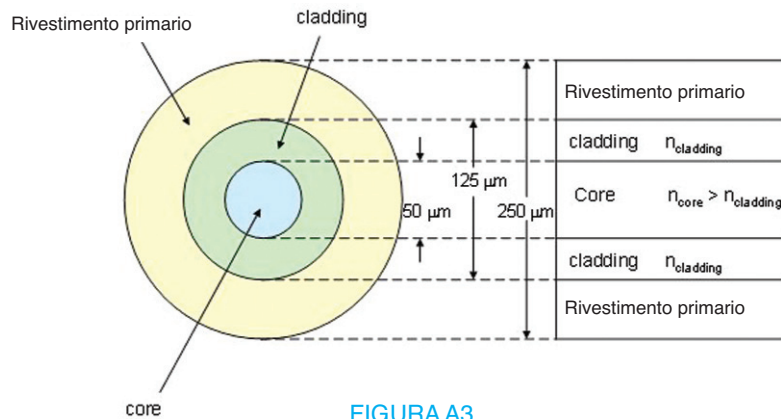


FIGURA A3

La propagazione della luce nella fibra ottica avviene nel core. Poiché l'indice di rifrazione del core è maggiore di quello del cladding, è possibile realizzare riflessioni totali all'interno della fibra inviando un fascetto luminoso tale che l'angolo di incidenza θ_i , alla superficie di separazione tra core e cladding sia maggiore dell'angolo limite θ_l , corrispondente a questi due materiali. In questo modo il fascetto luminoso subisce una riflessione totale e si propaga nel core per riflessioni multiple. Se l'angolo di riflessione fosse inferiore a quello limite si avrebbe rifrazione nel

cladding; una parte del fascetto luminoso si disperderebbe verso l'esterno e solo la parte rimanente si propagherebbe nel core per riflessione. Quest'ultima parte, poi, subirebbe un'ulteriore riflessione e rifrazione e così via: dopo un breve percorso il fascetto di luce si esaurirebbe completamente. Volendo invece propagare la luce senza che essa subisca attenuazioni si lavora in riflessione totale. Mostriamo in [Figura A4](#) uno schema della propagazione della luce in una tipica fibra ottica:

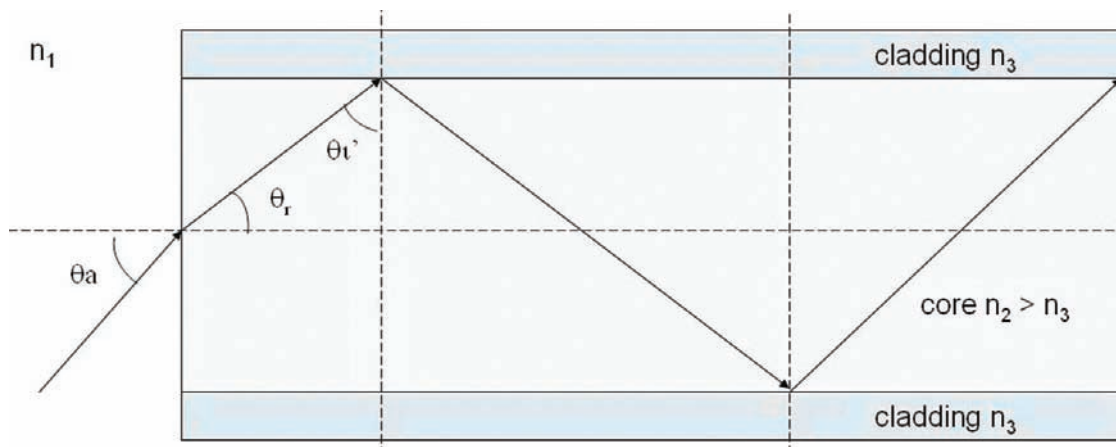


FIGURA A4

La luce entra nella fibra ottica da un mezzo di indice di rifrazione n_1 , e viaggia nel core di indice di rifrazione n_2 . Indicando con θ_α l'angolo di incidenza tra il fascetto di luce nel mezzo con indice di rifrazione n_1 (di solito aria) e l'asse del core, la legge di rifrazione nel nostro caso assume la forma

$$n_1 \sin(\theta_\alpha) = n_2 \sin(\theta_r)$$

Fissati i valori degli indici di rifrazione del core e cladding si definisce angolo di accettazione della fibra θ_M il minimo valore di θ_α che consente la riflessione totale all'interno della fibra. Si definisce *apertura numerica* NA la quantità:

$$NA \equiv n_1 \sin(\theta_M)$$

Al variare degli indici di rifrazione di core e cladding, varia l'angolo di accettazione θ_M e quindi l'apertura numerica della fibra NA. Si può infatti dimostrare che:

$$NA \equiv \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$$

Da questa relazione, se $n_2 = n_3$ si ha $NA=0$ e quindi $\theta_M=0$ e $NA=0$. In questo caso la propagazione può avvenire solo se si inviano fasci luminosi perfettamente paralleli all'asse del core. Se

$$n_2 \equiv n_3$$

si ottiene riflessione totale ad un angolo limite grande⁵, quindi il fascetto si propaga nel core facendo poche riflessioni, ma l'angolo di accettazione θ_M e l'apertura numerica NA restano comunque piccoli. Se invece si rende n_2 abbastanza diverso da n_3 si ottiene un'elevata apertura numerica NA ed elevato angolo di accettazione θ_M , ma piccolo angolo limite θ_l , il che costringe il fascetto a procedere fortemente a zig-zag all'interno della fibra. Valori tipici degli indici di rifrazione di core e cladding sono $n_2=1,48$, $n_3=1,46$, per i quali valori l'angolo limite core-cladding è

$$\theta_l \approx 80,6^\circ$$

$NA=0,242$ e se $n_1=1$ si avrà .

$$\theta_M \approx 14^\circ$$

5. Infatti si ha:

$$\sin(\theta_l) \approx 1 \Rightarrow \theta_l \approx 90^\circ$$

6. Infatti, essendo θ_c il più piccolo angolo per cui si ha riflessione totale tra core e cladding, anche il valore del suo seno sarà il più piccolo possibile

CARATTERISTICHE DELLE FIBRE

- Fibre monomodali e multimodali

Nel seguito, assumeremo che differenti fascetti di luce costituiscono un certo tipo di **segnale** che deve essere trasmesso lungo una fibra. In più, assumeremo che i fascetti di luce sono caratterizzati dalla loro **lunghezza d'onda** λ . Se il core della fibra ha una diametro d molto maggiore (per esempio 100 volte) della lunghezza d'onda media dei fascetti, questi possono entrare ad angoli di incidenza molto differenti tra loro. Questi angoli di entrata sono usualmente chiamata **modi di propagazione** (o semplicemente modi) della fibra: una tale fibra è detta **multimodale**. Una relazione approssimata per determinare il numero di modi M per una data lunghezza d'onda $\bar{\lambda}$ è:

$$M \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\pi d}{\bar{\lambda}} NA \right)^2$$

dove NA è l'apertura numerica della fibra. Se $d = 50 \mu\text{m}$ e $NA=0,24$, alla lunghezza d'onda di 500 nm ,

$$M \approx 4,4 \cdot 10^3$$

Le fibre multimodali hanno molti inconvenienti: il maggiore di questi è che i fascetti di luce possono entrare ad angoli maggiori dell'angolo di accettazione, subendo rifrazione all'interfaccia tra core e cladding con conseguente perdita di informazione. Un possibile rimedio è forzare i fascetti di luce ad entrare nella fibra entro l'angolo di accettazione per avere solo riflessione totale all'interfaccia core-cladding. Anche in questa situazione favorevole, possono sorgere alcuni problemi nella trasmissione del segnale. I fascetti di luce paralleli all'asse della fibra (angolo di entrata = 0°) viaggiano più veloci di quelli non paralleli (caratterizzati da un angolo di entrata $> 0^\circ$ ma minori dell'angolo di accettazione) poiché percorrono una **distanza** minore. Per dimostrarlo, consideriamo i fascetti **a** e **b** in **Figura A5**. Il fascetto **b** entra nella fibra esattamente ad angolo di accettazione (non indicato) e quindi è totalmente riflesso all'interfaccia core – cladding all'angolo limite θ_c . Quando **b** raggiunge l'interfaccia, ha percorso una distanza pari a:

$$\frac{L}{\sin(\theta_c)}$$

mentre il fascetto **a**, che viaggia lungo l'asse della fibra ha percorso una distanza pari a L . Per una data lunghezza L , il fascetto **b** percorre il tratto più lungo

possibile⁶, **a** quello più breve. Poiché **a** e **b** viaggiano nello stesso materiale con la stessa velocità, il fascetto **a** viaggia nel tempo più breve possibile, **b** nel più lungo

possibile. Quindi si avrà, se n_2 , n_3 sono rispettivamente gli indici di rifrazione di core e cladding:

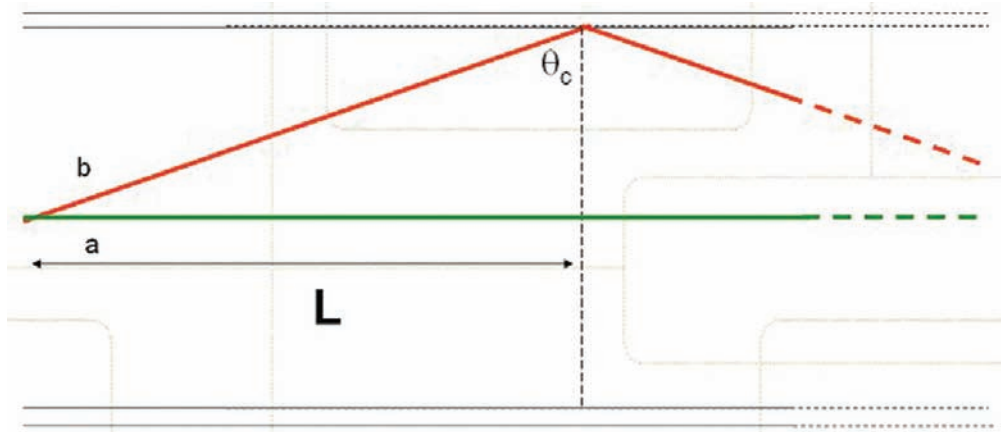


FIGURA A5

$$t_{\min} = \frac{L}{v} = L \frac{n_2}{c}$$

$$t_{\max} = \frac{1}{v \sin \theta_c} L = L \frac{n_2^2}{c n_3}$$

dove abbiamo usato la relazione

$$v = \frac{c}{n_2}$$

Se Δt è il ritardo del fascetto **b** rispetto ad **a** avremo:

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} = \frac{L \cdot n_2}{c \cdot n_3} (n_2 - n_3)$$

È facile dimostrare che questa relazione vale se consideriamo a maggior ragione tutta la lunghezza della fibra. Se i fascetti che costituiscono il segnale impiegano tempi differenti per viaggiare attraverso il core la durata del segnale alla fine della fibra non è la stessa di quella iniziale. Questo fenomeno è detto *dispersione modale*. Per ridurre la dispersione modale è necessario ridurre la differenza tra gli indici di rifrazione di core e cladding. In alcuni casi, però, se il diametro del core è molte volte più grande della lunghezza d'onda della luce usata, rendere n_2 e n_3 molto simile non è comunque sufficiente. Quindi occorre diminuire il diametro del core (per esempio fino a 10 volte la lunghezza d'onda della luce). In questo caso, il numero di modi diminuisce di due ordini di grandezza e l'angolo di accettazione diviene molto piccolo⁷: di conseguenza, quasi tutti i fascetti che

entrano nella fibra viaggiano paralleli all'asse della fibra. Al limite, i fascetti entrano ad un solo angolo e quindi un solo modo è permesso. Una tale fibra è detta monomodale. Un valore approssimato per il diametro d di una fibra **monomodale** è:

$$d \cong 0.76 \frac{\lambda}{NA}$$

dove λ è la lunghezza d'onda della luce utilizzata. Le fibre monomodali sono le più usate nei sistemi di telecomunicazioni. Valore tipico del diametro del core è 5 μm , quello del cladding 125 μm .

- Fibre step-index e graded-index.

Quando gli indici di rifrazione del core e del cladding sono ovunque costanti, la fibra si dice step-index. Questo nome deriva dal fatto che l'indice di rifrazione nell'andare dal core al cladding diminuisce con una discontinuità tipo scalino (Figura A6).

Le fibre step-index sono estremamente affette dalla dispersione modale. Per evitare questo e altri problemi, fibre speciali dette **graded index** sono state progettate in modo tale che andando dal core al cladding, la differenza tra gli indici di rifrazione varia

7. Notare che la relazione numerica $NA = \sqrt{n_2^2 - n_3^2}$ era stata ottenuta nell'approssimazione dell'ottica geometrica, quindi nel caso in cui le dimensioni del diametro del core erano molto maggiori di quelle della lunghezza d'onda λ della luce visibile. Se $d = 10\lambda$ la relazione non è più valida

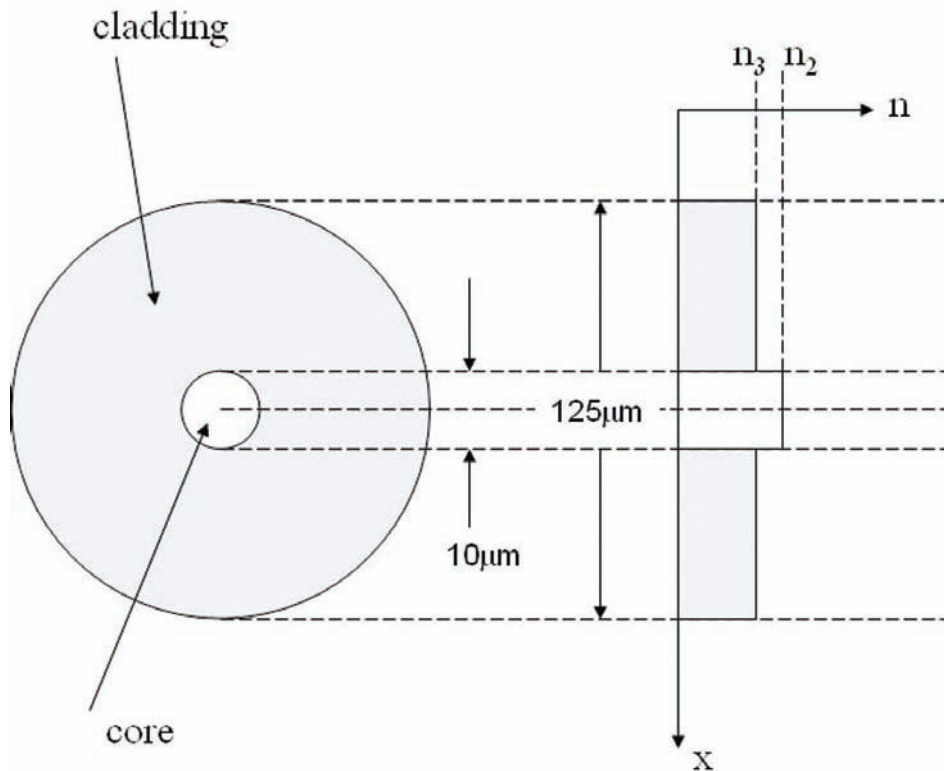


FIGURA A6

gradualmente (Figura A7). In queste fibre, i fascetti di luce non seguono traiettorie rettilinee ma curve. Tra i molti vantaggi di queste fibre, la riduzione della

dispersione modale è uno dei più apprezzabili.

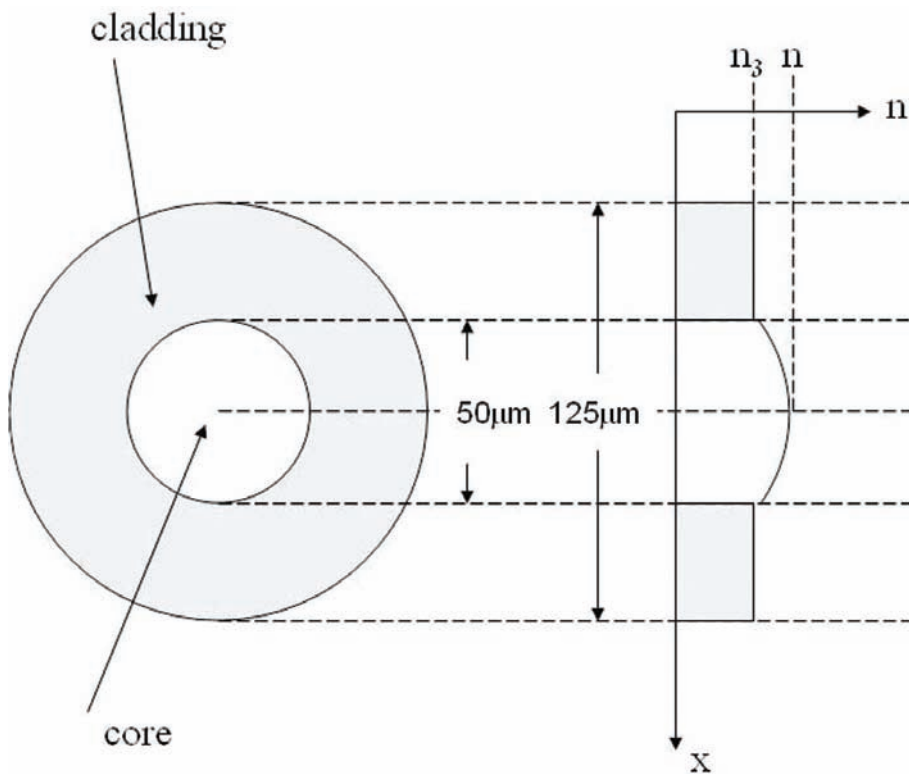


FIGURA A7

PRINCIPALI APPLICAZIONI DELLE FIBRE OTTICHE

Usualmente le fibre ottiche sono inserite in una struttura denominata cavo ottico in grado di resistere alle sollecitazioni esterne di trazione e torsione. Il cavo

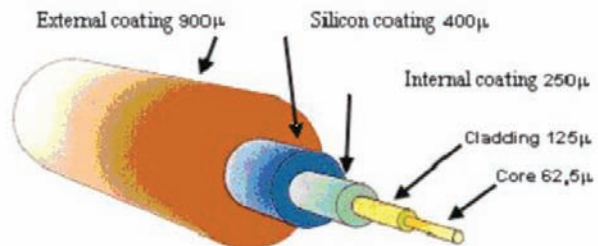
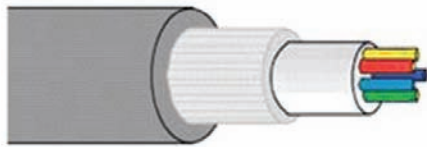


FIGURA A8

Le fibre ottiche vengono attualmente adoperate in tantissimi campi ed è impossibile determinare quale sia il loro principale impiego. Sin negli anni '70 le fibre erano usate come oggetto decorativo per la produzione di lampade, oggi sono un componente essenziale nell'industria delle telecomunicazioni. La fibra ottica in generale è parte integrante di uno strumento (fibroscopio), importante per gli utilizzi che se ne fanno in medicina, ma anche largamente usato in ambito industriale. In definitiva l'utilizzo della fibra ottica si ottiene combinandola con lenti, sonde, lampade e componenti elettrici.

Le fibre sono utilizzate in quattro diversi settori:

- nella trasmissione o trasporto di energia luminosa a bassa potenza. Un esempio è la lampada decorativa che riceve luce da una lampadina in una piccola base e la trasmette alle estremità esterne delle fibre (Figura A9)



FIGURA A9

ottico presenta delle caratteristiche che dipendono dal numero di fibre nel cavo (da quattro ad alcune centinaia, Figura A8).

- all'interno di strumenti di osservazione, per focalizzare la luce in uno spazio limitato, e dunque per esaminare piccoli oggetti in posizioni altrimenti inaccessibili. Le principali applicazioni sono l'ispezione esterna ed interna di componenti quali motori, strumentazioni, intercapedini (Figura A10).
- nella trasmissione della luce (in questo caso si usa luce nella regione del non visibile): si tratta del settore delle telecomunicazioni a fibre ottiche sia su lunghe distanze (come sono le aree metropolitane delle grandi città) che su brevi distanze (reti locali). Le informazioni sono convertite in onde luminose per la trasmissione, e quindi riconvertite nella forma originale. I moderni sistemi di telecomunicazione sono costituiti in genere da un trasmettitore, dispositivo utilizzato per la codifica dei segnali elettrici in segnali luminosi, da fibre ottiche per la trasmissione dei segnali luminosi e da un fotorilevatore per la riconversione dei segnali luminosi in segnali elettrici.
- in endoscopia, termine medico che indica un settore della diagnostica effettuata con strumenti d'ispezione a fibre ottiche sia rigidi che flessibili. I principali strumenti utilizzati in endoscopia sono gli endoscopi, che sono utilizzati per illuminare e visualizzare una immagine ingrandita di oggetti all'interno di cavità, ed i fibroscopi, che sono impiegati per la visione ingrandita ed illuminata in luoghi dove non vi sia accesso rettilineo tra oculare ad oggetto. Questi strumenti possono essere accessoriati nella parte finale con pinze, divaricatori, aghi, tubi per insufflazione ed estrazione di gas, iniezione ed estrazione di liquidi.

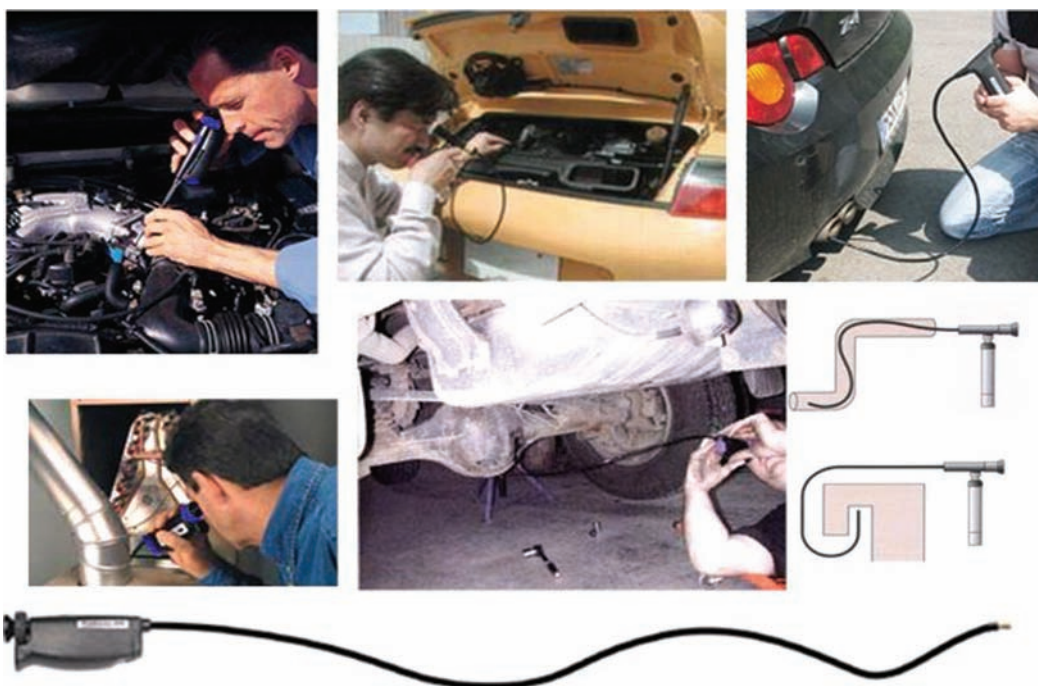


FIGURA A10

Tali strumenti possono essere collegati a telecamere e macchine fotografiche per una corretta visualizzazione delle immagini acquisite.

Tali strumenti sono adoperati nella diagnostica, la terapia ed il decorso postoperatorio. In Diagnostica si adoperano fibroscopi, complementari alla radiologia che mettono a disposizione un sistema diagnostico alternativo quando gli strumenti comunemente usati danno risultati negativi o sono inutilizzabili; essi permettono l'osservazione visiva delle parti più interne del corpo senza ricorrere alla sala operatoria. In *Terapia* possono essere effettuate cauterizzazioni di tessuti; rimozione di corpi estranei; applicazione di graffette di sutura ed iniezioni di farmaci. Nel *Postoperatorio* si può ispezionare l'area cicatriziale ed eventualmente rimuovere punti di sutura.

ULTERIORI APPLICAZIONI DELLE FIBRE OTTICHE

Una curiosa coincidenza vuole che circa 150 anni dopo la scoperta di Colladon, nel 1993, ancora una volta in Svizzera, all'Istituto di Tecnologia di Losanna, poco lontano da Ginevra, viene individuata un'altra importante proprietà di utilizzo della luce in un getto d'acqua: si utilizza un getto d'acqua per guidare un fascio di luce laser con una potenza sufficiente a

tagliare un metallo. Inizialmente, i getti d'acqua attraversati da luce laser (noti come laser water jets) vengono utilizzati per ridurre i danni provocati dal calore in laser-odontoiatria. Successivamente, la tecnologia dei laser water jets trova sempre più largo impiego nei processi industriali che vanno dal taglio di materiali duri al taglio a cubetti di wafer di materiali semiconduttori utilizzati per la realizzazione di circuiti integrati, micro-chips.

L'idea di base di un laser water jet è come abbiamo visto semplice. La realizzazione a livello industriale per il taglio dei materiali è più difficile. Non a caso passano 30 anni tra l'invenzione del laser e la realizzazione del primo water jet guided laser. La sorgente di luce laser è intermittente in modo tale che tra un impulso ed il successivo il getto d'acqua raffredda il materiale su cui si sta operando. Alcuni dei numerosi vantaggi di questa tecnologia sono:

- il getto d'acqua raffredda il materiale investito dalla luce laser e contemporaneamente rimuove i residui rendendo per la prima volta possibile un taglio senza contaminazioni né microscopiche né macroscopiche, ossia eliminando schegge, depositi, deformazioni causate da effetti termici e stress meccanici;
- il diametro del fascio laser è determinato dal diametro del getto d'acqua che è costante, il che

rende stabili le condizioni di taglio permettendo una precisione dell'ordine del micron;

- la qualità del taglio non dipende dalla distanza tra il nozzle (ugello) e il materiale da tagliare, per cui non è necessario stabilire una distanza di controllo;
- il laser water jet esegue tagli in tutte le direzioni: orizzontale, verticale, dal basso verso l'alto;
- la luce laser è guidata nel getto per riflessioni totali interne all'interfaccia acqua-aria, per cui le sole perdite sono causate dall'assorbimento nel liquido, che dipende dal tipo di luce utilizzata e dalla diffusione

Dal punto di vista tecnologico, l'attenzione è sulla consapevolezza del ruolo della scienza in contesti sociali: le fibre ottiche permettono di porre un forte accento sui rapporti fra il mondo scientifico, le problematiche e applicazioni tecnologiche di ogni giorno. L'obiettivo principale è quello di motivare gli studenti verso gli studi scientifici attraverso l'attenzione su un oggetto tecnologico (la fibra ottica) che può essere incontrato nella vita comune (molti studenti hanno sentito parlare del cablaggio della città attraverso le fibre) e che numerose applicazioni (medicina, telecomunicazioni, illuminazione della casa, ecc ...). Nei paragrafi successivi si dettagliano gli obiettivi generali del modulo.

5. PREREQUISITI DEL MODULO

Geometria Euclidea: rette, angoli, condizioni di perpendicolarità e parallelismo, teoremi di Talete e Pitagora

Principi alla base della misura in fisica: sensibilità di uno strumento, accuratezza di una misura, errori di misura

Elementi di statistica: media, deviazione standard

6. OBIETTIVI DEL MODULO

La scelta della guida di luce e delle fibre ottiche come contenuto principale ha guidato la scelta degli obiettivi del modulo. In effetti, dal punto di vista disciplinare, lo studio delle fibre ottiche può permettere / aiutare gli studenti a capire come e in quali condizioni la luce può essere guidata lungo un percorso specifico e come le fibre ottiche riescono a farlo. Il ruolo svolto dall'indice di rifrazione dei materiali della fibra può essere chiarito attraverso esempi concreti e quindi se ne approfondisce la conoscenza, al di là di una semplice formula di apprendimento mnemonico. L'analisi dei diversi tipi di fibre favorisce l'acquisizione da parte degli studenti della consapevolezza sul perché fibre così diverse sono utilizzate in diversi campi. Infine, osservare e studiare il fatto che in una fibra la luce è sì intrappolata ma subisce anche attenuazione è un valore in sé e può portare a discutere di come la luce si comporta quando si propaga all'interno di materiali e a guardare a tali comportamenti in termini di energia (trasferimento e conservazione).

CONCETTI SCIENTIFICI

In questa categoria abbiamo individuato due grandi aree di obiettivi, in particolare quelli relativi ai tradizionali programmi di studio della scuola secondaria ("la fisica tradizionale") e quelli relativi ad argomenti più avanzati, di solito non presenti nei programmi della scuola secondaria di fisica ("fisica non tradizionale"). In particolare, dopo aver completato questo modulo lo studente dovrebbe essere in grado di:

"La fisica tradizionale"

- Descrivere la propagazione della luce in termini di modello di raggio
- Descrivere qualitativamente e quantitativamente come e in quali condizioni la luce devia dal percorso rettilineo (fenomeni di riflessione e rifrazione)
- Caratterizzare i materiali per mezzo del loro indice di rifrazione
- Esplorare in quali condizioni si verifica riflessione interna totale

"Non tradizionali della fisica"

- Precisare in quali condizioni la luce può essere guidata lungo percorsi curvi
- Interpretare il ruolo delle particelle nella trasparenza dei materiali
- Spiegare i principi fondamentali della fisica alla base dell'attenuazione della luce in una fibra
- Distinguere tra il ruolo delle interfacce e quello dell'interno del materiale
- Acquisire consapevolezza di come le proprietà ottiche del materiale determinano il valore di angolo critico.

PROBLEMATICHE LEGATE ALLA TECNOLOGIA

Alcune attività del modulo sono rivolte specificamente a colmare il gap tra conoscenze scientifiche e tecnologiche. Di conseguenza, dopo aver completato questo modulo lo studente dovrebbe essere in grado di:

Mettere in relazione l'angolo di accettazione e apertura numerica di una fibra ottica con le proprietà ottiche dei materiali della fibra.

Saper determinare la relazione tra apertura numerica e indici di rifrazione di nucleo e mantello di una fibra.

Interpretare il fenomeno della dispersione modale.

Discutere le proprietà fisiche alla base di una fibra ottica graded-index.

7. APPROCCIO PEDAGOGICO E ASPETTI METODOLOGICI DEL MODULO

Le attività del modulo sono basate su un approccio didattico che presenta i seguenti aspetti pedagogici e metodologici.

ASPETTI PEDAGOGICI

La scelta principale è quello di fornire agli studenti delle evidenze su quale sia il percorso della luce in determinate condizioni. Tale scelta è legata al fatto che l'ottica geometrica ha a che fare sostanzialmente con traiettorie di luce, ma raramente gli studenti hanno la possibilità nella loro esperienza di ogni giorno di osservare il percorso della luce. A questa fine, tenuto conto anche di studi precedenti in didattica delle scienze in altre aree disciplinari (per esempio, i circuiti elettrici), si è scelto di affrontare questo problema sia dal punto di vista globale che locale.

A livello globale, si affronta la distinzione tra il comportamento della luce quando questa viaggia all'interno di un materiale e quando incontra la superficie di separazione di due materiali. Tale comportamento è correlato con le proprietà ottiche dei materiali (come la trasparenza e l'indice di rifrazione) in primo luogo per mezzo del principio della propagazione rettilinea della luce e poi attraverso leggi della rifrazione e della riflessione.

A livello locale, si approfondisce il comportamento della luce all'interfaccia tra due materiali omogenei: qui l'accento è posto sulla rifrazione e riflessione. Questi fenomeni sono stati introdotti come aspetti della deviazione della luce dal percorso rettilineo e di conseguenza non sono trattati come indipendenti, ma affrontati nelle medesime situazioni sperimentali. In particolare, si è introdotta prima la rifrazione, descritta da una legge che coinvolge l'indice di rifrazione dei due materiali coinvolti, mentre la riflessione è discussa in una situazione di riflessione totale. Più specificamente, la riflessione viene interpretato come un modo per vincolare la luce a propagarsi all'interno di un materiale in un modo non rettilineo. Questo porta ad individuare, le condizioni per guidare la luce quando non si propaga in modo rettilineo. Le leggi della riflessione e della rifrazione introdotte in precedenza vengono poi utilizzate per interpretare il funzionamento di base della fibra ottica. Durante tutte le attività, un forte accento è posto su quello che accade al percorso della luce, quando alcune condizioni alla superficie sono modificate (ad esempio, diverse inclinazioni della superficie di separazione tra due mezzi omogenei).

Un punto di vista globale sulla propagazione della luce è ancora una volta adottato al momento di affrontare la progettazione di fibre ottiche nel campo delle telecomunicazioni, approfondendo la propagazione del fascio di luce in nuclei costituiti da materiali non omogenei.

ASPETTI METODOLOGICI

La prima scelta metodologica è la modellizzazione descrittiva (Lijnse, 2008) ispirata a sua volta dall'approccio "dal reale all'ideale" che il gruppo di ricerca di Napoli da molti anni sperimenta nelle sue proposte didattiche (Sassi, 2001). I percorsi di attuazione dell'approccio iniziano da esperimenti che esplorano fenomeni reali complessi, ben noti agli studenti, in termini di conoscenza di senso comune; procedono quindi verso l'individuazione di regolarità fenomenologiche che si trasformano in regole, attraverso esperimenti sempre più "puliti", in cui gli effetti secondari sono ridotti al minimo. Quindi si procede ulteriormente alla modellizzazione di queste regole, con semplici funzioni matematiche. Il passo finale è l'astrazione verso il caso ideale (o il modello) che rappresenta la legge fisica cercata. Questo approccio è implementato nel modulo attraverso un metodo, proposto dal nostro gruppo (Monroy,

Lombardi & Testa, 2008; Testa & Lombardi, 2007) per mezzo del quale è possibile effettuare misurazioni accurate e costruire efficaci modelli descrittivi di fenomeni in cui è visibile una traiettoria di cui è possibile riprodurre un'immagine al calcolatore tramite una fotocamera digitale. La traiettoria può essere quella di un fascio di elettroni accelerati, come è nel caso dell'apparato di Thomson, o il fronte d'onde d'acqua in un ondoscopio. L'idea di base è quello di modellizzare la traiettoria per mezzo di entità geometriche (linee, circonferenze, parabole, ecc ...) e quindi misurare i suoi parametri attraverso il noto software didattico Cabri Géomètre. Abbiamo ottenuto delle misure accurate (circa $\pm 0.1\%$) della lunghezza d'onda di onde rettilinee e circolari in un ondoscopio e del rapporto tra la carica e la massa dell'elettrone.

Durante le attività del modulo di seguito descritte: si osserva un fenomeno complesso di propagazione della luce (ad esempio in una vaschetta di acqua o in aria) e si eseguono una serie mirata di esperimenti; si importa l'immagine della traiettoria di un fascetto di luce in ambiente Cabri Géomètre al fine di individuare regolarità mediante misurazioni sulla foto; si trasformano le regolarità in regole alla base di simulazioni costruite in Cabri; si tornare all'esperimento originale e lo si interpreta.

Inoltre, ci si propone di utilizzare fotografie digitali scattate dagli studenti che svolgono l'esperimento per stimare in Cabri l'indice di rifrazione dell'acqua e l'angolo di incidenza in corrispondenza del quale si verifica la riflessione interna totale quando un fascio laser si propaga in aria ed acqua, utilizzando. In questo modo gli studenti possono: - costruire un modello semplice di come funziona una fibra ottica; - individuare e stimare i parametri (caratteristiche di un determinato materiale) che permettono di descrivere come un fascio di luce (e quindi anche informazioni da trasmettere) può essere guidato attraverso lo spazio. Ulteriori attività di modellizzazione verranno proposti principalmente per aiutare gli studenti: ad apprendere che lo stesso modello è in grado di descrivere fenomeni diversi; a prendere coscienza delle potenzialità e dei limiti di un modello.

La seconda scelta è un approccio di laboratorio basato sull'indagine scientifica (scientific inquiry). Le ragioni della scelta di tale metodologia possono essere riassunte come segue: comprendere come si svolge l'indagine scientifica è oggi riconosciuto come un

obiettivo centrale nell'apprendimento della scienza (NRC, 1996; Lunetta, 1998); la ricerca ha dimostrato che una più profonda comprensione dei concetti da parte degli studenti può essere raggiunta quando questi ultimi sono coinvolti in attività di indagine scientifica (Metz, 1995); le attività di indagine scientifica possono essere efficacemente supportate dalla tecnologia, al fine di fornire ambienti di apprendimento che siano il più possibile autentici (Edelson, 2001); l'indagine scientifica può favorire la motivazione di giovani studenti verso la scienza (Mistler-Jackson & Songer, 2000) ed il ragionamento scientifico (Metz, 2000).

L'indagine scientifica è definita come "i diversi modi in cui gli scienziati studiano il mondo naturale e propongono spiegazioni sulla base degli elementi derivanti dal loro lavoro" (NRC, 1996, p. 23). Come Krajcik et. al (1999) affermano: "l'indagine scientifica consiste nel fare osservazioni, porre e raffinare domande, alla ricerca di informazioni di base, pianificando e progettando le osservazioni o gli esperimenti, utilizzando gli strumenti più adatti per raccogliere, analizzare, interpretare i dati, spiegare e comunicare i risultati". Ciononostante, punti di vista diversi sull'indagine scientifica sono espressi dai ricercatori in didattica (Schwartz & Crawford, 2006): spesso l'indagine scientifica è intesa solo come "fare esperimenti" ma tale accezione non riflette il complesso significato del termine. In realtà, un dibattito su ciò che è considerato "indagine scientifica autentica" e ciò che è proposto a scuola come "indagine scientifica" è ancora in corso, anche se in alcuni casi, più di un autore condivide il punto di vista secondo cui il termine "indagine scientifica autentica" si riferisce alla pratica di scienziati professionisti e che l'indagine scientifica che si fa a scuola può solo avere delle lontane somiglianze con il processo portato avanti da parte degli scienziati nella loro pratica quotidiana. Ciò significa che solo le caratteristiche essenziali della professione degli scienziati possono essere tradotte nella pratica scolastica dell'indagine scientifica. Esempio di queste caratteristiche sono (Bybee, 2006): lo studente è impegnato in una ricerca che abbia un carattere scientifico; lo studente dà la priorità all'evidenza nel rispondere alla domanda; lo studente dà la priorità allo sviluppo di una spiegazione; lo studente collega la spiegazione alle conoscenze scientifiche; lo studente comunica e giustifica la sua spiegazione. In altre parole, quando gli studenti sono impegnati in attività di indagine scientifica, si trovano

ad affrontare delle “sfide” in cui nuove conoscenze scientifiche sono sviluppate. Le attività di indagine sono essenzialmente centrate sullo studente e hanno lo scopo di concentrarsi sul miglioramento delle sue capacità di astrazione, modellizzazione e capacità di comunicazione.

Nel Modulo la metodologia dell'indagine scientifica viene attuata per mezzo sia di esperimenti che di attività al calcolatore (vedi paragrafo successivo). La ragione di tale scelta non è solo quella di estendere le esplorazioni effettuate negli esperimenti a situazioni non facilmente riproducibili in classe, ma soprattutto fornire agli studenti una modellazione in un ambiente di simulazione (Cabri Géomètre) in cui è possibile analizzare interrogativi scientificamente significativi e facilitare la visualizzazione dei meccanismi alla base del comportamento dei “veri” oggetti (nel nostro caso le fibre ottiche). In questo modo, il contesto dell'indagine si allarga, così come la possibilità di ottenere un apprendimento più autentico dal punto di vista scientifico. Inoltre, in tal modo, è possibile superare la tipica riduzione dell'approccio dell'indagine scientifica ad un approccio del tipo “qual è la risposta giusta?” (Wallace et al, 2000).

Infine, nelle attività del modulo, l'indagine scientifica è interpretata ed applicata in modo tale che l'insegnante: suggerisce una domanda scientifica da esaminare; incoraggia gli studenti a esprimere le loro idee e a formulare ipotesi; suggerisce di eseguire un esperimento semi-guidato; invita gli studenti a valutare diverse ipotesi e a riflettere sulla domanda scientifica iniziale. Affinché questi obiettivi siano efficacemente trasferiti nella pratica scolastica, nonché per ridurre al minimo i rischi che gli insegnanti nella loro classe sfruttino i materiali in modi che differiscono drasticamente da quelli per cui sono stati sviluppati (Kim, Hannafin & Bryan, 2007), è essenziale, per lo sviluppo complessivo del modulo, integrare sinergicamente nel progetto, la formazione e il feedback degli insegnanti.

8. STRUMENTI BASATI SULL'USO DEL CALCOLATORE

Le attività di simulazione basate sul calcolatore proposte nel modulo sono integrate con attività sperimentali. La logica di questa scelta è legata al fatto che le leggi di Snell della riflessione e rifrazione sono spesso verificate per mezzo di esperimenti a basso costo, ma i risultati sperimentali non sono sufficienti per un chiarimento profondo di queste leggi; inoltre, gli apparati sperimentali necessari per delle misure precise non sono sempre facili da introdurre nella pratica scolastica. Pertanto, le simulazioni di fenomeni legati all'ottica sono oggi largamente diffuse per completare le attività di laboratorio su citate. La sinergia del lavoro di laboratorio, simulazioni e attività di modellizzazione è potente dal punto di vista educativo in quanto le competenze che si possono sviluppare con questi tipi di attività sono diverse e complementari tra loro. Inoltre, tale interazione a tre può essere utile per affrontare le seguenti difficoltà: percezione da parte degli insegnanti che le attività di laboratorio presentano più svantaggi che vantaggi dal punto di vista didattico in quanto potenziali imprevisti possono ostacolare il raggiungimento degli obiettivi prefissati; distinzione tra attività di simulazione e attività di modellizzazione, spesso percepite come sinonimi.

Dal punto di vista operativo, le attività basate sul calcolatore, essenzialmente simulazioni, hanno lo scopo di coinvolgere attivamente gli studenti nella ricerca di opportune proprietà ottiche dei materiali per interpretare il comportamento osservato delle semplici guide di luce (come un getto d'acqua) e delle fibre ottiche. Le attività consentono agli studenti di raccogliere degli “indizi” sulle proprietà dei materiali (ad esempio, la trasparenza, la disposizione geometrica, i rapporti specifici tra gli indici di rifrazione, ecc ...); tali indizi sono arricchiti per mezzo di situazioni sperimentali studiate in modo iterativo sotto diversi punti di vista o modelli allo scopo di formulare ipotesi per giustificare i meccanismi alla base dei comportamenti osservati. La plausibilità delle ipotesi formulate dagli studenti viene quindi testata nell'ambiente di simulazione: in particolare, agli studenti viene chiesto di scrivere le frasi che riassumono le regolarità osservate, al fine di migliorarne la sintesi e le capacità di comunicazione.

Le simulazioni sono progettate nell'ambiente di Cabri Géomètre per migliorare le capacità degli studenti di astrazione e le competenze di modellizzazione, soprattutto in ottica geometrica. Ma soprattutto vi è la possibilità per gli insegnanti di scegliere quali simulazioni sono più adatte per gli studenti e, di conseguenza, di scegliere le attività più significative da proporre. In mano agli insegnanti, Cabri Géomètre è uno strumento di simulazione flessibile: ad esempio, l'insegnante può progettare una propria simulazione, oppure può utilizzare in modo personale le foto digitali di esperimenti ottenuti durante le attività di classe), oppure può essere di aiuto nel superare ostacoli tipici osservate nell'attuazione di attività di indagine scientifica nella pratica scolastica (Wallace, 2002) come ad esempio la mancanza di tempo per sviluppare attività significative per gli studenti.

Infine, poiché i materiali utilizzati nella costruzione di fibre ottiche per le telecomunicazioni sono generalmente costosi e non sempre facili da trovare, con Cabri è facile progettare delle simulazioni che sfruttano semplici modelli delle fibre ottiche e che permettono di studiare come le variazioni nelle proprietà ottiche dei materiali (ad esempio dell'indice di rifrazione) modificano il comportamento di una fibra ottica.

9. DIFFICOLTÀ DEGLI STUDENTI

In questo paragrafo è presentato un breve riassunto di alcuni lavori di ricerca didattica pubblicati dagli inizi degli anni '80 riguardo l'ottica. Questi lavori si riferiscono a studenti di età compresa tra i 6 ed i 16 anni e possono essere suddivisi in due gruppi: 1. Difficoltà degli studenti riguardanti la natura della luce e le sue interazioni con lenti, specchi e la materia in generale; 2. Il meccanismo della visione umana. Riassumiamo i risultati di ricerca secondo queste due categorie:

1a) Le idee degli studenti sulla natura della luce sono state studiate molto tempo fa da Piaget (1929, 1930), che ha studiato anche la formazione delle ombre e la proiettività. Più recentemente è stato provato che alcuni studenti pensano che la luce è un "mezzo materiale" (Palacios, Cazorla & Madrid, 1989) o un mezzo residente (La Rosa et al, 1984) che riempie lo spazio "come un mare"

(Selley, 1996) e che non si propaga ma rimane vicino alla sorgente (Stead & Osborne, 1980). Solo per una minoranza di studenti la luce si propaga lungo un percorso rettilineo (Andersson & Karrqvist, 1983; Guesnè, 1984).

1b) Anche se le idee degli studenti riguardo la propagazione della luce sono state ampiamente studiate (see also Tiberghien et al., 1980, Rice & Feher, 1987) molto più comuni sono gli studi sulle difficoltà nel comprendere la formazione delle immagini mediante lenti e specchi piani. In particolare questi studi indicano difficoltà nelle costruzioni delle immagini attraverso il diagramma a raggi, e le ragioni per cui si considerano solo alcuni raggi emblematici (Selley, 1996). D'altra parte il modello a raggi può confondere in quanto gli studenti possono pensare che i raggi siano entità reali (Viennot et al., 2005). In secondo luogo, alcuni studenti pensano che gli specchi riflettano tutta la luce che vi incide sopra, e che l'immagine sia in essi residente o giusto dietro (Goldberg & McDermott, 1986). Un'altra concezione ingenua è che l'immagine dell'oggetto viaggi verso lo specchio in presenza della luce (Galili, Bendall & Goldberg, 1993); una concezione molto simile è anche riferita alle lenti (Galili & Hazan, 2000). È stato anche provato che gli studenti pensano che: - metà lente produce metà immagine (Goldberg & McDermott, 1987); - l'immagine rimane sempre focalizzata indipendentemente dalla distanza tra la lente e lo schermo (Goldberg & McDermott, 1987); - una lente può anche incrementare la velocità e l'energia della luce che la attraversa (Palacios, Cazorla & Madrid, 1989).

1c) Alcuni studenti non interpretano la riflessione e rifrazione come dovuta all'interazione della luce con la materia e/o materiali, ma le pensano come due proprietà mutuamente disgiunte; dove c'è riflessione non c'è rifrazione e viceversa (Palacios, Cazorla & Madrid, 1989). Nello stesso studio sono stati riportati alcuni studi sulla confusione tra rifrazione e diffrazione. Un altro studio (Singh & Butler, 1990) ha dimostrato che gli studenti hanno difficoltà nel tracciare i raggi rifratti in situazioni non standard (come, ad esempio, nel caso di un prisma equilatero e un blocco di vetro circolare) e nel riconoscere le condizioni necessarie per la riflessione interna totale.

-
- 2) Gli studenti usano differenti modelli per spiegare la visione: alcuni studenti conservano il punto di vista Pitagorico, secondo cui la visione è un processo attivo, di cui il soggetto è origine (Guesnè, Tiberghien & Delacôte, 1978). Questo risultato plausibilmente dovuto al linguaggio di uso comune (“lo sguardo che uccide”, “occhi penetranti”, “Vista a raggi-X”), è stato ben confermato (Andersson & Karrqvist, 1983; La Rosa et al., 1984; Palacios, Cazorla & Madrid, 1989). In un altro modello, la luce prima colpisce l'occhio che o lo riflette o emette una specie di raggio che infine raggiunge l'oggetto 'visto' (Crookes & Goldby, 1984; Ramadas & Driver, 1989). Negli altri casi, ci può non essere connessione diretta tra occhio e oggetto, purché esso sia luminoso (Osborne et al., 1990). La maggior parte di questi risultati sono stati confermati da studi che hanno coinvolto futuri insegnanti elementari (Bendall, Galili & Goldberg, 1993; Heywood, 2005). Galili (1996), afferma che in quest'area di contenuto, “le idee ingenuie di cardinale importanza, sebbene modificate, rimangono differenti dagli schemi scientifici”. Questo punto di vista giustifica i molti sforzi di ricerca rivolti ad analizzare difficoltà concettuali in ottica e costruire percorsi didattici che ne tengano conto.

10. VALUTAZIONE DELL'APPRENDIMENTO DEGLI STUDENTI

Gli strumenti di valutazione sono stati progettati per sondare se gli obiettivi di apprendimento prefissati sono stati raggiunti in maniera idonea. In particolare, ci si aspetta da parte degli studenti una solida conoscenza dei concetti affrontati, come il meccanismo della visione, le leggi dell'ottica geometrica di base e il comportamento delle fibre ottiche. Inoltre, gli strumenti di valutazione sono rivolti ad indagare le seguenti competenze: - sfruttare le proprietà ottiche dei materiali per spiegare fenomeni come la riflessione, la rifrazione e la riflessione totale; - spiegare e interpretare i fenomeni osservati attraverso semplici modelli utilizzando Cabri Géomètre o altri strumenti informatici simili (GeoGebra); - progettare e creare semplici esperimenti con materiali comuni; - progettare semplici guide di luce che soddisfano opportuni criteri.

Gli strumenti di valutazione progettati possono essere proposti anche come compiti a casa in modo da essere discussi dal docente durante le sessioni in aula. Gli strumenti di valutazione sono riportati nel documento D.

11. BIBLIOGRAFIA

- Aikenhead (2003) STS education. A rose by other name. In R. Cross (ed), *A Vision for Science Education: Responding to the Work of Peter J. Fensham*. London: Routledge
- Aikenhead, G.S. (1994b). Consequences to learning science through STS: A research perspective. In J. Solomon & G. Aikenhead (Eds.), *STS education: International perspectives on reform*. New York: Teachers College Press, pp. 169-186.
- Andersson, B. & Karrqvist, C. (1983) How Swedish pupils understanding light and its properties. *European Journal of Science Education*, 5, 387-402.
- Bendall, S., Galili, I., & Goldberg, F. (1993) Prospective elementary school teachers' prior knowledge about light. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 9, 1169-1187.
- Bybee R.W. (2006) *Scientific Inquiry and Science Teaching*. n L.B. Flick & N.G. Lederman, *Scientific Inquiry and Nature of Science*. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 1-14.
- Crookes, J., & Goldby, G. (1984) How we see things. In *The science Curriculum Review in Leicestershire, Science as a Process: Encouraging the scientific Activity of Children*, Leicestershire Education Authority, 71-85
- Deci, E.L., & Ryan, R.M. (2000). The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and self-determination of behavior. *Psychological Inquiry*, 11, 227-268.
- Edelson, D. C. (2001). Learning-for-use: A framework for the design of technology-supported inquiry activities. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 3, 355–385.
- Eijkelhof, H. & Lijnse, P. (1988) The role of research and development to improve STS education: experiences from the PLON project. *International Journal of Science Education*, 10, 4, 464-474
- European Commission (2007). *Science Education Now. A renewed Pedagogy for the Future of Europe*
- Galili, I. & Hazan, A. (2000) Learners' Knowledge in Optics: Interpretation, Structure and Analysis. *International Journal of Science Education*, 22, 1, 57-88
- Galili, I. (1996) Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18, 7, 847 - 868
- Galili, I., Bendall, S. & Goldberg, F. (1993) The effects of prior knowledge and instruction on understanding image formation. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 3, 271-301.
- Goldberg, F. M. & McDermott, L. C. (1986) Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror. *Physics Teacher*, 24, 472-480.
- Goldberg, F. M. & McDermott, L. C. (1987) An investigation of student understanding of the real image formed by a converging lens or concave mirror. *American Journal of Physics*, 55, 108-119.
- Guesné, E. (1984) Children's ideas about light. *New Trends in Physics Teaching (Vol. IV)*. UNESCO: Paris, 179-192.
- Guesné, E., Tiberghien, A. & Delacôte, G. (1978). Methodes et resultats concernant l'analyse des conceptions des élèves dans differents domaines de la Physique. Deux exemples: les notions de chaleur et lumière. *Revue Française de Pédagogie*, 45, 25-32.
- Heywood, D. S. (2005) Primary Trainee Teachers' Learning and Teaching about Light: Some pedagogic implications for initial teacher training. *International Journal of Science Education*, 27, 12, 1447-1475
- Jones, A.T. & Kirk, C.M. (1990) Introducing technological applications into physics classroom: help or hindrance for learning? *International Journal of Science Education*, 12, 5, 481-49
- Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., & Soloway, E. (1999). Instructional, Curricular, and Technological Supports for Inquiry in Science Classrooms. In J. Minstrel & E. V. Zee (Eds.), *Inquiry into Inquiry: Science Learning and Teaching*. Washington, D.C.: American Association for the Advancement of Science Press.
- La Rosa, C, Mayer, M., Patrizi, P. & Vicentini-Missoni, M. (1984) Commonsense knowledge in optics: preliminary results of an investigation into properties of light. *European Journal of Science Education*, 6, 4, 387-397.
- Lederman N.G. (2006) Syntax of Nature of Science within Inquiry and Science Instruction. In L.B. Flick & N.G. Lederman (eds) *Scientific Inquiry and Nature of Science: Implications for teaching, learning and teacher education*, 301-317. Dordrecht: Springer
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 4, 331-359.

- Lewis, T. (2006). Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum. *Journal of Research in Science Teaching*, 43, 3, 255-281
- Lijnse, P. L. (2008) Models of / for teaching modeling. In E. van den Berg, T. Ellermeijer, O. Slooten (eds), *Modelling in Physics and Physics Education*. Amsterdam, University of Amsterdam: 20-33
- Lunetta, V.N. (1998). The school science laboratory: Historical perspectives and contexts for contemporary teaching. In D. Tobin, & B.J. Fraser (Eds.), *International handbook of science education* (pp. 249-264). The Netherlands: Kluwer.
- Metz, K. E. (1995). Reassessment of developmental constraints on children's science instruction. *Review of Educational Research*, 65, 93-128
- Metz, K.E. (2000) Young children's inquiry in biology: building the knowledge-bases to empower independent inquiry. In J. Minstrell & E. van Zee (eds), *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science*. American Association for the Advancement of Science: Washington DC, 371-404.
- Mistler-Jackson, M., & Songer, N. B. (2000). Student motivation and Internet technology: Are students empowered to learn science? *Journal of Research in Science Teaching*, 37(5), 459 – 479.
- Monroy, G., Lombardi, & Testa, I. (2007) Teaching Wave Physics Through Modelling Images: Use Of Cabri® To Address Water Waves Geometrical Models And Basic Laws. *Proceedings of International GIREP Conference Modelling in Physics and Physics Education*, Amsterdam, August 20-25, 2006. Full-Text available on-line <http://www.girep2006.nl/>
- NCR [National Research Council] (1996). *National Science Education Standards: Observe, interact, change, learn*. Washington, DC: National Academy Press.
- Osborne, J., Black, P., Smith, M., & Meadows, J. (1990) *Light-Science Process and Concept Exploration Project Report*. Liverpool: Liverpool University Press
- Palacios, F. J. P., Cazorla, F. N. & Madrid, A. C., (1989) Misconceptions on geometric optics and their association with relevant educational variables. *International Journal of Science Education*, 11, 3, 273 – 286
- Piaget, J. (1929) *The Child's Conceptions of the World*. London: Routledge and Kegan Paul
- Piaget, J. (1930) *The Child's Conception of Physical Causality*. London: Routledge and Kegan Paul
- Ramadas, J., & Driver, R. (1989) Aspects of secondary students' ideas about light. *Centre for studies in Science and Mathematics Education*, University of Leeds
- Rice, K. & Feher, E. (1987) Pinholes and images: children's conceptions of light and vision, I. *Science Education*, 71, 4, 629-640.
- Sassi, E. (2001). Computer supported lab-work in physics education: Advantages and problems. In R. Pinto, Surinach, S. (eds) *Physics Teacher Education Beyond 2000*. Paris, Elsevier: 57-64
- Schwartz R.S. & Crawford, B.A. (2006) Authentic Scientific Inquiry as context for teaching nature of science: identifying critical elements for success. In L.B. Flick & N.G. Lederman, *Scientific Inquiry and Nature of Science*. Springer: Dordrecht, The Netherlands, 331-356.
- Selley, N. J. (1996) Children's ideas on light and vision. *International Journal of Science Education*, 18, 713-723.
- Singh, A. & Butler, P. H. (1990). Refraction: conceptions and knowledge structure. *International Journal of Science Education*, 12, 4, 429-442
- Stead, B. F. & Osborne, R. J. (1980) Exploring science students conception of light. *Australian Science Teaching Journal*, 26, 84-90.
- Testa, I., & Lombardi, S. (2007) *Esperimenti didattici e immagini: misure quantitative con Cabri Géométrè*. *Giornale di Fisica*, 48, 3, 151-169
- Tiberghien, A., Delacôte, G., Ghiglione, R. & Matalon, B. (1980) Conceptions de la lumière chez l'enfant de 10-12 ans. *Revue Française de Pédagogie*, 50, 24 - 41.
- Vicentini, M. (2006) *Riflessioni su Insegnamento/Apprendimento*. Documento non pubblicato
- Vicentini, M.. (2006) *Un Quadro Epistemologico per il ruolo degli Esperimenti nella Fisica e nella didattica della Fisica*. Documento non pubblicato.
- Viennot, L., Chauvet, F., Colin, P. & Rebmann, G. (2005) Designing Strategies and Tools for Teacher Training: The Role of Critical Details, Examples in Optics. *Science Education*, 89, 13 – 27

Wallace, R. M. (2002). The Internet as a site for changing practice: The case of Ms. Owens. *Research in Science Education*, 32, 4, 465 – 487.

Wallace, R. M., Kupperman, J., Krajcik, J., & Soloway, E. (2000). Science on the Web: Students online in a sixth-grade classroom. *Journal of the Learning Sciences*, 9, 1, 75 – 104.

Zeidler, D. L., Sadler, T. D., Simmons, M. L., Howes E. V. (2005) Beyond STS: A research-based framework for Socioscientific Issues Education. *Science Education*, 89, 357-377

Ziman, J. M. (1980) *Teaching and Learning about Science and Society*. Cambridge: Cambridge University Press



**B: DESCRIZIONE
DELLE ATTIVITÀ
STUDENTI**

B. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ STUDENTI

Età degli studenti

14-16 anni

Setting raccomandato e approccio pedagogico

Tutte le attività di laboratorio sono integrate con quelle al calcolatore. Durante le attività di laboratorio si raccomanda che gli studenti lavorino in gruppi di 3 o quattro persone, e che il docente al termine di ogni attività inviti gli studenti ad una discussione collettiva. Per quel che riguarda le attività al calcolatore, è importante che gli studenti lavorino in gruppi di due; anche in questo caso l'insegnante può facilitare il confronto tra i diversi risultati ottenuti dai vari gruppi.

UNITÀ 1: GUIDE DI LUCE

Scenario sulle fibre ottiche

Diverse sono le possibilità a disposizione del docente. Nel caso più semplice si può far riferimento alla necessità di avere canali di comunicazione tali da aumentare la velocità con cui si scaricano da internet canzoni e film, e da qui innescare un discorso sulle fibre ottiche (Figura B1). Oppure è possibile far riferimento ad una notizia precisa: il 31 gennaio 2008 vi fu l'interruzione della comunicazioni via internet in molti paesi Asiatici a causa del tranciamento da parte di un'ancora di una nave di alcuni cavi sottomarini di fibre ottiche a nord di Alessandria d'Egitto. Domande stimolo possono essere: *avete mai sentito parlare prima d'ora di fibre ottiche? Sapete come sono fatte? Le avete mai viste?*

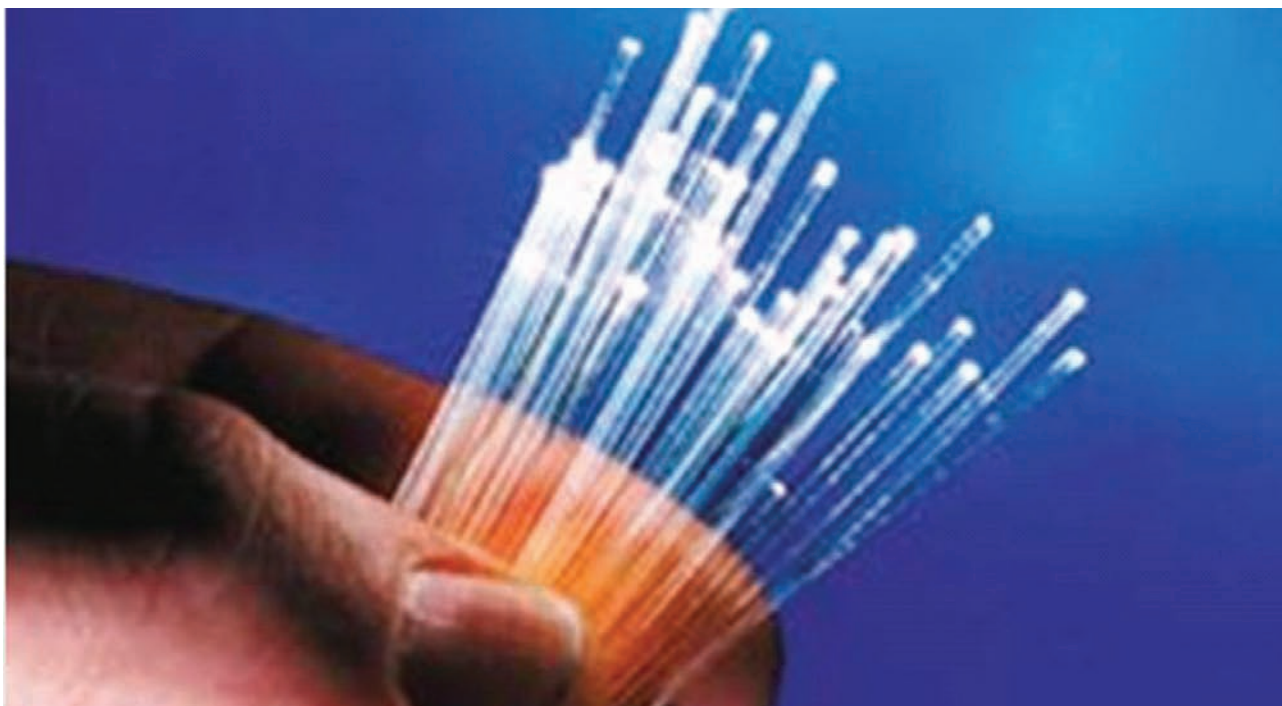


FIGURA B1

1.1. FIBRE OTTICHE

Obiettivi di apprendimento

Comprendere come e per mezzo di quali materiali la luce può essere guidata attraverso percorsi curvi

Organizzazione attività

Esperimenti a piccoli gruppi

Apparato e materiali

- tubicini di plastica o gomma pieni, (qualche mm di diametro) il più possibile trasparenti
- pezzi di fibre ottiche
- pezzi di filo di plastica per lenze dello stesso spessore delle fibre
- qualche lampada a fibre ottiche
- led
- piccole lampadine da torcia
- batterie da 4,5 V
- cartoncino o stoffa nera
- nastro adesivo

Attività di indagine

Gli studenti, in piccoli gruppi, eseguono esperimenti con tubicini di plastica o gomma pieni, pezzi di fibre ottiche, pezzi di filo di plastica per lenze dello stesso spessore delle fibre, lampada a fibre ottiche. Al termine di queste attività è possibile comprendere che le fibre ottiche sono tubicini pieni di un materiale trasparente ed hanno la proprietà di guidare la luce e trasmettere segnali. Inoltre, si fa osservare che né i tubicini di plastica né le lenze fungono da guide di luce. Questo permette di concludere che la fibra non è un qualsiasi filo di plastica sottile e trasparente ma deve essere fatta di un materiale che abbia proprietà particolari.

1.2. POSSIAMO REALIZZARE UNA GUIDA DI LUCE?

Obiettivi di apprendimento

LO1B1 Comprendere il ruolo dell'interfaccia tra due materiali omogenei

Organizzazione attività

4-5 studenti per gruppo eseguono l'esperimento

Apparato e materiali

- una vaschetta di dimensioni 30 cm; altezza 18 cm; profondità: 16 cm, (misure indicative) (Un acquario di plastica a basso costo è ottimale)
- Puntatore laser di basso costo
- Acqua di rubinetto. Cartone nero per oscurare
- Stracci per asciugare l'acqua

Attività di indagine

Si effettua l'esperimento del "getto colorato" in cui si mostra come si possa guidare la luce, guidando gli studenti a comprendere che questo è un buon candidato per studiare quali siano i principi di funzionamento di una fibra ottica. L'esperimento viene realizzato con un acquario di plastica a basso costo, forato, ed un puntatore laser di basso costo. Viene così realizzata una guida di luce mediante un getto d'acqua (Figura B2).

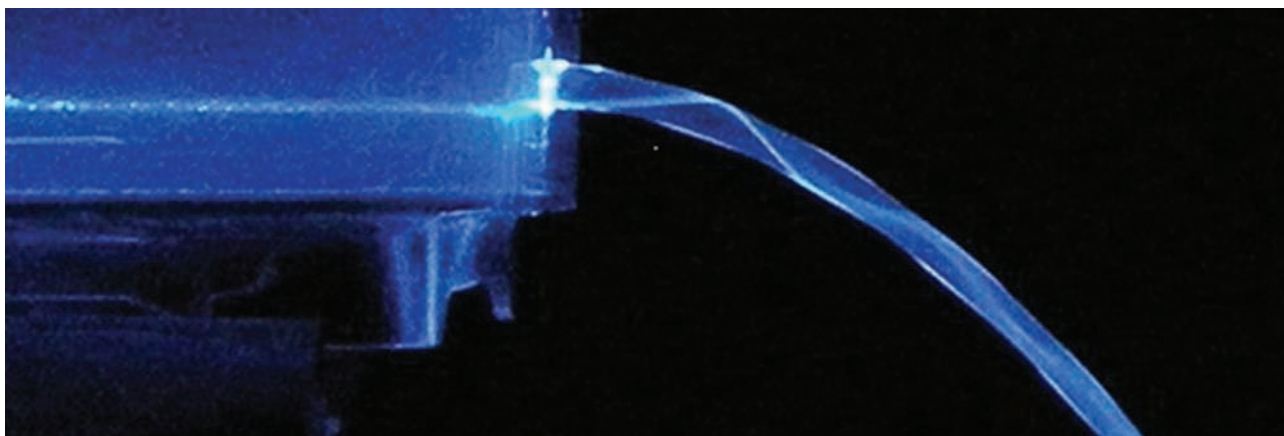


FIGURA B2

Dopo che gli studenti in piccoli gruppi hanno eseguito l'esperimento, l'insegnante porta l'attenzione sul percorso effettuato dal fascetto laser, dapprima nelle zone in cui il percorso è rettilineo (all'interno della vaschetta, dove c'è solo acqua) e successivamente in una zona in cui la luce incontra anche una superficie di separazione tra due mezzi (acqua ed aria). L'osservazione e l'analisi di questi due tratti mirano a introdurre i concetti di materiale omogeneo e di interfaccia di separazione fra due materiali. Si caratterizza un materiale omogeneo come un materiale che ha sempre le stesse proprietà nella porzione di spazio considerata. Quindi, si fa osservare con attenzione il percorso del fascetto di luce nello zampillo: il raggio laser è come "guidato" lungo un percorso curvo e nel getto d'acqua fa una serie di "rimbalzi" proprio sulla superficie di separazione (interfaccia) acqua-aria. Lo zampillo d'acqua può essere considerato, con buona approssimazione, nei limiti in cui il getto non si rompe, come un cilindro curvo pieno d'acqua le cui pareti (superficie laterale) sono fatte di aria (importante è sottolineare la successione di due mezzi incontrati dalla luce, prima acqua poi aria). Quindi, richiamando gli esperimenti della attività 1, è ragionevole supporre che quello che si è osservato accadere nel getto d'acqua sia analogo a quanto accadeva nella fibra. In quel caso il materiale che costituiva la guida non era noto, qui il materiale è composto da acqua circondata da aria. Emerge quindi, naturalmente, che, per realizzare una "guida" di luce, è necessaria la presenza di due materiali omogenei diversi e di una superficie di separazione tra essi (Figura B3).

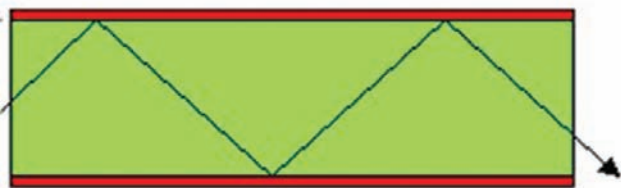


FIGURA B3

1.3. OSSERVIAMO IL PERCORSO DELLA LUCE

Obiettivi di apprendimento

Distinguere semplici modi diversi per deviare la luce
Identificare caratteristiche qualitative dei fasci di luce che si propagano nei materiali

Organizzazione attività

Gli studenti a gruppi di 5 o 6 realizzano l'esperimento

Apparato e materiali

- una vaschetta di dimensioni 40 cm; altezza 20 cm; profondità: 16 cm, (misure indicative) senza foro (Un acquario di plastica a basso costo è ottimale)
- Puntatore a fascetto laser
- Acqua
- Candela di incenso

Attività di indagine

Si propone un esperimento in cui la luce fa un cammino analogo a quello osservato nel getto d'acqua. Il setting è però tale che in questo caso è possibile fare delle misure quantitative. Si utilizza la stessa vaschetta dell'attività precedente ma senza foro. Puntando il laser verso l'acqua si osserva che, per alcuni angoli di inclinazione del laser, una parte del fascetto è riflessa, un'altra rifratta (Figura B4). Per altri angoli, si osserva che il fascetto è riflesso totalmente all'interno dell'acqua contenuta nella vaschetta (Figura B5).

Si guida gli studenti a capire che il fascetto laser, incidendo sulla superficie dell'acqua (interfaccia aria-acqua) non segue più un percorso rettilineo ma devia. È possibile definire i fascetti incidenti, riflessi e rifratti e i corrispondenti angoli formati con la normale all'interfaccia.

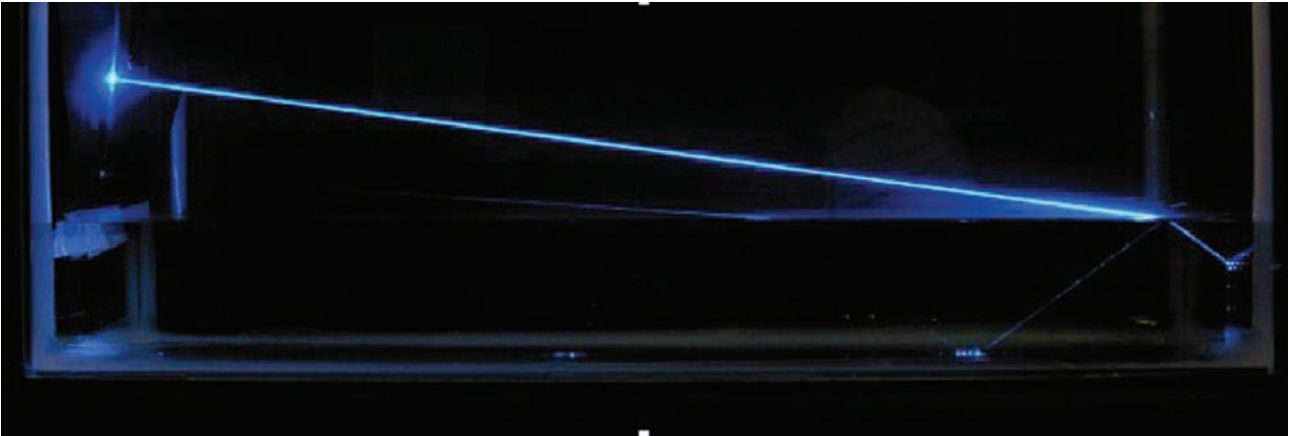


FIGURA B4

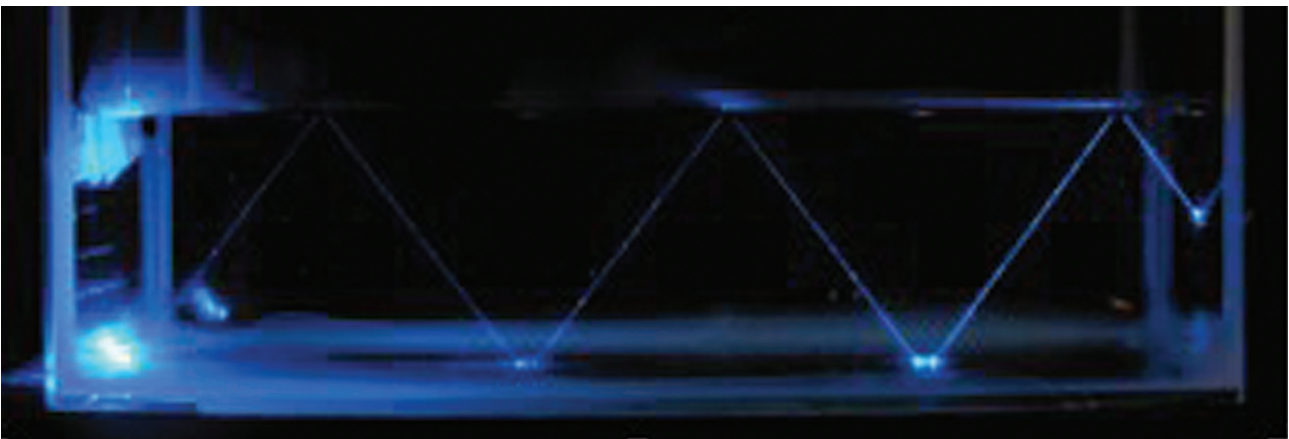


FIGURA B5

1.4. COME E QUANDO DE VIA LA LUCE? RIFRAZIONE

Obiettivi di apprendimento

Interpretare i fenomeni ottici con il modello di raggio.
Interpretare il rapporto costante $\sin r / \sin i$.
Misurare e calcolare l'indice di rifrazione di un mezzo.

Organizzazione attività

Attività con Cabri a piccoli gruppi di studenti.
Discussione in aula.

Attività di indagine

Qui si introduce il software Cabri. Gli studenti anche in questo caso partecipano in piccoli gruppi. È possibile modellizzare l'esperimento precedente passando da una situazione reale a tre dimensioni ad una situazione ideale a due dimensioni. Il passaggio è effettuato mediante una foto digitale dell'esperimento stesso. Importando la foto in Cabri è possibile lavorare con delle semirette invece che con dei fascetti reali e

con una retta invece che con una superficie di separazione. Dopo questo passaggio, è possibile definire gli angoli di incidenza, rifrazione e riflessione formati dalle rispettive semirette con la normale alla retta che rappresenta l'interfaccia tra i due materiali in studio, acqua ed aria (Figura B6). Si suggerisce inizialmente agli studenti di valutare il rapporto tra il seno dell'angolo di incidenza e quello di rifrazione: il confronto tra le misure ottenute con le relative incertezze dai vari gruppi dovrebbe condurre a definire l'indice di rifrazione relativo acqua-aria come una costante che dipende solo dai due mezzi. Quindi, utilizzando una simulazione in Cabri che ripropone una situazione simile a quella dell'esperimento (Figura B6) si conduce gli studenti a stabilire l'indipendenza dell'indice di rifrazione dall'angolo di incidenza e dalla quantità di acqua nella vaschetta (Figura B7). L'insegnante può eventualmente riassumere queste regolarità nella legge di Snell.

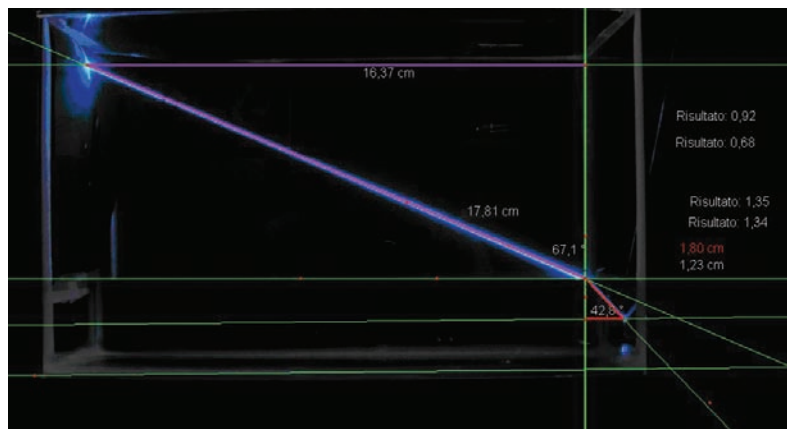


FIGURA B6

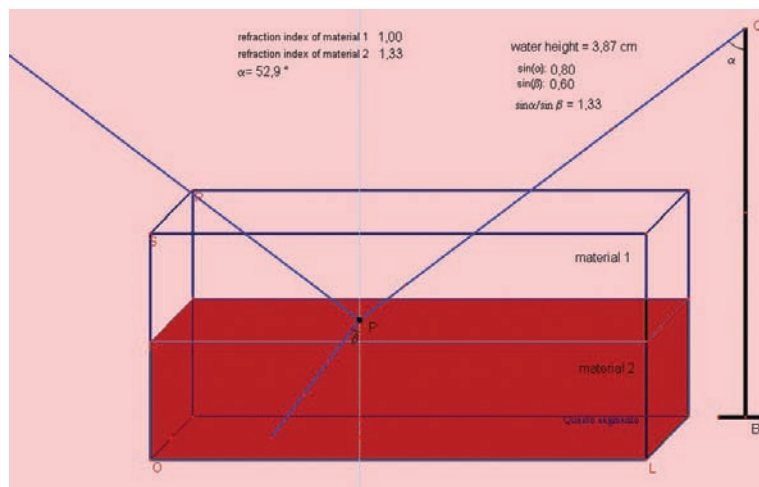


FIGURA B7

1.5. COME E QUANDO DEVIA LA LUCE? RIFLESSIONE

Obiettivi di apprendimento

Interpretare i fenomeni ottici con il modello di raggio.
Comprendere che rifrazione e riflessione accadono sempre all'interfaccia tra due mezzi.
Misurare e calcolare l'angolo critico tra due mezzi.

Organizzazione attività

Attività con Cabri a piccoli gruppi di studenti
Discussione in aula.

Attività di indagine

Si continua ad esplorare il comportamento della luce nell'esperimento della vaschetta. Gli studenti, utilizzando una foto simile a quella in [Figura A4](#) ed un

procedimento di modellizzazione simile a quello dell'attività precedente, misurano gli angoli di incidenza e riflessione arrivando alla conclusione che questi sono uguali ([Figura B8](#)).

Quindi si utilizza un'altra simulazione in cui la situazione sperimentale è riportata fedelmente ([Figure B9 e B10](#)). Qui gli studenti possono osservare che ruotando la semiretta a che rappresenta il fascetto incidente è possibile osservare sotto quale angolo spariscono i fascetti rifratti. In questo modo si può introdurre il concetto di angolo limite, il più piccolo angolo di incidenza in acqua per il quale il fascetto rifratto in aria scompare.

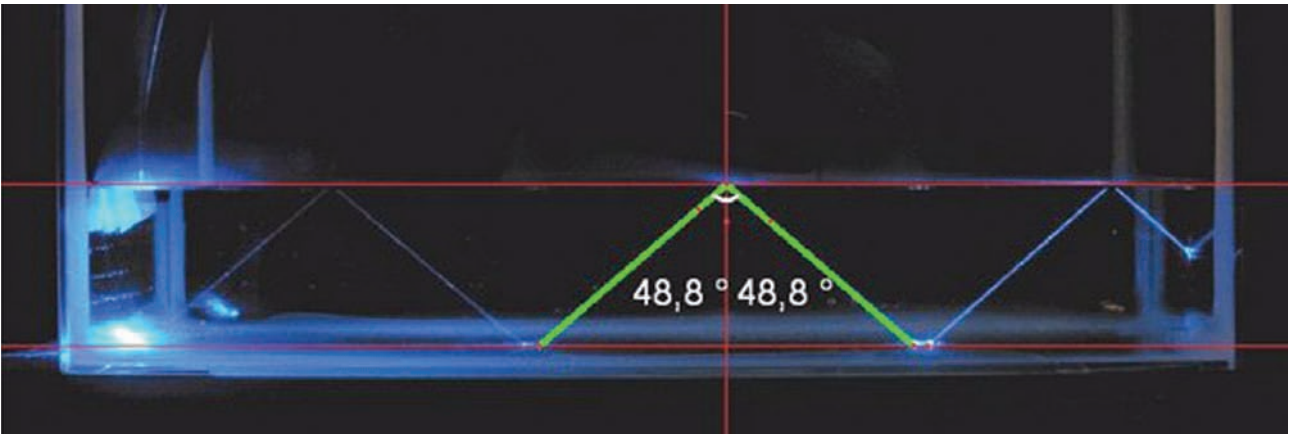


FIGURA B8

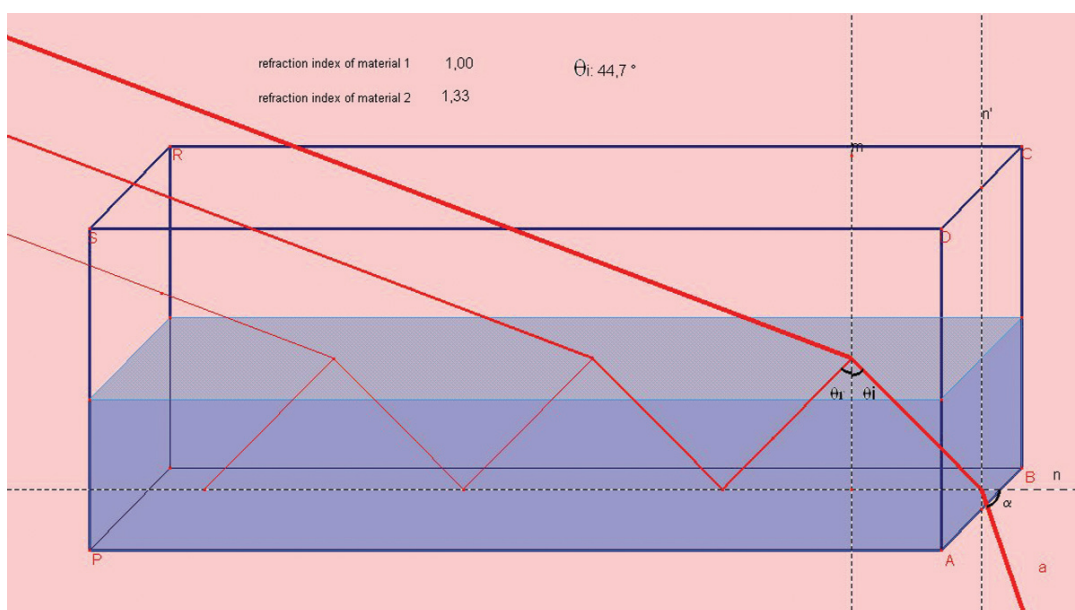


FIGURA B9

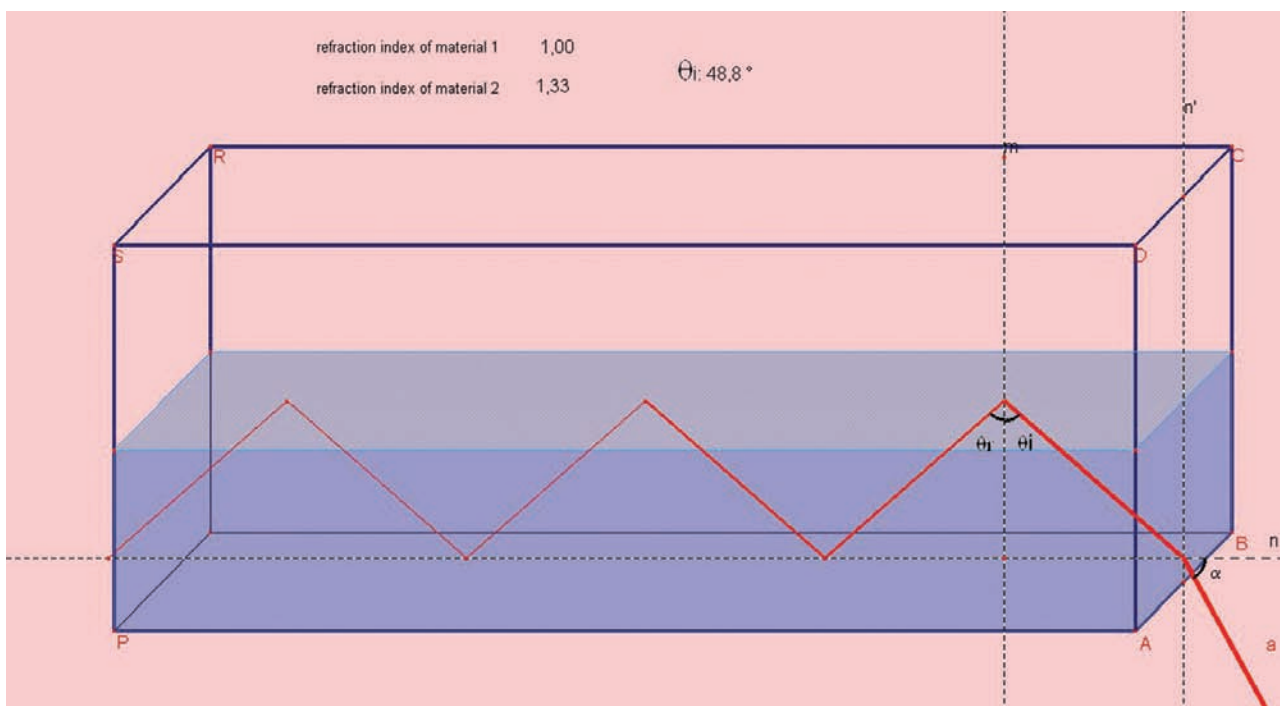


FIGURA B10

1.6. COME È FATTA UNA GUIDA DI LUCE? PRIMI INDIZI

Obiettivi di apprendimento

Riassumere i principali risultati delle precedenti attività.

Organizzazione attività

Se l'insegnante non può/non desidera rifare gli esperimenti, si possono in alternativa solo mostrare le foto degli esperimenti realizzati in precedenza.

Materiali di supporto

Foto degli esperimenti precedentemente realizzati.

Attività di indagine

In questa attività si riprendono tutti gli esperimenti fatti fino ad ora e si riguardano gli oggetti osservati e le situazioni sperimentali studiati, le fibre, i tubicini, il getto d'acqua e la propagazione della luce nella vaschetta, per aggiungere nuovi indizi per capire quali proprietà sono essenziali se si vuole progettare una

guida di luce. Si guidano quindi gli studenti al seguente riepilogo: le guide di luce sono dei tubicini pieni trasparenti costituiti, per espletare la loro funzione, da un mezzo trasparente con un certo indice di rifrazione circondato da un altro mezzo trasparente di indice di rifrazione minore. La luce viene inviata nel mezzo di indice di rifrazione maggiore e si riflette totalmente sull'interfaccia che separa il mezzo di indice di rifrazione minore. Si chiama quindi "core" il materiale interno e "cladding" il rivestimento.

Suggerimenti

Si faccia riferimento alle Note docenti.

UNITÀ 2: DALLE GUIDE DI LUCE ALLE FIBRE OTTICHE

2.1. VOGLIAMO VEDERE IL PERCORSO DELLA LUCE NELLA FIBRA OTTICA?

Obiettivi di apprendimento

Identificare correttamente il percorso della luce in una fibra.

Comprendere il ruolo della trasparenza dei materiali di una fibra.

Comprendere il ruolo del mantello in una fibra.

Organizzazione attività

4-5 studenti per gruppo

Materiali (per ogni gruppo)

- Fibre Ottiche
- Puntatore laser
- Tessuto di carta

Attività di indagine

Innanzitutto si guida gli studenti a capire che il getto d'acqua non è efficace come sistema di trasmissione di segnali perché essere in grado di vedere il percorso della luce è una indicazione di attenuazione della luce che viaggia nel getto. Quindi si guida a comprendere che i principali fattori che influenzano l'attenuazione della luce in una fibra ottica sono legate alla natura dei materiali che costituiscono il core e il cladding e alle proprietà dell'interfaccia tra i due materiali. Si affronta prima il problema dell'interfaccia core-cladding: poiché la luce in un fibra colpisce ed è riflessa molte volte all'interfaccia tra core e cladding, è plausibile desumere che tali riflessioni successive attenuino la luce trasmessa. Infatti, raschiando o riscaldando la punta delle fibre che compongono una lampada a fibre ottiche si ha luce diffusa e non più solo concentrata sulla punta: il cladding è stato infatti (parzialmente) rimosso. Poiché vedere la luce significa riduzione dell'intensità, gli studenti possono comprendere che le proprietà dell'interfaccia core-cladding sono importanti nel determinare l'attenuazione. Questo indica prima di tutto che l'interfaccia di separazione deve essere netta altrimenti si avrebbe riflessione diffusa sul cladding, come si vede nella fibra raschiata. Questo esclude di utilizzare un solo materiale circondato da aria come cladding, in quanto l'interfaccia non sarebbe netta. Inoltre, comincia ad emergere anche la necessità, che sarà oggetto di indagine in seguito, di diminuire il numero di riflessioni nella fibra ottica. Infine, si affronta il problema delle

proprietà del core e del cladding. Mediante un esperimento con del tessuto ed un laser, si osserva che l'attenuazione della luce dipende dalla "quantità" di materia incontrata. Da qui la necessità di costruire core e cladding in maniera tale che la luce che li attraversa sia guidata senza apprezzabili attenuazioni. Si introducono quindi i materiali trasparenti, cioè materiali che idealmente non attenuano la luce.

2.2. CARATTERISTICHE DELLE FIBRE OTTICHE

Obiettivi di apprendimento

Stabilire delle relazioni quantitative tra gli indici di rifrazione del nucleo e del mantello e le caratteristiche delle fibre ottiche.

Organizzazione attività

Gli studenti in gruppi di 4-5 lavorano con lampade di fibre ottiche, bacchette di plastica e vetro.

Successivamente, a gruppi di due-tre lavorano con le simulazioni di Cabri.

Materiali (per ogni gruppo)

- Bacchetta di vetro (diametro 5-10 mm)
- Vaschette d'acqua
- Puntatore laser
- Cartone nero o tessuto come schermo

Attività di indagine

Mediante semplici osservazioni sperimentali con delle fibre ottiche, si guidano gli studenti a capire che non tutti gli angoli con cui la luce entra nella fibra permettono alla luce di arrivare all'altra estremità. Dovrà esistere quindi un "angolo di accettazione", cioè un angolo tale che se la luce entra nella fibra ad angoli minori o uguali di quest'ultimo si propaga fino all'altra estremità. Come conseguenza, visto che la propagazione all'interno della fibra è legata all'angolo limite tra core e cladding, è possibile ipotizzare una relazione tra angolo di accettazione e gli indici di rifrazione del core e del cladding. Un esperimento con una bacchetta di vetro immersa prima in acqua e dopo in aria si arriva a determinare una relazione d'ordine tra l'indice di rifrazione del cladding e l'angolo di accettazione di una fibra: aumentando l'indice di rifrazione del cladding, l'angolo di accettazione diminuisce. Questa regolarità è ampliata mediante una simulazione in Cabri (Figura B11) da cui si osserva che l'angolo di accettazione dipende sia dall'indice di rifrazione del cladding che da quello del core, in particolare dalla differenza dei loro quadrati. Si fa osservare infine che è necessario agire sull'angolo di

accettazione per diminuire il numero di riflessioni all'interno del core e quindi per ottimizzare l'utilizzo delle fibre. Quindi, se la differenza tra gli indici di rifrazione di core e cladding è piccola, la luce

all'interno della fibra effettua meno riflessioni sull'interfaccia core-cladding, ossia si propaga in direzione quasi parallela all'asse della fibra.

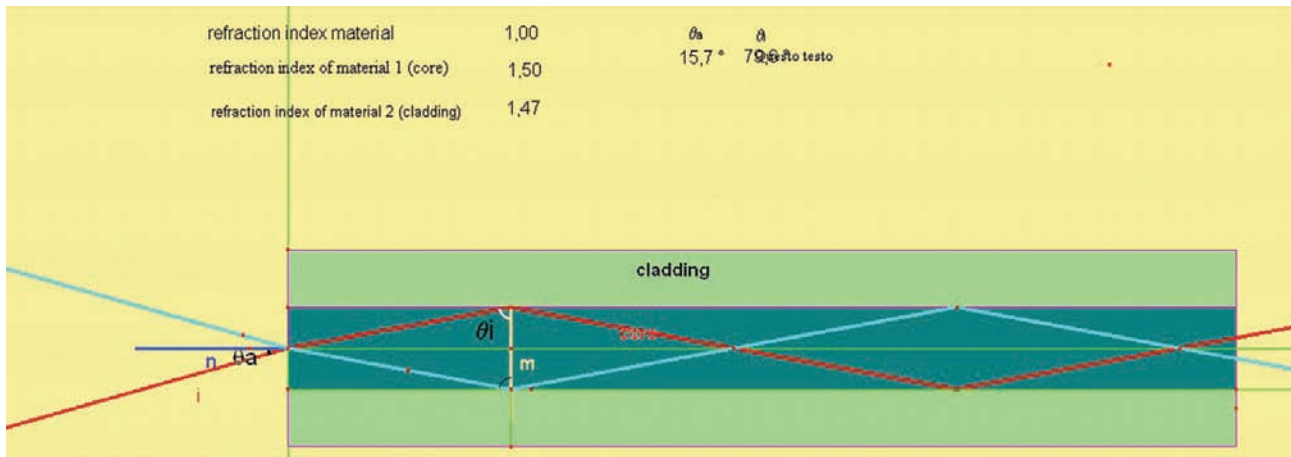


FIGURA B11

UNITÀ 3: USO DELLE FIBRE OTTICHE COME CAVI DI TRASMISSIONE

3.1. RICOSTRUIAMO L'INFORMAZIONE

Obiettivi di apprendimento

Comprendere le relazioni tra l'apertura numerica e il numero di fascetti che viaggiano in una fibra.
Introdurre la trasmissione dei segnali nelle fibre.

Organizzazione attività

Discussione con l'intera classe.
Gruppi di 4-5 studenti lavorano insieme alle simulazioni.

Attività di indagine

Inizialmente, gli studenti dovrebbero essere guidati a rispondere alla domanda: *cosa succede quando l'apertura angolare è grande? A cosa può servire una tale fibra?* Intuitivamente, si guida a comprendere che se la fibra ha una apertura numerica grande, in essa possono viaggiare molti segnali, i quali, a loro volta fanno dei cammini anche molto diversi all'interno della fibra. Ogni segnale percorrerà la fibra con un cammino diverso e quindi impiegherà un intervallo di tempo diverso per arrivare all'estremità opposta della fibra. È intuitivo comprendere che i segnali che viaggiano in direzione parallela all'asse del core della fibra impiegano il minore tempo possibile. I raggi che entrano nella fibra ad angoli diversi impiegheranno

invece più tempo ad arrivare all'estremità opposta della fibra perché si riflettono più volte sull'interfaccia core-cladding nella fibra. Mediante una simulazione di Cabri (Figura B12), nel caso di una grande apertura angolare, possiamo considerare due segnali differenti, uno che viaggia lungo l'asse della fibra e l'altra che entra ad un angolo qualsiasi e misurare la differenza di cammino e di tempi necessari per attraversare la fibra.

Si guidano quindi gli studenti al concetto di "dispersione modale" cioè lo sfasamento temporale fra due o più raggi che si propagano nella fibra. Se si introduce l'idea che la luce può trasportare informazione e che un segnale può essere costituito da un insieme di fascetti di luce, è possibile guidare gli studenti a comprendere che un segnale può viaggiare in una fibra con le stesse modalità con cui viaggiano i fascetti di luce di cui è composto e che, quindi, se questi fascetti viaggiano in tempi diversi lungo la fibra si può avere l'effetto indesiderato della distorsione dell'informazione. Per limitare la dispersione modale occorre che i fascetti si propagano in una direzione quasi parallela all'asse della fibra; come visto nell'attività precedente, occorre quindi diminuire la differenza tra gli indici di rifrazione del core e del cladding, riducendo quindi anche l'angolo di accettazione. Se ne deduce che per le telecomunicazioni, vengono utilizzate fibre ottiche con

piccolo angolo di accettazione, in cui praticamente entrano solo pochi segnali (al limite un unico segnale) che si propagano tutti quasi parallelamente all'asse della fibra.

Dal punto di vista della progettazione tecnologica, è però possibile chiedere agli studenti *“Come possiamo progettare una fibra ottica che abbia una piccola dispersione modale?”*. Si può guidare una discussione per risolvere il problema giungendo infine ad una

consenso sul fatto che un modo possibile è usare lo stesso materiale sia per il core che per il cladding e di “drogare” il cladding in modo da fargli avere un indice di rifrazione di poco più piccolo di quello del core, oppure di costruire fibre dotate di core dal diametro molto piccolo. Si può anche approfondire la questione ricordando agli studenti che il costo per produrre fibre con core di diametro molto piccolo è minore di quello per drogare il cladding.

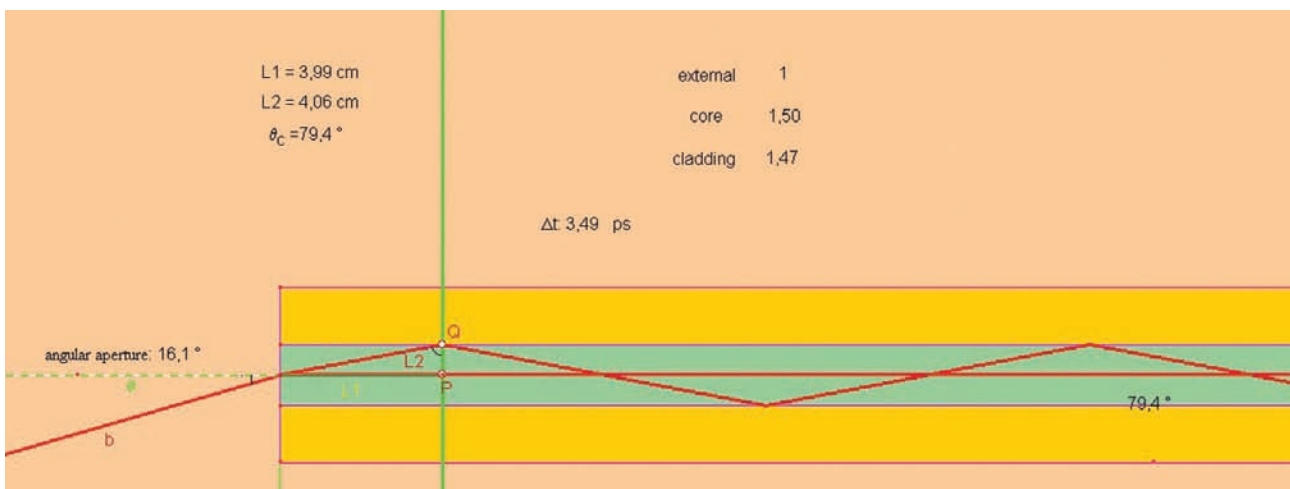


FIGURA B12

3.2. LA FIBRA OTTICA GRADED INDEX

Obiettivi di apprendimento

Investigare le relazioni tra la dispersione modale di una fibra e gli indici di rifrazione di core e cladding
Progettare una fibra ottica graded index.

Organizzazione attività

Discussione con l'intera classe.

Gruppi di 4-5 studenti lavorano insieme alle simulazioni.

Materiali

- Vaschetta trasparente (80cm lunghezza, 15cm altezza 5cm profondità);
- Puntatore laser a basso costo (638 nm, 20mW);
- contagocce
- acqua
- alcol denaturato

Attività di indagine

Si effettua un esperimento in cui si aggiunge dell'alcol denaturato a dell'acqua in una vaschetta si introduce la propagazione della luce in fibre in cui l'indice di rifrazione del core varia in maniera continua, diminuendo con la profondità (Figura B13). Con l'aiuto di Cabri e di un foglio di calcolo, è possibile arrivare ad una espressione esplicita della traiettoria mediante un fit parabolico (Figure B14 e B15). Le caratteristiche di queste fibre sono quindi esplorate e gli studenti sono guidati a comprendere che: l'indice di rifrazione del core diminuisce gradualmente dal centro alla superficie di separazione con il cladding; il fascetti di luce che entra lungo una direzione che non è parallela all'asse della fibra segue una traiettoria non rettilinea dal centro del core all'interfaccia con il cladding incontrando strati ad indice di rifrazione decrescente (come nel caso dell'esperimento); il profilo dell'indice di rifrazione del core è tale che la traiettoria curvi verso l'asse del core. Infine, si discutono i principali vantaggi di questo tipo di fibre ottiche (ad esempio la bassa distorsione dei segnali).

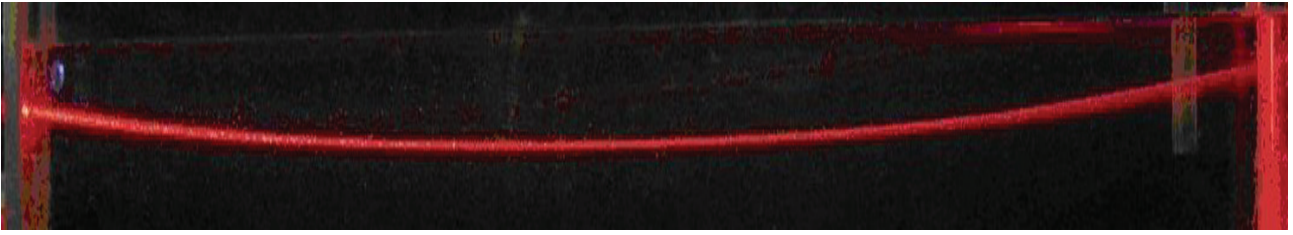


FIGURA B13

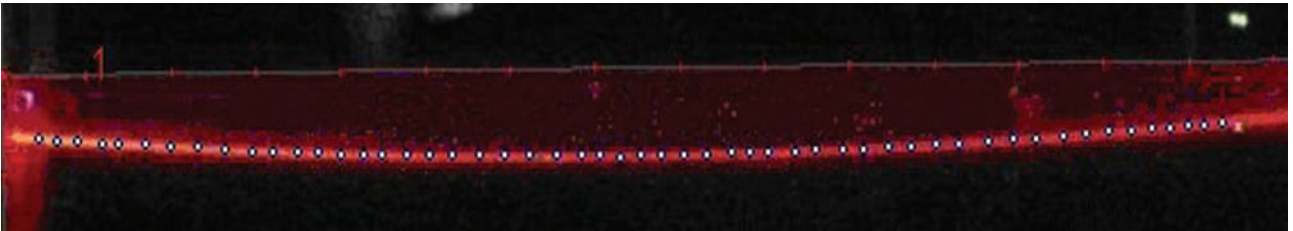


FIGURA B14

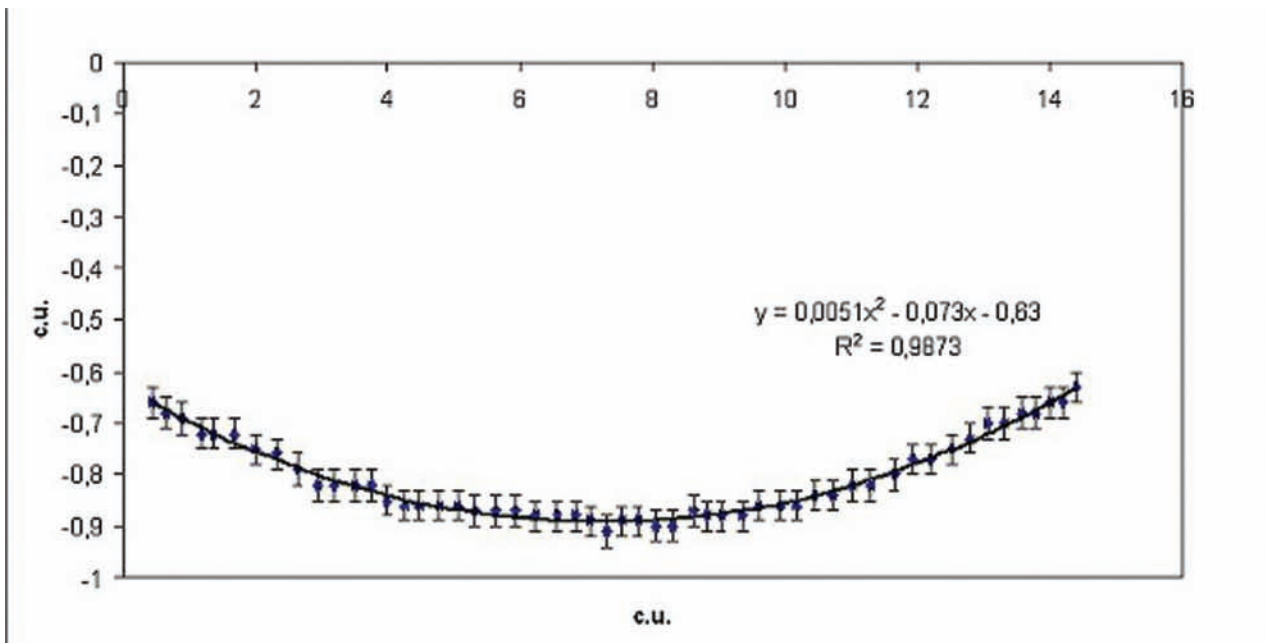


FIGURA B15

NOTE DOCENTI

UNITÀ 0: VISIONE

0.1. COME VEDIAMO?

Tempi: Circa due ore

Note didattiche

Esperimenti 0.1.1 (Luce in una scatola) – 0.1.2 (Spada laser)

Le prime semplici osservazioni proposte mirano a fare capire che la diffusione della luce è il principale processo della visione. Nella attività con il laser puntato in aria pulita e poi “sporcata” con fumo o polvere di gesso si può comprendere che solo se ci sono particelle (sufficientemente grandi) colpite dalla luce del laser, possiamo vedere il percorso della luce. Le particelle di fumo o gesso distribuiscono in aria tante particelle materiali che sono illuminate dalla luce e agiscono come centri di diffusione della luce che li investe e quindi permettono di “vedere” il fascetto luminoso. Se non vi fosse della luce diffusa non si vedrebbe alcunché. È esperienza comune l’aver osservato che a volte dalle persiane di una finestra si vedono ben definiti fasci di luce entrare nella stanza come fossero lame luminose al cui interno si muovono granelli di polvere che sembrano danzare dentro la zona luminosa.

A volte è necessario “sporcare” anche l’acqua per vedere meglio il percorso del fascetto laser entro questo mezzo, poche gocce di latte in genere servono allo scopo. Il meccanismo è lo stesso che per le particelle di gesso in aria.

Anche nell’acqua distillata vi sono sempre centri di diffusione, anche se in numero minore rispetto a quelli dell’acqua di rubinetto.

Attività 0.1.3 (Un tuffo nell’acqua)

Queste domande mirano a fare comprendere che perché sia possibile vedere occorre che il mezzo nel quale è immerso l’osservatore deve essere almeno parzialmente trasparente.

Principali conclusioni

- vediamo perché luce arriva al nostro occhio che dunque è l’apparato di rivelazione della luce visibile
- vediamo se il nostro occhio è colpito dalla luce emessa dalle sorgenti di luce o dalla luce riflessa

(diffusa) dagli oggetti illuminati; la prima si chiama luce diretta e l’altra luce diffusa.

UNITÀ 1: GUIDE DI LUCE

Dopo avere discusso con gli studenti lo “scenario” del modulo nel quale hai parlato, ad esempio, dell’interruzione delle comunicazioni via Internet che ha coinvolto molti Paesi asiatici a causa della rottura di un cavo di fibre nel Mar Rosso, oppure della possibilità di scaricare molto velocemente film e canzoni da Internet grazie alle fibre ottiche, puoi introdurre le attività che seguono dicendo:

“...negli articoli di cui abbiamo parlato si fa riferimento alle fibre ottiche. I sistemi che permettono di trasportare la luce a grandissime distanze e senza farle subire attenuazioni sono basati sulle fibre ottiche: per esempio, la rete di Fastweb”

1.1. FIBRE OTTICHE

Puoi introdurre le attività con domande di questo tipo: *“Hai mai sentito parlare di fibre ottiche? Sai come sono fatte? Le hai mai viste?”*

Si può anche far riferimento alle lampade natalizie a fibre ottiche

“Molto probabilmente avrai visto quelle interessanti lampade che sembrano fatte di fili di plastica o quelle luci per le decorazioni natalizie, in cui la punta del filo è illuminata. I fili di cui è composta la lampada sono fibre ottiche. Osserva quella che hai a disposizione. Attraverso i tubicini la luce arriva sulle punte producendo un effetto suggestivo”⁸

Tempi: Circa un’ora

8. Nota storica: Nell’antico Egitto, durante la costruzione di templi, tombe e piramidi, gli schiavi avevano bisogno di luce per potere scavare lunghi cunicoli; c’era quindi il problema di illuminarli, portando la luce dove serviva. Utilizzavano una serie di specchi di rame disposti in maniera opportuna per far riflettere la luce del sole e farla arrivare nei punti dove dovevano scavare. Questo è il primo sistema documentato per guidare la luce che proviene da una sorgente(fissa) e farla arrivare in un punto desiderato. Questo sistema è molto complesso e ingombrante da realizzare e non permette di trasferire interamente tutta l’intensità della luce emessa dalla sorgente poiché si attenua durante il percorso.

Note didattiche

ESPERIMENTO 1.1.1. LA LAMPADA A FIBRE OTTICHE

DESCRIZIONE ESPERIMENTO	SUGGERIMENTI OPERATIVI
Si possono tenere insieme vari fili di fibra ottica e illuminarli da sotto per comprendere come e' fatta una lampada a fibra ottica e che nella basetta c'e' in genere un led.	Per rendere più evidente il fatto che la luce della fibra può fare dei percorsi molto contorti, poiché in genere i fili delle fibre dalla lampada sono molto sottili e flessibili, si può fare un nodo ad una delle fibre e vedere che nulla cambia.

Le lampade sono gli oggetti più diffusi che gli studenti possono avere osservato e che usano le fibre ottiche. Esistono in commercio anche lampade a fibra ottica con le punte raschiate. In queste si osserva che non solo sono illuminate le punte, ma anche tutte le parti raschiate. Se raschiamo una fibra otteniamo questo effetto e questo è un indizio per dire che abbiamo

rimosso una parte che ha un ruolo importante e che chiameremo "cladding".

Anche questa e' una differenza con un comune filo di plastica in cui il comportamento non cambia raschiando una parte esterna.

1.1.2. ESPERIMENTO: PIEGHIAMO UNA FIBRA

DESCRIZIONE ESPERIMENTO	SUGGERIMENTI OPERATIVI
Far disporre la fibra dritta, sul piano del tavolo (un apparato per ogni gruppo di studenti), predisporre uno schermo (un pezzetto di cartoncino nero) a qualche centimetro da un'estremità del tubo e una piccola lampadina (tipo quella delle torce elettriche) all'altra estremità. Inserire appena la lampadina nel tubicino e fissarla con nastro adesivo Accendere la lampadina collegandola ad una pila (per es. da 4,5 V). Lasciando fissi schermo e lampadina, tirare il tubicino, senza schiacciarlo, per esempio con un cappio di filo sottile posto sulla parte opposta alla lampadina, in modo che si curvi sempre più, fino a che è possibile farlo senza che la fibra si spezzi	Si possono usare pezzi di fibra ottica inizialmente di diametro più grande di quelli usate nelle lampade a fibra ottica (se si riescono a procurare) e poi osservare gli effetti con pezzi di fibra presi da una economica lampada a fibra. Per eseguire l'esperimento uno studente può occuparsi di curvare la fibra, mentre un altro ha cura che il contatto lampadina-fibra sia assicurato. L'esperimento andrebbe svolto al buio. Se non è possibile fare buio nella stanza si può racchiudere il tutto in una scatola nera. Per eseguire l'esperimento uno studente può occuparsi di curvare la fibra, mentre un altro ha cura che la lampadina non sfugga dalla fibra.

Quando si curva con continuità la fibra ottica, la macchia di luce che si vede sulla punta della fibra e sullo schermo non varia apprezzabilmente di intensità. Quando la curvatura è così pronunciata che la fibra si spezza per effetto di sforzi meccanici, la macchia di luce rimane sulla superficie terminale dello spezzone

di fibra connesso alla lampadina mentre scompare quella osservata fino ad un attimo prima che la fibra si rompesse. È quindi del tutto plausibile inferire che la fibra ottica "guida" la luce. Si fa osservare che **l'interno della fibra non appare illuminato.**

1.1.3. ESPERIMENTO: INVIARE SEGNALI

Questo esperimento mira a fare acquisire la consapevolezza che il fatto di guidare la luce in una fibra, ne fa un buon candidato per trasmettere segnali. Lo studente che è dietro la lavagna percepisce, pur non vedendo cosa sta facendo il suo compagno, i segnali che ha inviato. Contestualmente si può anche introdurre il tema della “codifica” e “decodifica” di un segnale, che potrà essere ripreso eventualmente al termine del modulo

1.1.4. ATTIVITÀ: A COSA SERVONO LE FIBRE OTTICHE?

Al termine di queste prime osservazioni gli studenti dovrebbero essere in grado di dire che “le fibre ottiche sono tubicini pieni di un materiale trasparente. Si riconosce che tali oggetti hanno la proprietà di

- a) guidare la luce
- b) trasmettere segnali

Aggiunte e eventuali domande

Si può eventualmente anche fare un esperimento analogo a quello della fibra (non indicato nella scheda) con un tubicino cavo (ad esempio quelli usati per lacci emostatici).

Quando si curva con continuità il tubicino cavo, la macchia di luce che si vede sullo schermo diventa sempre meno intensa, fino a scomparire del tutto. È quindi del tutto plausibile inferire che il tubicino cavo non “guida” la luce. Si fa osservare che questo significa che **c’è sempre la luce diffusa attraverso le pareti del tubicino**. Le pareti del tubicino di plastica appaiono illuminate, quelle della fibra non lo sono; la luce della lampada investe una area grande (è diffusa) mentre la luce della fibra è presente solo sulla punta; il tubicino non si spezza, la fibra sì. La macchia luminosa prodotta sullo schermo dal tubicino (macchia di bassa intensità se confrontata con quella prodotta dalla fibra e con margini meno netti)

Si può infine chiedere quali altri oggetti potrebbero avere questa proprietà e si indaga eventualmente con altri **tubicini pieni, trasparenti** per vedere se hanno le stesse caratteristiche della fibra. Dagli esperimenti si vede che ciò non accade; ossia nei tubicini di plastica (lenze) non si osserva la luce all’altro capo, a causa dell’attenuazione nel tubicino e dunque non possono fungere da guide di luce.

Questo fa concludere che evidentemente la fibra non è un qualsiasi filo di plastica sottile e trasparente ma deve essere fatta di un materiale che abbia proprietà particolari.

Principali conclusioni:

Con le attività precedenti si può comprendere che:

- mediante opportuni dispositivi, si può “guidare” la luce lungo percorsi curvi.
- con la fibra ottica si riesce a “guidare” la luce in un punto desiderato e al contempo a delimitare la zona da illuminare, anche se la fibra è curva;
- attraverso la luce che si trasmette nella fibra si possono decodificare segnali mandati all’altra estremità della fibra.

Collegamento con l’attività successiva

Si può anticipare l’attività successiva dicendo che:

“Abbiamo visto quale è la principale proprietà di una fibra ottica: e’ una guida di luce che intrappola anche la luce. E abbiamo visto come è fatta una lampada a fibra ottica ma non sappiamo nulla sul perché la fibra funziona in un certo modo e quali sono le caratteristiche/proprietà che la fanno funzionare in quel modo. Abbiamo bisogno di una costruire una guida di luce nella quale possiamo vedere, misurare.. e in ultima analisi capire perchè la fibra fa quello che fa...”

1.2. POSSIAMO REALIZZARE UNA GUIDA DI LUCE?

Si può introdurre questa attività dicendo che:

“Nel 1841 in un’aula dell’Università di Ginevra da Daniel Colladon, per la prima volta osservò che la luce che viaggia in uno zampillo di acqua viene guidata lungo lo zampillo. Riproduciamo quello stesso

esperimento usando degli oggetti che all’epoca non erano disponibili, come un puntatore laser e osserviamo questo strano effetto”.

Tempi: Circa un’ora

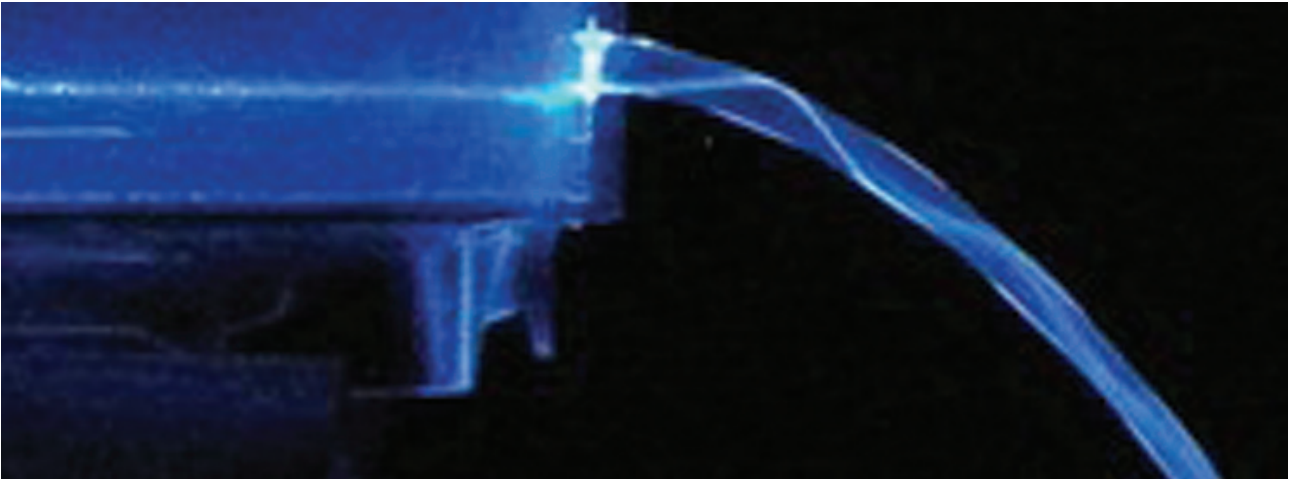


FIGURA T-1

Note didattiche

1.2.1. ESPERIMENTO: IL GETTO COLORATO

DESCRIZIONE ESPERIMENTO	SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>Praticare un foro di diametro circa 6 mm su una delle facce strette, ad una altezza di circa 3-4 cm dal fondo. Il foro si fa agevolmente con una punta di trapano o di succhiello a mano. Si riempie la vaschetta con acqua fino ad una altezza di circa 10-15 cm dal fondo. Chiudere il foro con nastro adesivo, per evitare perdite d’acqua. Dopo avere rimosso il nastro adesivo, si osserva che l’acqua fuoriesce con un getto che a vista sembra parabolico. Se la vaschetta è posta sulla cattedra o su un tavolo, si usa una bacinella per raccogliere l’acqua dello zampillo.</p> <p>Il puntatore laser è posizionato sul supporto di legno sulla faccia opposta a quella in cui vi è il foro, in modo che il suo fascio di luce risulti parallelo al piano del tavolo ed allineato con il foro. Per migliorare la visibilità del fascetto laser sia la vaschetta che il puntatore laser sono all’interno della scatola oscurante (una qualsiasi scatola di cartone ricoperta internamente di carta o stoffa nera).</p>	<p>Per migliorare la visibilità del fascetto laser soprattutto se il laser non è molto potente, occorre “sporcare” l’acqua e lo stesso in aria in cui si può usare lacca spray o polvere di gesso.</p> <p>E’ opportuno che gli studenti siano disposti lateralmente alla vaschetta in modo da non essere colpiti dal laser.</p> <p>Per permettere ad ogni studente di vedere bene i dettagli del percorso del fascio laser nel getto d’acqua può essere opportuno distribuire stampe di una foto del getto realizzata in precedenza e far osservare i dettagli del percorso della luce nello zampillo.</p> <p>Nota. Nel bordo del getto di acqua si osservano dei segmentini brillanti. La spiegazione di questo fenomeno, da riferire alla diffrazione da bordo, e’ abbastanza complessa e non può essere affrontata qui.</p>



FIGURAT-2

- I. Dopo aver eseguito l'esperimento dalla cattedra, l'insegnante porta l'attenzione degli studenti sul percorso effettuato dal fascetto laser, dapprima nelle zone in cui il percorso è rettilineo (tratto AB) (ovvero dove attraversa soltanto mezzi omogenei, prima aria poi acqua⁹) e successivamente in una zona in cui la luce incontra anche una superficie di separazione tra due mezzi (tratto BC).

L'osservazione e l'analisi di questi due tratti mirano a introdurre i concetti di:

- *mezzo omogeneo e non*
- *interfaccia di separazione fra due mezzi.*

e di formulare la

legge della propagazione rettilinea della luce in un mezzo omogeneo

- II. Ritornare all'esperimento e fare osservare in maggiore dettaglio il getto di acqua in cui si osservano le riflessioni interne. L'aspetto che più colpisce nell'esperimento dello zampillo di acqua illuminato è il fatto che il fascetto si propaga nel getto d'acqua. Il getto di acqua quindi ha "guidato la luce". Questa proprietà è dunque simile a quanto osservato nelle fibre, ma la differenza fondamentale è che qui la luce NON è intrappolata nella fibra ma è solo guidata. Infatti se la luce fosse "intrappolata" non la potremmo vedere perché niente colpirebbe il nostro occhio (condizione per la visione). Osservando con attenzione il fascetto di luce nello zampillo si vede che la luce fa delle riflessioni interne e dunque il raggio laser è "guidato" lungo un percorso curvo e nel getto d'acqua fa una serie di "rimbalzi" proprio sulla superficie di separazione (interfaccia) acqua-aria. Lo zampillo d'acqua può essere considerato, con buona approssimazione, nei limiti in cui il getto

non si rompe, come un cilindro curvo pieno d'acqua le cui pareti (superficie laterale) sono fatte di aria (importante è sottolineare la successione di due mezzi incontrati dalla luce, prima acqua poi aria). Richiamare il risultato della fibra ottica curvata; poiché qui si è raggiunto l'analogo risultato di guidare la luce lungo un percorso curvo, è ragionevole supporre che quello che si è osservato accadere nel getto d'acqua sia analogo a quanto accadeva nella fibra. In quel caso si trattava di una fibra costituita da un materiale non noto, qui cosa sia lo zampillo è noto: acqua circondata da aria. Emerge in questo modo, naturalmente, che, per realizzare una "guida" di luce, è necessaria la presenza di due mezzi diversi e di una superficie di separazione tra essi. Se possibile si può facilitare una discussione mirata a far emergere che la fibra dovrebbe essere costruita in modo tale che un materiale sia circondato da un altro materiale, analoghi rispettivamente dell'acqua e dell'aria nell'esperimento dello zampillo. Nel fare questo si può intraprendere più agevolmente il cammino rivolto alla comprensione del funzionamento base delle fibre ottiche: la riflessione interna totale sulla superficie di separazione dei due mezzi che costituiscono la fibra stessa (nucleo e mantello, core e cladding).

Principali Conclusioni:

Mezzi omogenei, legge della propagazione rettilinea della luce, interfacce

- un mezzo è omogeneo se ha sempre le stesse caratteristiche fisiche e chimiche. Sia l'aria che l'acqua sono mezzi "omogenei". Poiché il fascetto laser segue una traiettoria rettilinea sia in aria che in acqua, dagli esperimenti si può concludere quindi che la traiettoria del fascetto laser che

- viaggia in un mezzo omogeneo e' rettilinea.
- questo risultato e' vero in tutti i casi in cui la luce viaggia in un mezzo omogeneo ed esprime la I legge dell'ottica geometrica: in un mezzo omogeneo la luce viaggia in linea retta.
 - la superficie che separa due mezzi omogenei si chiama "interfaccia". Per esempio, la superficie piana di un tavolo è l'interfaccia con l'aria. La superficie piana dell'acqua della bacinella e' un'interfaccia con l'aria. Le interfacce non sono necessariamente piane. Il getto di acqua che fuoriesce dalla bacinella è separato anche esso dall'aria che lo circonda da una superficie (non piana). Ci possiamo quindi aspettare che la I Legge dell'Ottica Geometrica non valga se la luce incontra un'interfaccia.

Collegamento con l'attività successiva

Nell'esperimento mostrato gli studenti hanno

compreso la propagazione rettilinea, ma hanno anche visto che nel getto di acqua il percorso della luce non è rettilineo.

Si va quindi a indagare perché e quando la luce devia dal suo percorso rettilineo.

1.3. OSSERVIAMO IL PERCORSO DELLA LUCE


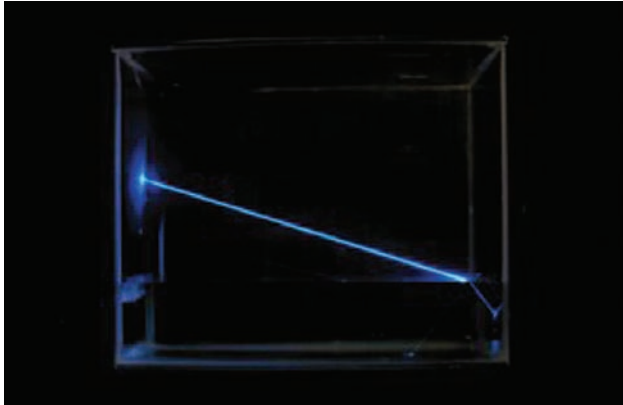
Dopo avere ripreso lo scenario si può introdurre questa attività dicendo che:

“Abbiamo osservato lo zampillo di acqua che fuoriesce dal foro della vaschetta. In esso la luce fa un cammino a zig-zag. Vogliamo osservare altre situazioni in cui la luce fa un cammino a zig-zag analogo e nella quale però sia possibile fare delle misure”

Tempi: due ore circa

Note didattiche

1.3.1. ESPERIMENTO: LA VASCHETTA D'ACQUA

DESCRIZIONE	SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p><i>Illuminare il getto d'acqua con il laser</i></p> <p>Riempire la vaschetta con acqua e orientare il puntatore laser in varie posizioni: o dall'alto verso il basso o dal basso verso l'alto.</p> <p>Si può allora colpire il punto C attraverso un percorso non rettilineo della luce.</p> <p>Al variare dell'inclinazione del fascetto si osserva che si può colpire il foro o per rifrazione, dall'alto o per riflessioni totali in acqua se si orienta il laser dal basso verso l'alto. In quest'ultimo caso si osserva prima il fascetto riflesso e quello rifratto e ad un certo valore dell'angolo di inclinazione scompare il fascetto rifratto e si osserva bene la riflessione totale in acqua, come nella foto di sotto</p>  <p style="text-align: center;">FIGURA T-3</p>	<p>Per migliorare la visibilità del fascetto laser soprattutto se il laser non e' molto potente, occorre "sporcare" l'acqua. Per esempio si può usare qualche goccia di latte e mescolare bene.</p> <p>Inserire fumo prodotto da una bacchetta di incenso nella parte di aria sovrastante l'acqua e chiuder con il coperchio.</p> <p>Controllare che il piano del tavolo, sul quale è poggiata la vaschetta, sia perfettamente orizzontale.</p>  <p style="text-align: center;">FIGURA T-4</p>

È opportuno focalizzare sin dall'inizio l'attenzione degli studenti sul ruolo dell'interfaccia, che in questo caso è una superficie riflettente e che l'acqua stessa funge da specchio e permette di osservare il fenomeno della riflessione.

In questo, come in altri esperimenti, prima di raggiungere l'angolo limite si vedono sia il fascio riflesso che quello rifratto e i due fenomeni sono sempre compresenti.

L'insegnante può quindi fare giungere gli studenti alla conclusione che quando la luce incide su un'interfaccia una parte della luce viene trasmessa (rifratta) e l'altra riflessa.

Nel caso in cui si arriva alla riflessione interna totale il raggio rifratto dovrebbe scomparire del tutto.

Si può osservare:

- La diversa intensità del fascio riflesso e di quello rifratto.
- L'attenuazione che avviene nella riflessione multipla. Questo argomento può essere collegato a quanto appreso sul ruolo delle particelle presenti

nella materia al fine di determinare la diffusione. In questa fase si cerca di non trascurare questo aspetto che verrà poi ripreso nelle Schede successive.

- L'attenuazione che avviene per assorbimento della luce da parte della superficie inferiore (interfaccia acqua-vetro).

Principali Conclusioni:

- il fascetto laser incidendo sulla superficie dell'acqua, interfaccia tra aria e acqua, non segue più un percorso rettilineo ma devia;
- fasci di luce incidenti, riflessi e rifratti.

Collegamento con l'attività successiva

Dopo avere osservato la deviazione della luce quando si riflette su una superficie, si passa ad effettuare misure con simulazioni per enunciare le leggi della rifrazione e riflessione dell'ottica geometrica.

1.4. COME E QUANDO DE VIA LA LUCE? RIFRAZIONE

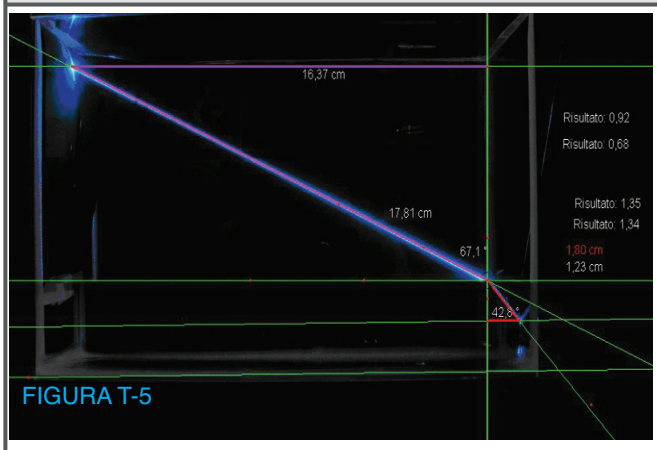
Si può introdurre questa attività dicendo che:
“Abbiamo visto che quando la luce ha incontrato l’interfaccia acqua-aria, nel caso in cui il laser è stato puntato dall’alto, si riflette nel mezzo da cui proviene ma abbiamo anche osservato un altro fascetto che

viaggia in aria. Andiamo ad indagare sul fascetto che si riflette in aria”

Tempi: due ore circa

Note didattiche

1.4.1. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: MISURA DELL’INDICE DI RIFRAZIONE

FOTO CABRÌ	SUGGERIMENTI
	<p>Foto: Potrebbe essere opportuno variare lo spessore dei segmenti per far notare agli studenti la diversa intensità luminosa del fascetto in acqua e in aria ed eventualmente collegare questo aspetto alle proprietà, dimensioni delle particelle che diffondono la luce. Per variare lo spessore del segmento che rappresenta si deve selezionare la funzione spessore dalla barra di menu.</p>

Può essere utile far confrontare i valori dei rapporti cateto/ipotenusa con seno dell’angolo d’incidenza e rifrazione.

Si suggerisce di far individuare gli angoli d’incidenza, riflessione e rifrazione, e definire il seno come rapporto cateto/ipotenusa utilizzando anche il confronto dei valori.

Si possono distribuire un numero di foto pari al numero di gruppi e diverse in cui si individuano fascetto incidente e rifratto; utilizzando la costruzione geometrica di cabrì ciascun gruppo determina l’indice di rifrazione relativo dell’acqua rispetto all’aria.

Si favorisce la condivisione del valore dell’indice di rifrazione ottenuto da ciascun gruppo, potrebbe essere utile far vedere le foto in modo che gli studenti si rendano conto che hanno fatto i conti con situazioni sperimentali diverse.

Dopo avere osservato che la luce in parte si riflette all’interfaccia, si passa a prendere in esame la parte della luce che viene rifratta dalla superficie.

Si giunge ad una relazione con Cabrì:

$$\frac{\frac{BE}{AB}}{\frac{DF}{CD}} = 1.33$$

Si può definire quindi il rapporto

$$\frac{BE}{AB}$$

seno dell’angolo incidente ed il rapporto

$$\frac{DF}{CD}$$

seno dell’angolo rifratto (o viceversa). Si utilizza poi la simulazione che prevede di effettuare diverse determinazioni del rapporto

$$\frac{\sin(\alpha')}{\sin(\beta)} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

per concludere che questo rapporto è costante e indipendente dai parametri che si variano. Dalle misure si deduce che il rapporto n_1 / n_2 non varia al variare dell’angolo di inclinazione del laser (angolo di incidenza); n_1 / n_2 non varia al variare dell’altezza

dell'acqua (h) nella vaschetta. È importante dare un riferimento numerico per il range di valori attesi per n_1 e n_2 agli studenti. Oppure lasciare che ogni gruppo trovi il risultato e condividere, con tutti i gruppi, i risultati emersi, e discutere. Le possibilità offerte dall'uso della simulazione permettono di affrontare la dipendenza dell'angolo di rifrazione dal tipo di materiale, un argomento che tradizionalmente non viene affrontato nei libri di testo.

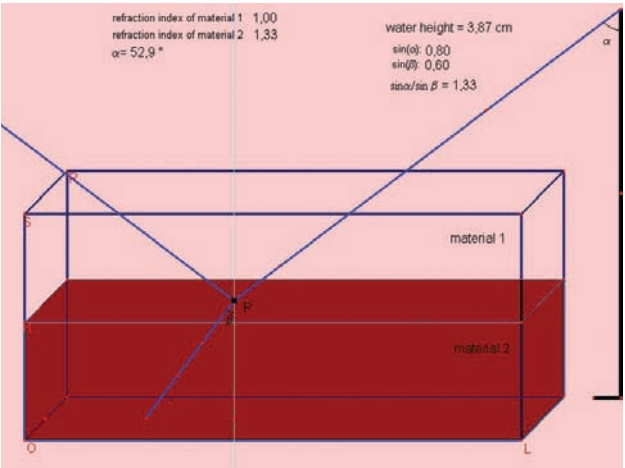
Modellizzazione con Cabri

Per favorire il processo di modellizzazione è

opportuno far individuare nelle foto i fascetti laser in aria e acqua, individuare gli enti geometrici che meglio li rappresentano, e chiamare questi enti "raggi" (passare dai fascetti ai raggi),

Una discussione su tali aspetti permettono di rilevare la differenze tra il fenomeno e la sua rappresentazione (astratta). La costruzione proposta (usando foto di fenomeni osservati e importati in Cabri) è un modo semplice di fare così.

1.4.2. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: L'INDICE DI RIFRAZIONE COME PROPRIETÀ DI UN MATERIALE

SIMULAZIONE CABRÌ	SUGGERIMENTI OPERATIVI
 <p style="text-align: center;">FIGURA T-5BIS</p>	<p>Per variare l'inclinazione del laser devi selezionare con il puntatore dal menu principale.</p> <p>Per variare l'indice di rifrazione del mezzo 2 è preferibile usare le frecce.</p> <p>Per variare l'altezza dell'acqua devi selezionare il punto H e trascinarlo su o giù.</p> <p>È impossibile ridurre a 0 il liquido nella vaschetta</p>

Differenti misure del rapporto

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

permettono di dedurre che n_1/n_2 non varia né con l'inclinazione del fascetto laser(angolo incidente) né con l'altezza dell'acqua contenuta nella vaschetta, perciò

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

costante e n_1 e n_2 sono costanti che dipendono dal materiale. È utili fornire agli studenti una tabella con possibili valori per n_1 e n_2 .

1.4.3. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: LEGGE DI SNELL DELLA RIFRAZIONE

Si giunge alla legge di rifrazione dell'ottica geometrica: (legge di Snell, 1621) L'angolo α tra il fascetto laser incidente e la normale all'interfaccia dei mezzi 1 e 2 e l'angolo β tra il fascetto laser rifratto e la normale sono legati dalla seguente relazione:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n_{12}}$$

dove:

$$n_{12} = \frac{n_1}{n_2}$$

è una costante che è legata alle proprietà ottiche dei mezzi 1 e 2.

Nel caso in esame, n_{12} dipende dall'acqua e aria ed è chiamato **indice di rifrazione dell'acqua relativo all'aria**. Per questi due materiali, tale costante dovrebbe essere circa 1.33. Il raggio rifratto in questo caso si avvicina alla normale alla superficie di separazione

Principali Conclusioni della Scheda:

- La luce si propaga in linea retta in un mezzo omogeneo. Quando la luce incontra una superficie di separazione con mezzi differenti parte della luce viene riflessa dalla superficie e parte trasmessa nel secondo mezzo.
- Legge della rifrazione

Collegamento con l'attività successiva

Si ritorna alle guide di luce per comprenderne meglio le proprietà

1.5.1. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: RIFRAZIONE E RIFLESSIONE

1.5. COME E QUANDO DEVI LA LUCE? RIFLESSIONE

Si può introdurre questa attività dicendo che:

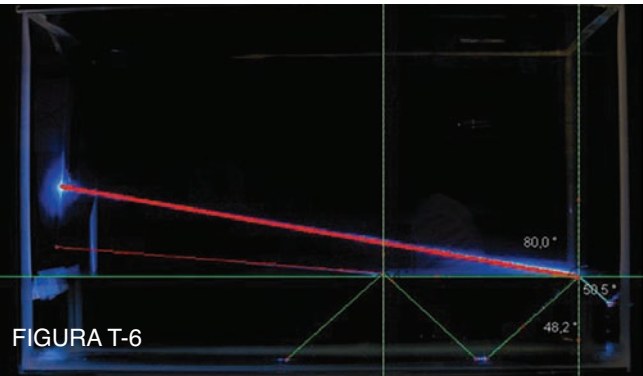
“Abbiamo visto che quando la luce ha incontrato l'interfaccia acqua-aria, nel caso in cui il laser è stato puntato dal basso, in parte si riflette nel mezzo da cui proviene e in parte viene rifratta nell'aria e i fascetti rifratti scompaiono sotto alcuni angoli d'inclinazione. Andiamo ad indagare sulle relazioni tra gli angoli che i fascetti incidente, riflesso e rifratto formano con la normale alla superficie dell'acqua”

Tempi: due ore circa

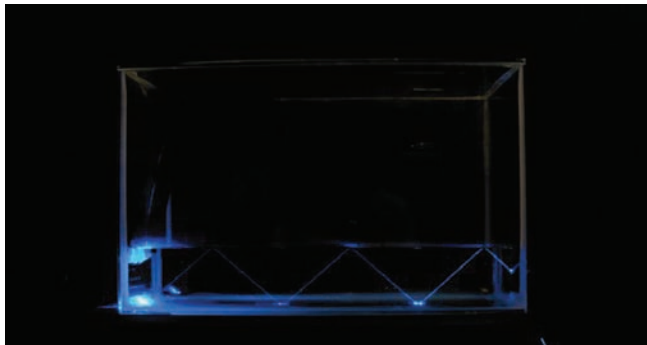
Note didattiche

In generale, quando si eseguono le attività con Cabri è suggerito di ritornare frequentemente all'esperimento in modo da collegare quello che gli studenti hanno fatto in questa fase con quello che osservano nella simulazione e chiarire che una simulazione permette di eseguire più misure.

Gli studenti possono lavorare sulle foto dove tracciano i raggi incidente, riflesso e rifratto. Con la costruzione di Cabri ciascun gruppo può determinare la relazione tra gli angoli di incidenza, riflessione e rifrazione.

FOTO CABRÌ	SUGGERIMENTI
<p>Apri il file “reflection_refraction.fig”</p>  <p>FIGURA T-6</p>	<p>Potrebbe essere opportuno variare lo spessore dei segmenti per far confrontare agli studenti la diversa intensità luminosa sia dei fascetti rifratti che si riescono a visualizzare sia del fascetto in acqua e in aria ed eventualmente collegare questo aspetto alle proprietà, dimensioni delle particelle che diffondono la luce. Per variare lo spessore del segmento che rappresenta si deve selezionare la funzione spessore dalla barra di menu.</p>

1.5.2. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: LEGGE DELLA RIFLESSIONE

FOTO CABRÌ	SUGGERIMENTI
<p>Apri il file “multiple_reflection.fig”</p>  <p>FIGURA T-7</p>	<p>Quest'immagine si ottiene quando la luce laser è in riflessione totale</p> <p>Far notare agli studenti che i fascetti riflessi non sono ben visibili ma gli spots luminosi sulla superficie dell'acqua e sul fondo della vaschetta rappresentano gli estremi dei segmenti che ben modellizzano i fascetti laser.</p> <p>Può essere utile far confrontare i valori degli angoli e far condividere.</p> <p>In questa fase bisogna far formalizzare la legge della riflessione.</p>

La legge di riflessione dell'ottica geometrica può essere formalizzata alla fine dell'attività focalizzando l'attenzione su ciascuna coppia di angoli θ_i e θ_r

adiacenti. Riportare i valori e enunciare la legge della riflessione $\theta_i = \theta_r$

1.5.3. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: MISURA DELL'ANGOLO CRITICO

SIMULAZIONE CABRÌ	SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>Apri il file “critical_angle.fig”</p> <p>Assegnare valore 1 all'indice di rifrazione del mezzo 1 e 1,33 all'indice di rifrazione del mezzo 2.</p> <p>Posizionare sulla normale n' la semiretta a, che rappresenta il raggio in ingresso. Ruotare la semiretta a fino a quando non ci sono più raggi rifratti in aria.</p> <p>Utilizzando le opzioni del software misurare gli angoli di incidenza θ_i e riflessione θ_r del fascetto laser (in questo caso e' un raggio) sull'interfaccia acqua – aria</p>	<p>Applet: ruotando la semiretta a che rappresenta il fascetto incidente è possibile osservare sotto quale angolo spariscono i fascetti rifratti, in questo modo si può definire l'angolo limite e far riferimento a quello che hanno osservato nell'esperimento con la vaschetta</p>

Il più piccolo angolo per cui non si hanno più raggi rifratti si chiama $\theta_i = \theta_L$ “angolo limite”. L'esistenza dell'angolo limite è legato alla legge di Snell quando il rapporto

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \equiv \frac{n_2}{n_1}$$

è maggiore di 1; ossia si può avere angolo limite e dunque riflessione totale quando la luce si propaga dal mezzo con indice di rifrazione maggiore a quello con indice di rifrazione minore, come avviene nel caso della propagazione da acqua ($n_1 = 1,33$) a aria ($n_2 = 1$).

In tali casi poiché il fascetto rifratto si allontana dalla normale, esso arriverà ad un valore di $\pi/2$ oltre il quale non esisterà più il fascetto rifratto e tutta la luce si riflette.

In formule, questo corrisponde ad un valore dell'angolo di incidenza $\theta_i = \theta_L =$ angolo limite, per cui $n_1 \sin \theta_L = n_2$ ($\sin \pi/2 = 1$) ossia

$$\theta_L = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Nel caso in esame $\theta_L = \arcsin(1 / 1,33) = 48,75^\circ$

Principali conclusioni

- legge della riflessione: il raggio incidente e il raggio riflesso formano, con la normale al piano di incidenza, angoli uguali.
- Angolo critico

1.6. COME È FATTA UNA GUIDA DI LUCE? PRIMI INDIZI

Si può introdurre questa attività dicendo che: “riprendiamo tutti gli esperimenti fatti fino ad ora e riguardiamo tutti gli oggetti che abbiamo osservati e studiati: le fibre, i tubicini, il getto d’acqua e gli esperimenti della propagazione della luce nella vaschetta. Da tutti questi esperimenti e osservazioni cerchiamo di capire quali proprietà sono essenziali se vogliamo costruire una guida di luce. Seguiamo la pista degli indizi raccolti fino ad ora”

Note Didattiche

1.6.1. ATTIVITÀ: CORE E CLADDING DI UNA GUIDA DI LUCE

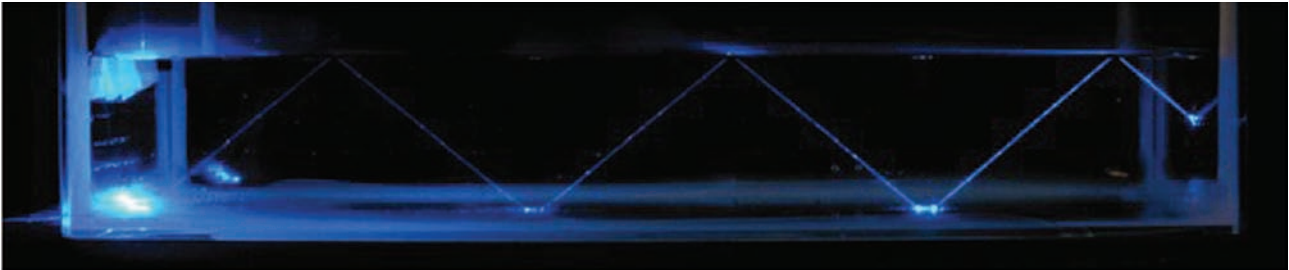


FIGURA T-8

- I. *Nell’Esperimento 1.3.1* (La vaschetta d’acqua) si osserva che le interfacce di separazione fra i due mezzi sono aria e acqua (“sopra”), acqua e vetro (“sotto”).

All’interfaccia superiore, ad un certo angolo di entrata del fascetto, si ha riflessione totale. Questo non è vero all’interfaccia di sotto perché il vetro ha indice di rifrazione maggiore di quello dell’acqua e quindi viene meno la prima condizione per la riflessione totale

La luce si deve propagare da un mezzo ad indice di rifrazione maggiore ad uno con indice di rifrazione minore.

Sulla superficie inferiore quindi si ha anche rifrazione e si può illustrare questo con un semplice modello schematico che tiene conto dello spessore del vetro.

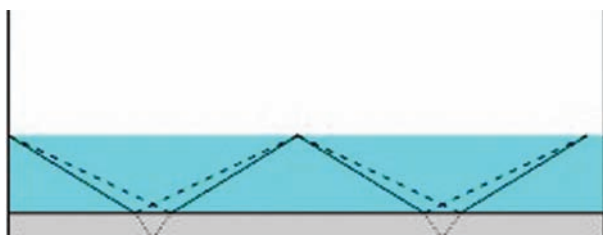


FIGURA T-9

Osservando bene l’immagine della luce sull’interfaccia acqua-vetro si osserva bene la macchia che invece non è così pronunciata sulla superficie superiore

- II. *Nell’Esperimento 1.2.1* (Il getto colorato) si osserva invece che le interfacce sopra e sotto sono uguali (acqua-aria) ed il fascetto laser è in riflessione totale sia da sopra che da sotto così come accade nella fibra ottica.

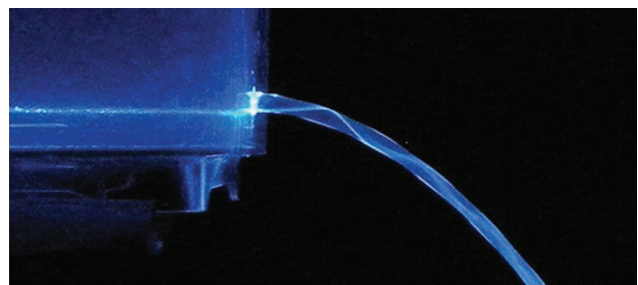


FIGURA T-10

In conclusione, dunque, se si dispone di un mezzo di indice di rifrazione maggiore circondato da un altro di indice di rifrazione minore (una sorta di sandwich) e si invia la luce in quello di indice di rifrazione maggiore si hanno le stesse condizioni per la riflessione totale su entrambe le interfacce di sopra e sotto.

Infine, si denomina “core” il materiale interno e “cladding” il rivestimento. Ad esempio, il core nel caso del getto d’acqua è l’acqua, mentre il cladding è l’aria.

III. Con questo Attività, si può concludere che il vetro, la plastica trasparente, il plexiglass sono altre potenziali guide di luce/fibre ottiche

Principali conclusioni:

Avevamo visto che le guide di luce sono *dei tubicini pieni trasparenti*.

Adesso, dopo avere studiato le condizioni per avere riflessioni multiple nella vaschetta, e tutte le leggi dell’ottica geometrica, siamo in grado di aggiungere altri “indizi” per costruire una guida di luce:

- per guidare la luce dobbiamo avere un mezzo trasparente circondato (con una struttura a sandwich) da un altro mezzo trasparente di indice di rifrazione minore. La luce viene inviata nel mezzo di indice di rifrazione maggiore e si riflette totalmente sull’interfaccia che separa il mezzo di indice di rifrazione minore.
- si denotano “core” (in italiano nucleo) il materiale interno e cladding (in italiano mantello) il rivestimento.

Collegamento con l’attività successiva

Cerchiamo altri “indizi” per costruire una guida di luce che assomigli di più alla fibra ottica.

UNITÀ 2: DALLE GUIDE DI LUCE ALLE FIBRE OTTICHE

Si può ripartire parlando nuovamente dello scenario e della necessità di avere una buona qualità dei segnali da ricevere attraverso la fibra ottica. Si può quindi stimolare l’interesse degli studenti chiedendo loro cosa farebbero per ottimizzare la trasmissione nelle fibre ottiche oppure chiedendo: *per quali applicazioni potrebbe essere utilizzato il getto d’acqua? Quali liquidi useresti? Potrebbe essere utilizzato per trasmettere segnali? Quali le possibili controindicazioni?*

Chiaramente la controindicazione più forte per l’uso del getto d’acqua per la trasmissione dei segnali è l’attenuazione della luce che vi viaggia dentro.

2.1. VOGLIAMO VEDERE IL PERCORSO DELLA LUCE NELLA FIBRA OTTICA?

Per introdurre questa attività, si può dire che:

“Abbiamo investigato le principali caratteristiche di una fibra e abbiamo anche visto che in una fibra ottica non vediamo la luce che viaggia nel core. Vogliamo vedere il percorso della luce? Quali vantaggi potrebbe avere? Quali svantaggi?”

Essere in grado di vedere il percorso della luce è una indicazione di attenuazione della luce (parte della luce entra nell’occhio). Da dove viene questa attenuazione?

Tempi: 1-2 ore circa

Note didattiche

2.1.1. ATTIVITÀ: MATERIALI TRASPARENTI

I principali fattori che influenzano l’attenuazione della luce in una fibra ottica sono legati al bulk (come in tutti i materiali) e alle proprietà delle superfici.

Proprietà di Bulk: sono relative alla natura del core e del cladding. È vero che per tutti i materiali l’attenuazione dell’intensità dipende dalle proprietà del materiale per una fissata radiazione¹⁰.

Le proprietà di superficie si riferiscono alla natura dell’interfaccia core-cladding.

Poiché la luce in un fibra colpisce ed è riflessa molte volte all’interfaccia tra core e cladding, ci possiamo chiedere se queste riflessioni influenzano l’attenuazione della luce.

Per fare questo esaminiamo le **proprietà di superficie** cioè la natura dell'interfaccia core-cladding.

2.1.2. ESPERIMENTO: INFLUENZA DELLA MATERIA SULLA TRASPARENZA

L'attenuazione dipende dalla quantità di materia incontrata? Come possiamo convincerne?
L'esperimento con il tessuto permette di affrontare il problema della dipendenza dell'attenuazione dalla quantità di materia incontrata.

Come si relazione l'attenuazione al colore? Quali sono i possibili effetti?

L'assorbimento può essere affrontato ripetendo l'esperimento del getto d'acqua con liquidi colorati e richiamando l'esperienza comune della differenza di comportamento tra vestiti bianchi e neri quando esposti al sole. Il principale effetto prodotto dall'assorbimento della luce è il riscaldamento

Cosa accade quando in un materiale non avviene (idealmente) attenuazione?

Tutta la luce che entra vi esce. Chiamiamo trasparenti quei materiali che la luce attraversa senza apprezzabili attenuazioni.

Quali tipi di materiali trasparenti conosci?

Far osservare che i materiali possono essere trasparenti ad alcune radiazioni e non trasparenti ad altri e che questa differenza ha a che fare con differenza nell'interazione radiazione – materia. L'attenuazione è un fattore importante che limita la trasmissione della luce attraverso lunghe distanze.

2.1.3. ESPERIMENTO: GRATTIAMO LA SUPERFICIE

Raschiando o riscaldando la punta delle fibre che compongono una lampada a fibre ottiche si ha luce diffusa e non più solo concentrata sulla punta perché il cladding è stato rimosso. Poiché “vedere la luce significa riduzione dell'intensità”, gli studenti possono comprendere che le proprietà dell'interfaccia core-cladding sono importanti nel determinare l'attenuazione. Questo indica che l'interfaccia di separazione deve essere netta altrimenti si ha riflessione diffusa sul cladding, come si vede nella fibra raschiata.

10. Il processo di trasmissione della luce in un afibra ottica non è efficace al 100%: la potenza in uscita da una fibra è minore di quella che entra nella fibra. L'attenuazione tiene anche in conto di questo fenomeno. Le immagini di seguito illustrano l'attenuazione in modo schematico



FIGURA T-11 (SEGNALE IN INGRESSO)



FIGURA T-12 (SEGNALE ATTENUATO)



FIGURA T-13 (SCATTERING)



FIGURA T-14 (ASSORBIMENTO)

2.1.4. ATTIVITÀ: IDENTIFICARE UN BUON CLADDING

Lo schema di sotto aiuta a fare comprendere le ragioni per cui l'aria non è un buon cladding.

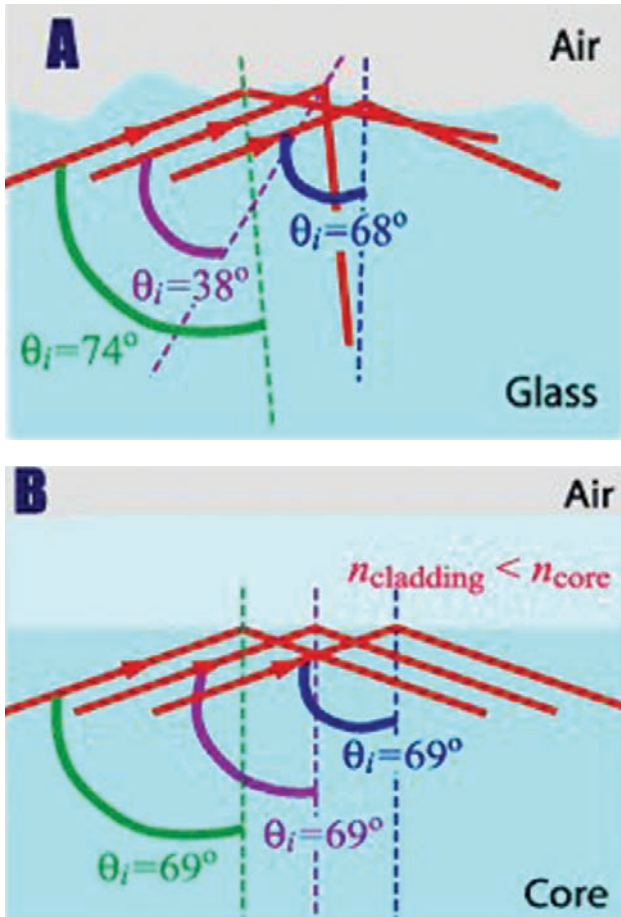


FIGURA T-15

Nella **figura A**, dove la superficie del vetro è scabra, si può dire che alcuni raggi, sebbene tutti in partenza paralleli, colpiscono la superficie ad un angolo diverso dall'angolo limite, mentre in **figura B**, essi sono tutti riflessi lungo direzioni parallele a causa della levigatezza della superficie.

Quando l'interfaccia core-cladding è ruvida, la luce non è più intrappolata dentro il core e si può vedere luce diffusa

Principali conclusioni

- "trasparenza" significa che la luce non è attenuata quando viaggia in un materiale. Scattering e assorbimento nel bulk sono fattori che determinano l'attenuazione della luce. La diffusione ad una interfaccia scabra può provocare perdita di intensità nella luce
- nelle fibre ottiche, l'attenuazione è il tasso al quale l'intensità del segnale di luce decresce in intensità. Per questa ragione, le fibre di vetro (un materiale trasparente che ha bassa attenuazione) sono utilizzate per cavi a fibra ottica su lunga distanza; fibre plastiche hanno una attenuazione maggiore e sono usate per distanze minore. Queste ultime sono usate nell'endoscopia clinica.

Collegamento con l'attività successiva

Guardiamo più attentamente agli indici di rifrazione di core e cladding per vedere qual è il setting sperimentale di cui abbiamo bisogno per far viaggiare la luce nella fibra ...

2.2. CARATTERISTICHE DELLE FIBRE OTTICHE

Tempo: circa 1 ora

Si può introdurre l'attività dicendo:

“guardiamo l'immagine della fibra ottica dove le sue reali dimensioni sono indicate. Vorremmo capire meglio come costruire una fibra ottica”

Note didattiche

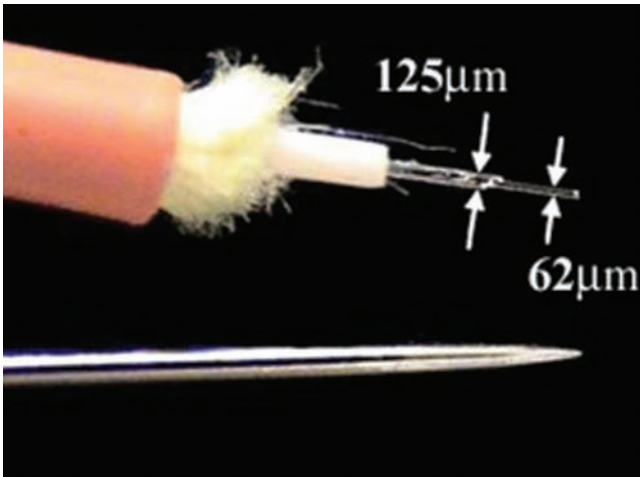


FIGURA T-16

2.2.1. ESPERIMENTO: ANGOLO DI ACCETTAZIONE DI UNA FIBRA

DESCRIZIONE SPERIMENTALE	SUGGERIMENTI OPERATIVI
Mandare il fascetto laser sulla punta della bacchetta e osservare l'estremità opposta che appare illuminata o non illuminata. Quando l'estremità opposta non è più illuminata significa che abbiamo oltrepassato il valore dell'angolo di accettazione della bacchetta.	È necessario mantenere il puntatore laser molto vicino all'estremità della bacchetta altrimenti si vede solo luce diffusa.

Le semplici osservazioni sperimentali ci guidano a dire che non tutti gli angoli di entrata della luce nella bacchetta permettono alla luce di arrivare all'altra estremità. Ciò accade anche per le fibre ottiche. C'è

quindi un “angolo di accettazione”, cioè un angolo tale che se la luce entra nella bacchetta (o fibra) ad angoli minori o uguali di questo allora si propaga fino all'altra estremità.

2.2.2. ESPERIMENTO: INFLUENZA DEL CLADDING SULL'ANGOLO DI ACCETTAZIONE

DESCRIZIONE SPERIMENTALE	SUGGERIMENTI OPERATIVI
Inserisci la bacchetta di vetro nell'acqua (indice di rifrazione maggiore di quello dell'aria) e osserva che l'angolo di accettazione è minore che nel caso in cui il cladding era l'aria.	È necessario mantenere il puntatore laser molto vicino all'estremità della bacchetta altrimenti si vede solo luce diffusa.

L'attività permette di determinare una relazione d'ordine tra l'indice di rifrazione del cladding e l'angolo di accettazione. Dopo aver mostrato l'esperimento

della bacchetta di vetro in acqua è abbastanza chiaro che, quando l'indice di rifrazione del cladding aumenta, l'angolo di accettazione diminuisce.

2.2.3. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: CALCOLO DELL'ANGOLO DI ACCETTAZIONE DI UNA FIBRA

SIMULAZIONE DI CABRÌ	SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>Aprire il file “Optical_fibre.fig” Selezionare per il materiale 1 (nucleo) un valore dell'indice di rifrazione pari a 1,5 ed il valore 1,47 per il materiale 2 (cladding) .</p> <p>Due raggi i e i' sono sovrapposti parallelamente all'asse della fibra e $\theta_a=0^\circ$. Aumentare θ_a ruotando la semiretta i in senso antiorario finché non si osserva riflessione totale all'interno della fibra. (Per costruzione la semiretta i' si muove in modo simmetrico).</p>	<p>Una figura tridimensionale può essere immaginata ruotando intorno all'asse della fibra il piano contenente i e i' e la sezione (in Cabri) della fibra.</p> <p>Ruotando i e i' si ottiene il cono di accettazione della fibra</p>

- I. Avendo fissato i valori degli indici di rifrazione di core e cladding, si può definire l'angolo di accettazione e l'apertura numerica. Il valore massimo θ_{max} dell'angolo di entrata della luce nella fibra θ_a per il quale si ha riflessione totale tra core e cladding è chiamata angolo di accettazione. L'apertura angolare della fibra è $2\theta_{max}$, angolo entro il quale tutta la luce entrante si propaga nel core della fibra grazie al fenomeno della riflessione totale.
- II. Come varia θ_{max} al variare degli indici di rifrazione del nucleo e del mantello? Si osserva che, al variare degli indici di rifrazione di core e cladding varia l'angolo di accettazione e in particolare, più è piccola la differenza tra gli indici di rifrazione $n_n - n_m$, maggiore è l'angolo di accettazione.

- la riflessione totale all'interno del core avviene solo per alcuni valori dell'angolo di ingresso (θ_a) della luce nella fibra. All'insieme di questi valori di θ_a si dà il nome di apertura numerica.
- per avere propagazione della luce entro la fibra esiste un angolo massimo per il quale la luce deve essere inviata al suo interno. Chiamiamo questo angolo *“angolo di accettazione”*. Il valore dell'angolo di accettazione dipende dalla relazione tra gli indici di rifrazione del core e del cladding. Quando l'indice di rifrazione del cladding aumenta rispetto a quello del core, l'angolo di accettazione diminuisce.

Collegamento con l'attività successiva

La domanda a cui vorremmo rispondere è: *“vogliamo una apertura angolare grande o piccola?”*

Principali conclusioni

- la fibra ottica è un filamento vetroso costituito da due strati concentrici fatti di materiali diversi, uno interno, chiamato nucle;
 - il cladding protegge il core e costituisce una interfaccia levigata con il core in modo da non avere riflessione diffusa e quindi perdere intensità all'interfaccia stessa.
 - l'indice di rifrazione del nucleo, n_n , deve essere maggiore di quello del mantello, n_m , affinché si possa verificare il fenomeno della riflessione totale all'interno del nucleo.

La risposta a questa domanda è legata a cosa vogliamo farci con una fibra ottica? Ma qui abbiamo imparato che se vogliamo cambiare per qualche ragione l'apertura angolare, **dobbiamo agire sulla differenza $n_n - n_m$ tra gli indici di rifrazione del core e del cladding.**

Nelle prossime attività considereremo le fibre usate come cavi per le telecomunicazioni e capiremo quali caratteristiche esse devono avere.

UNITÀ 3: USO DELLE FIBRE OTTICHE COME CAVI DI TRASMISSIONE

Si riparte nuovamente chiedendo agli studenti come pensano che una fibra possa essere usata per trasportare informazioni. Si può introdurre questa attività dicendo: *“Come può essere progettata una fibra che non guidi solo un fascetto ma più fascetti?”*

3.1. RICOSTRUIAMO L'INFORMAZIONE

Si può introdurre questa attività dicendo:
“Cosa succede quando l'apertura angolare è grande? A cosa può servire una tale fibra? Ritorniamo all'attività nella quale cercavate di comunicare con il vostro compagno inviandogli dei segnali luminosi in un pezzo di fibra...In quella occasione abbiamo imparato che un segnale luminoso può essere considerato un “segnale” Fino a questo momento abbiamo studiato cosa accade quando UN segnale viaggia in una fibra ottica e lo abbiamo rappresentato con un raggio... Ma... a cosa può servire una fibra siffatta? O non vogliamo che la fibra possa fare anche altro? Se vogliamo usare la fibra per trasmettere dei segnali come potremmo fare? Con un solo fascetto di luce? Con più fascetti? Adesso sappiamo che la dispersione modale non è un fatto desiderabile. Abbiamo visto che quando c'è dispersione modale l'informazione può essere distorta. Vediamo come si può progettare una fibra ottica con bassa dispersione modale per limitare la distorsione del segnale..”

Tempi: 2 ore circa

Note Didattiche

Prima di osservare le simulazioni Cabri gli studenti dovrebbero essere guidati a comprendere che snella fibra ha una apertura numerica grande, in essa possono viaggiare molti segnali, i quali, a loro volta fanno dei cammini anche molto diversi all'interno della fibra. Ogni segnale percorrerà la fibra con un cammino diverso e in un intervallo di tempo diverso per arrivare all'estremità opposta della fibra. E' intuitivo comprendere che i segnali che viaggiano in direzione parallela all'asse del core della fibra impiegano il minore tempo possibile. I raggi che entrano nella fibra ad angoli diversi da $\theta_a=0^\circ$ impiegano più tempo ad arrivare all'estremità opposta della fibra.

Nel caso di una **grande apertura angolare**, possiamo considerare due segnali differenti (qui raggi) e misurare sia la lunghezza del cammino che l'intervallo

di tempo che ognuno di loro impiega per attraversare la fibra.

ESERCIZI 3.1.1. (PERCORSO DEI SEGNALI) E 3.1.2. (QUALE SEGNALE VIAGGIA PIÙ VELOCE?)

Le risposte alle domande sono intuitive SE gli studenti sono in grado di comprendere che la luce è un fenomeno ondulatorio e che la luce viaggia a velocità costante.

La discussione richiede dunque sottolineare che si sta passando da un modello della luce nell'ambito dell'ottica geometrica (raggi ecc) al **modello ondulatorio** della luce.

3.1.3. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: LA DISPERSIONE MODALE

L'idea della simulazione è che la luce può trasportare informazione. Si può introdurre qui il concetto semplificato che un segnale è un insieme di fascetti di luce. Con questa rappresentazione si può favorire la comprensione che un segnale viaggia in una fibra con le stesse modalità con cui viaggiano i fasci di luce. La simulazione fa uso di questa approssimazione e permette di comprendere i problemi connessi alla trasmissione della informazione all'interno delle fibre step-index. Apri le slides “modal_dispersion.ppt” una alla volta e fai osservare agli studenti cosa succede.

1) le tre parti dell'immagine viaggiano alla stessa velocità lungo cammini differenti; due parti colpiscono la superficie e si riflettono e una parte viaggia un direzione parallela all'asse delle fibra.

Le tre parti arrivano all'estremità opposta della fibra con uno sfasamento temporale che fa sì che l'immagine non venga ricomposta (l'informazione non si recupera).

2) le tre parti arrivano nello stesso tempo ma l'immagine che è stata trasmessa non viene ricevuta correttamente (le tre parti viaggiano con velocità molto diverse)

Come dovrebbero viaggiare nella fibra le tre parti in cui si scompone l'immagine per evitare i problemi di sopra?

Una soluzione ovvia è che le tre parti viaggino in direzione parallela all'asse e dunque l'immagine si ricompone all'estremità della fibra. La slide 3) mostra questa soluzione.

3.1.4. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: VALUTARE LA DISPERSIONE MODALE

Apri il file Cabri "times.fig".

Seleziona un valore per l'indice di rifrazione del core $n_n = 1,50$ e per il cladding $n_m = 1,47$.

Osserva i raggi **a** e **b**, che sono sovrapposti rispettivamente a $\theta_a=0^\circ$ e $\theta_a=17,3^\circ$.

Δt è la differenza fra i tempi che i due raggi a e b impiegano per raggiungere i punti Q and P.

La fibra che si considera in questa simulazione è detta **step-index**.

Se gli studenti sono in grado di effettuare dei calcoli algebrici elementari è possibile determinare la relazione esatta fra (L_2-L_1) e (t_2-t_1) e (n_2-n_3) .

$$\Delta t = t_{\max} - t_{\min} = \frac{L \cdot n_2}{c \cdot n_3} (n_2 - n_3)$$

Questa relazione mostra che se la differenza n_n-n_m è piccola (ossia n_n/n_m è circa 1), allora i due segnali arrivano con un piccolo sfasamento temporale all'estremità opposta della fibra.

Conclusioni principali

- *apertura numerica grande = i raggi che entrano nella fibra arrivano all'estremità opposta con sfasamenti temporali.* I raggi che viaggiano all'interno della fibra sono quelli compresi nell'angolo di accettazione della fibra. I raggi che viaggiano in direzione quasi parallela all'asse della fibra impiegano il minor tempo possibile ad attraversare la fibra, mentre quelli che entrano ad un angolo maggiore si riflettono più volte sull'interfaccia core-cladding nella fibra e impiegano più tempo. Lo sfasamento temporale fra due o più raggi prende il nome di "dispersione modale"
- quando fascetti diversi formano un "segnale" che viaggia lungo la fibra si può avere l'effetto indesiderato della distorsione dell'informazione. L'informazione che viaggia nella fibra è distorta
- se la differenza $n_n - n_m$ è piccola, la luce all'interno della fibra effettua meno riflessioni sull'interfaccia core-cladding. Ossia la luce si propaga in direzione quasi parallela all'asse della fibra

- in un materiale omogeneo la luce viaggia a velocità costante (che dipende dall'indice di rifrazione del materiale) e quindi la differenza di cammino implica anche una differenza nei tempi di percorrenza dei fascetti. La dispersione modale è questa differenza di tempi di percorrenza ed è il principale fattore che limita l'efficienza della trasmissione. Per limitare la dispersione modale si può modificare n_n-n_m . Se questa differenza è piccola i fascetti si propagano in una direzione quasi parallela all'asse della fibra. In queste fibre gli unici segnali che si possono propagare entrano in un angolo di accettazione che è molto piccolo. Queste fibre si chiamano monomodali.

Progettiamo...

Come possiamo progettare una fibra ottica che abbia una piccola dispersione modale?

Una maniera per fare questo è di usare lo stesso materiale sia per il core che per il cladding e di "drogare" il cladding in modo da fargli avere un indice di rifrazione di poco più piccolo di quello del core.

E se facessimo il diametro del core molto piccolo? Una fibra siffatta necessariamente propagherebbe solo segnali paralleli all'asse della fibra..

Le usuali fibre ottiche usate nelle telecomunicazioni sono sottilissime (il core è circa $5 \mu\text{m}$)

Il costo per produrre diametri molto piccoli è minore di quello che si ha per drogare il cladding. Altri problemi?

Collegamento con l'attività successiva

Andiamo a raccogliere elementi per progettare di un altro tipo di fibra ottica.

3.2. LA FIBRA OTTICA GRADED INDEX

Tempi: 2 ore circa

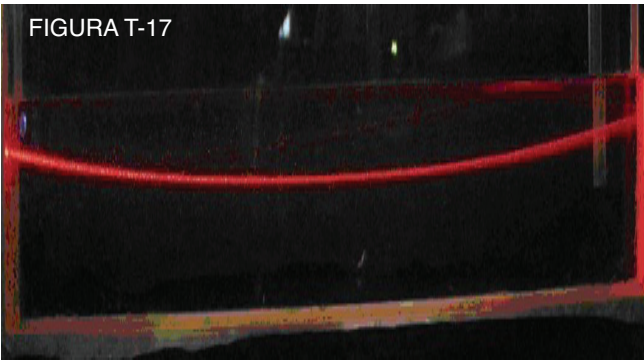
Note Didattiche

3.2.1. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: COME RISOLVERE IL PROBLEMA DELLA DISPERSIONE MODALE

Fai osservare la simulazione in cui le tre parti dell'immagine arrivano simultaneamente all'estremità opposta della fibra perchè la fibra è graded index.

3.2.2. ESPERIMENTO: TRAIETTORIA DELLA LUCE NEI MEZZI AD INDICE DI RIFRAZIONE VARIABILE

L'esperienza con la vaschetta è una analogia con la fibra ottica graded index e può essere effettuata dall'insegnante.

DESCRIZIONE DELL'ESPERIMENTO	SUGGERIMENTI OPERATIVI
<p>Soluzione acqua-alcol La foto mostra un tipico risultato dell'esperimento.</p>  <p>FIGURA T-17</p>	<p>Usa 3 l di acqua e aggiungi molto lentamente 200 ml di alcol con il contagocce in modo da lasciare che l'alcol si misceli un poco con l'acqua.</p> <p>La vaschetta deve essere abbastanza lunga altrimenti non si può osservare la curva del fascetto.</p> <p>Altri soluti come lo zucchero, il sale o il miele possono essere usati. Tuttavia il risultato non è così ben visibile a causa dell'assorbimento e dello scattering. Dopo 2 ore circa la soluzione ha un gradiente significativo di indice di rifrazione.</p>

L'alcol galleggia sull'acqua per parecchio tempo e l'indice di rifrazione diminuisce dalla superficie superiore alla superficie inferiore della vaschetta. Il

fascetto di luce quindi si incurva, come suggerisce lo schema di sotto.

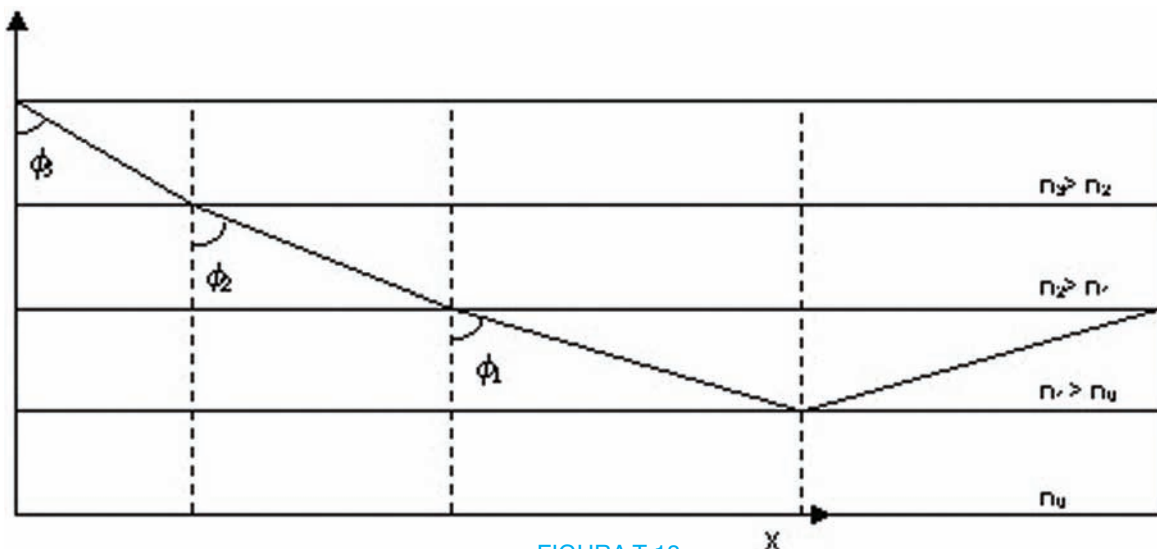


FIGURA T-18

Nota che il fascetto piega di nuovo verso l'alto quando si aggiunge più alcol si può vedere un'altra curva si raggiunge la condizione per la riflessione totale. Se

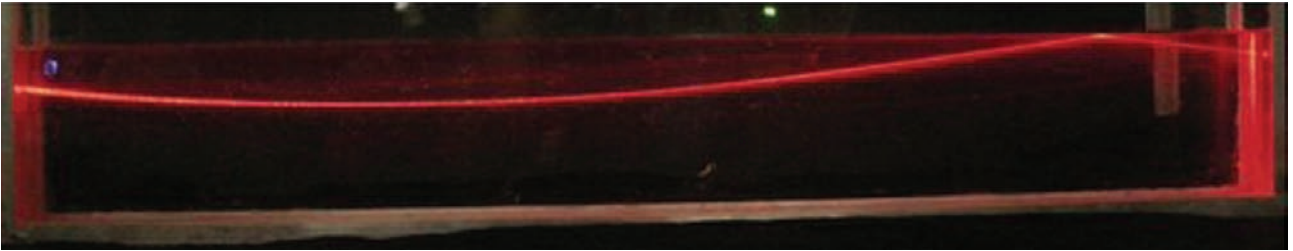


FIGURA T-19: 225 ML DI ALCOHOL



FIGURA T-20: 250 ML DI ALCOHOL

3.2.3. ATTIVITÀ AL CALCOLATORE: FIBRE OTTICHE STEP E GRADED INDEX

Le URL danno una rappresentazione delle diverse situazioni che si possono presentare quando dei segnali viaggiano all'interno di una fibra.

Conclusioni principali

- le fibre ottiche usate nelle telecomunicazioni sono fatte con molti cavi che sono fibre ottiche step-index (usualmente di colori diversi) e ognuno di essi trasporta un segnale.
- le fibre ottiche graded index in linea di principio possono trasportare diversi segnali.... Ma ... sono poco usate nelle telecomunicazioni per ragioni legate al costo del "dopaggio"



**C: STRUMENTI DI
VALUTAZIONE**

C: STRUMENTI DI VALUTAZIONE

Per valutare l'apprendimento degli studenti sono stati progettati:

- un pre-test per indagare se gli studenti possedevano i prerequisiti necessari per le attività del modulo
- tre questionari da sottoporre durante il modulo (verifica 1, 2, 3)
- un post test.

PREREQUISITI

PARTE A

1. Esprimi a parole tue cos'è

Una retta:

Un segmento:

Semiretta:

2. Due rette s'intersecano quando:

- a) hanno in comune un solo punto
- b) hanno in comune almeno un punto
- c) non hanno in comune alcun punto

Motiva la tua risposta

3. Data una retta r , in quale figura è rappresentata una retta ad essa perpendicolare?

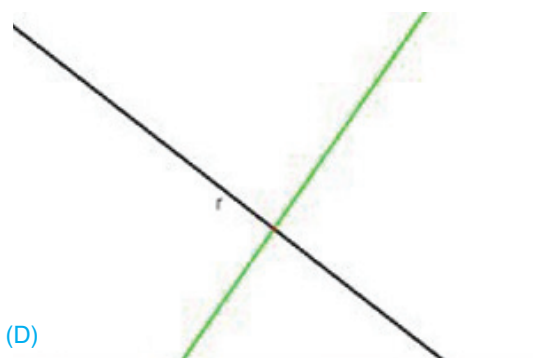
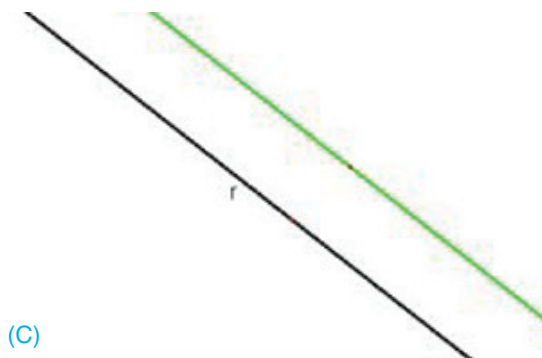
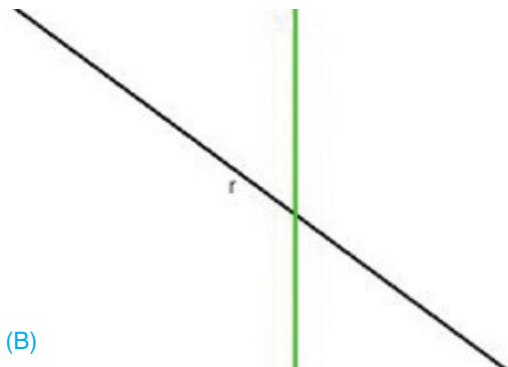


FIGURA PRE-01

Motiva la tua risposta

4. Le rette r e s sono parallele. Di conseguenza, gli angoli α e β :

- a) sono uguali
- b) la loro somma è 90°
- c) la loro somma è 180°



Motiva la tua risposta

5. Traccia la perpendicolare alla retta s , passante per il punto P .
 Traccia gli angoli che questa perpendicolare forma con i segmenti AP e PB .
 Quale dei due angoli è maggiore?

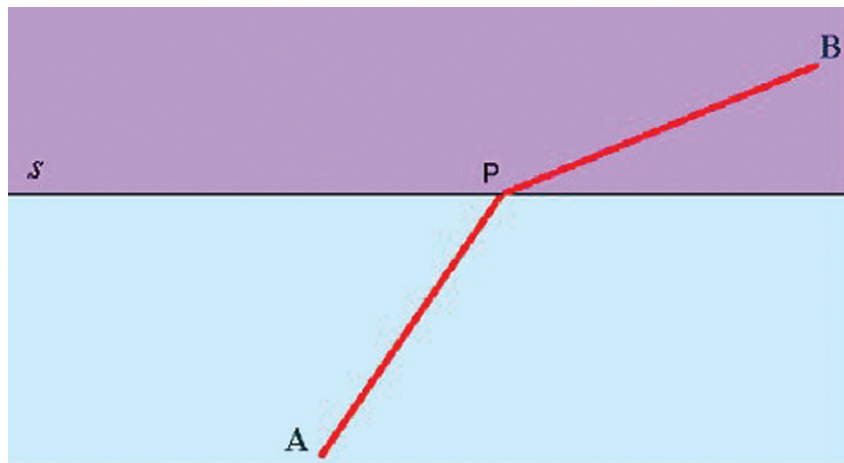


FIGURA PRE-03

Motiva la tua risposta

6. Nella figura 2 la retta s è ruotata di 20° in senso antiorario rispetto alla figura 1, mantenendo fisso il segmento AB . Disegna l'angolo tra il segmento AB e la perpendicolare alla retta s , nelle figure 1 e 2 e confrontali. L'angolo nella figura 2 rispetto a quello nella figura 1 è:

- a) maggiore;
- b) minore;
- c) uguale

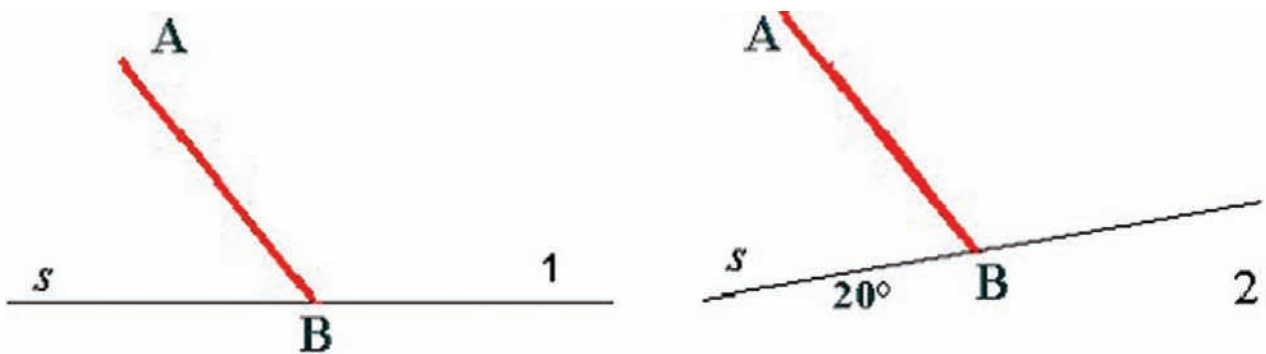


FIGURA PRE-04

Motiva la tua risposta

7. Si è misurato per sei volte il tempo impiegato da un pendolo per compiere un' oscillazione completa. I valori sono mostrati in tabella.

La media di queste misure è :

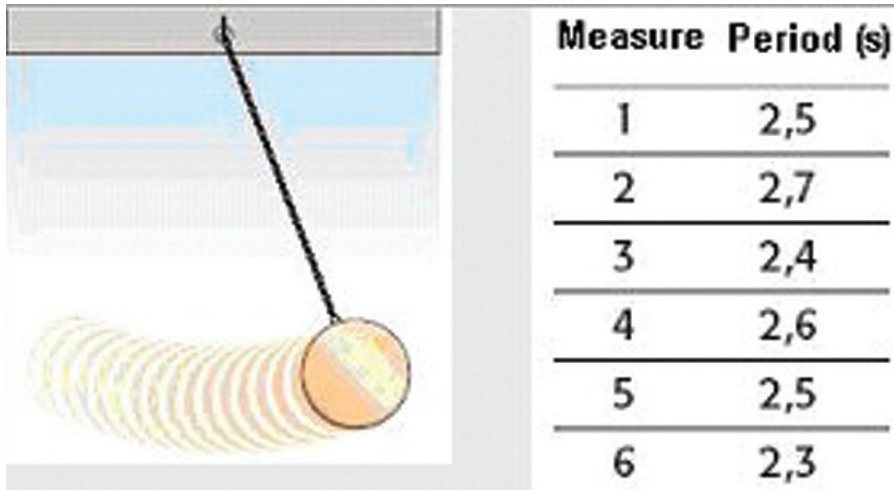


FIGURA PRE-05

Motiva la tua risposta

PREREQUISITI

PARTE B

1. Spiega in breve perché non vediamo gli oggetti in una stanza buia

2. Quale degli schemi seguenti rappresenta meglio il meccanismo per cui vediamo gli oggetti che ci circondano?

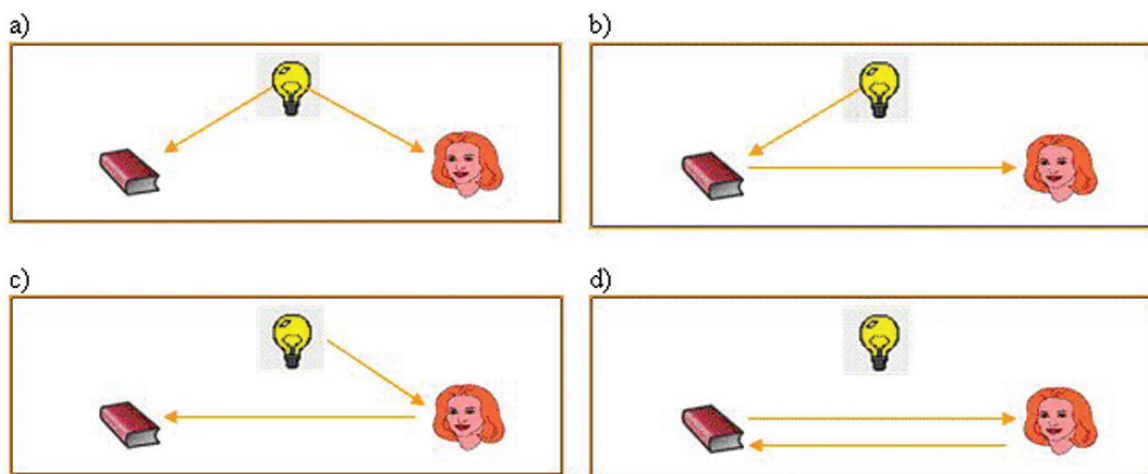


FIGURA PRE-06

Motiva la tua risposta

3. Spiega perché a volte in una stanza vediamo fascetti di luce attraverso le fessure delle persiane

VERIFICA 1

1. Verso quale dei seguenti materiali devi orientare un fascetto laser se vuoi che “ritorni indietro”

- a) il vetro di una finestra
- b) la superficie di cemento di un muro
- c) una superficie di acqua tranquilla
- d) uno specchio
- e) l'aria di una stanza

Spiega brevemente

2. Secondo te perché in alcune camere delle case si installano finestre di vetro smerigliato come in figura?

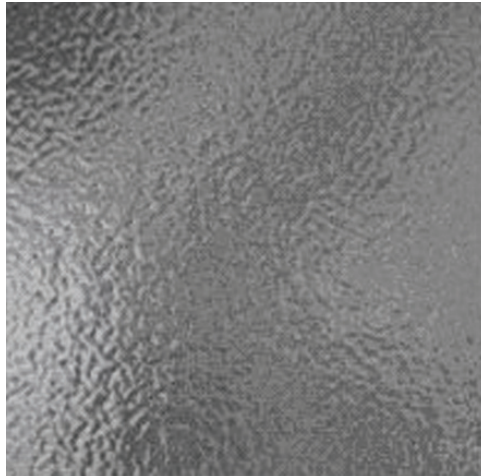


FIGURA I1-01

3. Se un fascetto laser si propaga in aria in una stanza, la sua traiettoria è:

- a) sempre rettilinea
- b) sempre curva
- c) in parte rettilinea in parte curva
- d) rettilinea fino a quando un ostacolo devia o assorbe il fascetto laser
- e) rettilinea fino a quando non curva per superare un ostacolo

Spiega brevemente

4. Immagina di essere un antico egiziano e di dover illuminare lunghi tunnel con molte curve all'interno delle piramidi. Come faresti a guidare la luce attraverso questi tunnel?

5. La foto rappresenta una fontana nella Piazza principale di Mosca. Come mai sono illuminati solo i getti d'acqua curvi della fontana e tutto intorno è buio?



FIGURA I1-02

Spiega brevemente

VERIFICA 2

1. La foto rappresenta un fascetto laser che si sta propagando dall'acqua contenuta nella vaschetta all'aria. La visibilità del fascetto in aria è maggiore di quello nell'acqua perché:
- a) L'aria ha catturato più luce dell'acqua.
 - b) Nella vaschetta c'è meno acqua che aria
 - c) L'aria è meno densa dell'acqua.
 - d) Le particelle di aria sono più piccole delle particelle di acqua.
 - e) L'aria è stata sporcata con particelle che diffondono la luce più delle particelle nell'acqua

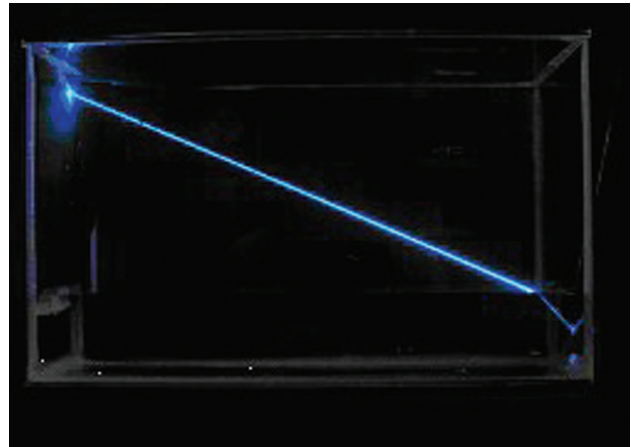


FIGURA I2-01

Spiega brevemente

2. La foto rappresenta un fascetto laser che si sta propagando dall'acqua contenuta nella vaschetta all'aria. Osserva i punti P e Q in cui il fascetto laser incide sulla superficie dell'acqua:

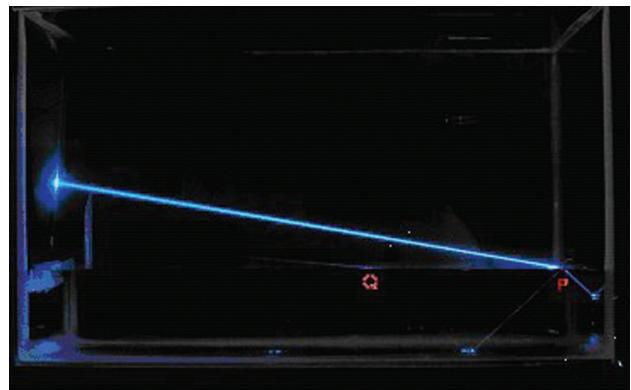


FIGURA I2-02

- | | | |
|----------------------|----|----|
| In P c'è riflessione | SI | NO |
| In P c'è rifrazione | SI | NO |
| in Q c'è riflessione | SI | NO |
| In Q c'è rifrazione | SI | NO |

Spiega brevemente

3. Apri il software Cabri e importa l'immagine "unknown_refraction_index.fig" sullo schermo. Utilizza una rappresentazione grafica per calcolare il rapporto tra i seni degli angoli di incidenza e di rifrazione. Confronta questo risultato con quello che hai ottenuto nell'attività in classe (1.33). È uguale? Diverso?

Spiega brevemente.

4. Quale delle affermazioni seguenti è vera (N.B. Con “indice di rifrazione” di una sostanza si intende l’indice di rifrazione rispetto a quello dell’aria, pari a 1)

- a) L’indice di rifrazione di una sostanza dipende dalla quantità di sostanza che si considera
- b) Se due sostanze hanno densità diverse, quella di densità maggiore ha indice di rifrazione maggiore
- c) L’indice di rifrazione di una sostanza dipende dal volume di sostanza considerato
- d) Un fascetto laser è più luminoso nelle sostanze che hanno indice di rifrazione maggiore
- e) Un fascetto laser che entra con lo stesso angolo in due sostanze con indici di rifrazione diversi è rifratto maggiormente nella sostanza con indice di rifrazione maggiore

Affermazioni vere:

Affermazioni false:

Spiega brevemente

5. Schizza il percorso dei fascetti di luce 1-6 dopo aver raggiunto la superficie di separazione acqua-aria nelle situazioni rappresentate in figura. L’angolo tra i fascetti 1 e 2 e tra 2 e 4 è di 45° .

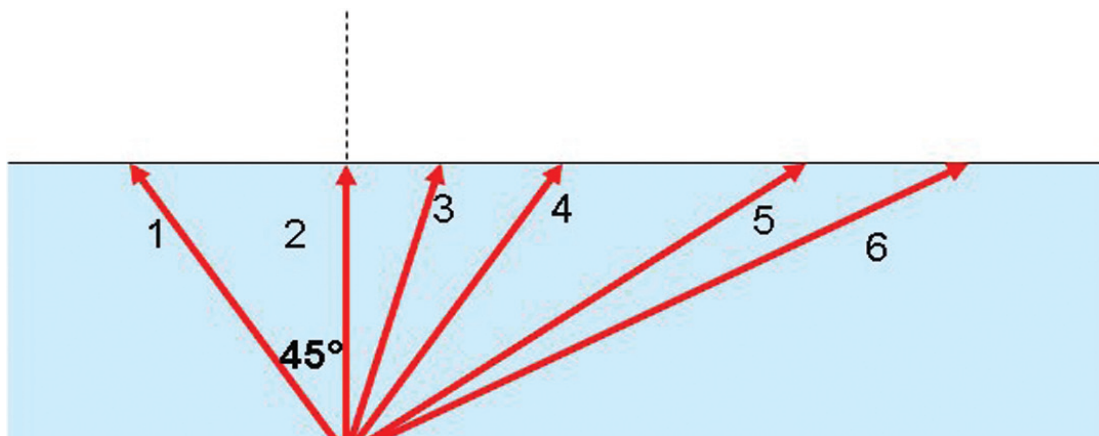


FIGURA I2-3

Spiega brevemente gli schizzi da te tracciati

VERIFICA 3

1. La foto di sotto mostra una fibra ottica realizzata con un tubo di plastica trasparente, in cui è stata inviata la luce, e immersa in acqua. Spiega il diverso comportamento della luce quando nella stessa fibra viene inviata la luce ad un angolo $\theta_0 = 37.9^\circ$ e ad un angolo $\theta_0 = 52.3^\circ$.
 [Alternativamente, se non si dispone di stampante a colori: si invia un raggio laser in un tubo di plastica immerso in acqua. Disegna il percorso del raggio nei casi in cui gli angoli formati dal raggio con l'asse del tubo sono rispettivamente $\theta_0 = 37.9^\circ$ e $\theta_0 = 52.3^\circ$]

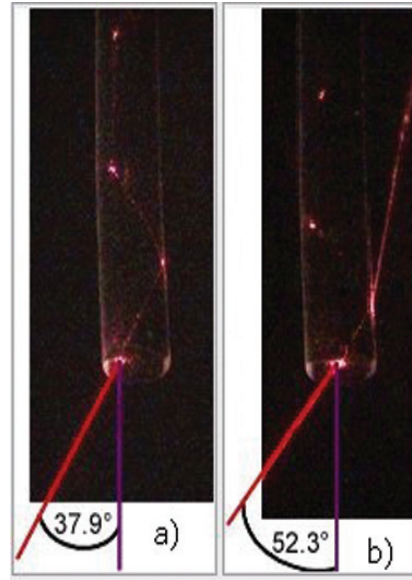


FIGURA I3-01

2. Secondo te è vero che:

Il cladding di una fibra deve avere indice di rifrazione minore di quello del core per evitare il fenomeno della rifrazione	SI	NO
Per diminuire il numero di riflessioni sulla superficie di separazione tra core e cladding la luce è inviata in un fibra ottica parallelamente all'asse	SI	NO
La riflessione totale è il fenomeno che permette di far viaggiare la luce lungo percorsi curvilinei	SI	NO
Per evitare che in una curva la luce esca dalla fibra occorre fare incidere il fascetto di luce parallelamente all'asse della fibra	SI	NO
Il core di una fibra deve avere indice di rifrazione maggiore di quello del cladding per fare avvenire il fenomeno della riflessione totale	SI	NO

3. Secondo te è vero che:

La trasmissione della luce con le fibre ottiche è veloce perchè la luce è veloce	SI	NO
Le fibre ottiche guidano la luce perchè al loro interno ci sono dei piccoli specchietti	SI	NO
La luce all'interno di una fibra ottica viaggia a zig-zag	SI	NO
La parte interna di una fibra è rivestita da uno strato di alluminio per condurre la luce	SI	NO
Quando una fibra si incurva la luce che si propaga al suo interno non perde intensità	SI	NO

QUESTIONARIO FINALE

1. Spiega in breve come mai non vediamo gli oggetti in una stanza al buio

2. Perché qualche volta riesci a vedere la luce che filtra dalle nuvole?

3. È possibile guidare la luce utilizzando

a) un tubo di plastica pieno immerso in aria	SI	NO
b) un tubo di plastica riempito di acqua	SI	NO
c) un tubo di vetro in aria	SI	NO
d) un tubo di gomma al cui interno c'è aria o in cui è stato fatto il vuoto.	SI	NO

Motiva la tua risposta

4. Di quale materiale sono fatte le fibre ottiche delle lampade (vedi figura)

- a) Plastica
- b) Vetro
- c) Gomma
- d) Ceramica



FIGURA POST-01

5. Cosa accade quando la luce colpisce una superficie di acqua calma:

- a) tutta la luce ritorna in aria
- b) tutta la luce attraversa l'acqua
- c) parte della luce viaggia nell'acqua, parte ritorna in aria
- d) tutta la luce è catturata dall'acqua
- e) Devo conoscere quanto grande è la superficie

Motiva la tua risposta

.....

.....

.....

6. Secondo te è vero che:

a) l'indice di rifrazione è una proprietà dei materiali	SI	NO
b) la luminosità di un fascetto laser in acqua dipende dall'indice di rifrazione dell'acqua	SI	NO
c) il valore dell'indice di rifrazione di una sostanza dipende dalla quantità di sostanza considerata	SI	NO
d) per misurare l'indice di rifrazione di una sostanza rispetto ad un'altra, è sufficiente conoscere l'angolo critica tra le due sostanze	SI	NO
e) per misurare l'indice di rifrazione di una sostanza è necessario conoscerne la densità	SI	NO

Motiva la tua risposta

.....

.....

.....

7. Se puoi accedere a Cabri, apri i files "water_oil.fig" e "oil_water.fig" e disegna i fascetti laser nei due mezzi con i corrispondenti angoli di rifrazione. ($n_{\text{water}} = 1.33$; $n_{\text{oil}} = 1.67$). Nel caso ti sia impossibile accedere a Cabri, traccia il percorso del fascetti laser sulla figura di sotto.

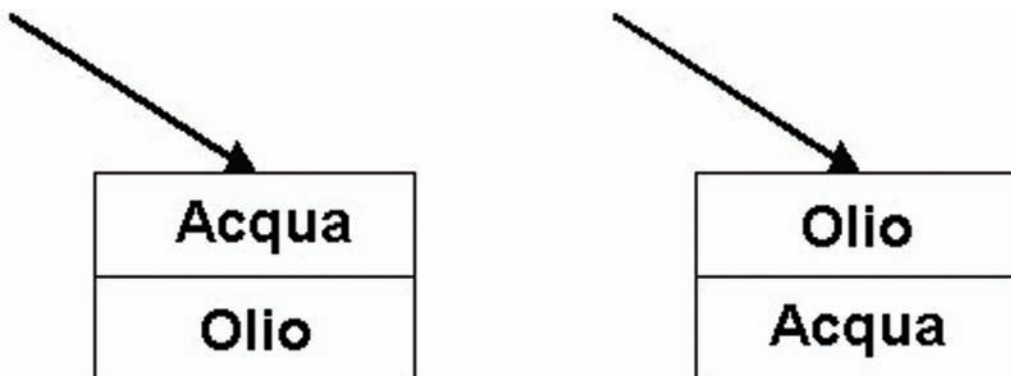


FIGURA POST-02

Motiva la tua risposta

8. Secondo te è vero che:

a) La luce che viaggia da acqua ad aria può andare in riflessione totale	SI	NO
b) L'angolo limite dipende solo dall'indice di rifrazione del materiale in cui viaggia il fascetto di luce	SI	NO
c) La luce che viaggia da aria ad acqua può andare in riflessione totale	SI	NO
d) La riflessione totale è un fenomeno che avviene quando la luce viaggia da un materiale meno rifrangente ad uno più rifrangente	SI	NO
e) Dato un fascetto che si propaga in un materiale ed incide sull'interfaccia con un materiale diverso, l'angolo limite è il più piccolo angolo di incidenza per cui non si ha più rifrazione nel secondo materiale	SI	NO

Motiva la tua risposta

9. Nella figura, θ_0 è pari a 45° . Quale/i tra le seguenti affermazioni sono vere?

- a) Se $n_2 > 1.40$ si ha rifrazione tra core e cladding.
- b) Il fascetto appena entrato nella fibra devia verso l'asse della fibra
- c) Per sapere come devia il fascetto appena entrato nella fibra devo conoscere n_2
- d) Il fascetto appena entrato nella fibra devia verso la parte superiore della fibra
- e) E' sufficiente che sia $n_2 < 1.40$ per avere riflessione totale tra core e cladding.

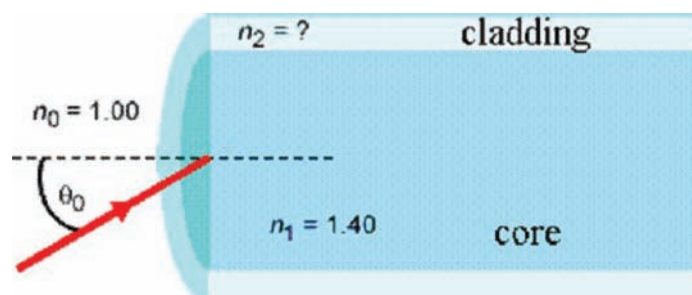


FIGURA POST-03

Motiva la tua risposta

10. Secondo te è vero che

a) L'apertura numerica di una fibra dipende dal diametro della fibra	SI	NO
b) L'angolo di accettazione è il valore più grande dell'angolo di entrata nella fibra per il quale si ha riflessione totale tra core e cladding	SI	NO
c) L'apertura numerica di una fibra dipende solo dagli indici di rifrazione di core e cladding	SI	NO
d) Se la differenza tra gli indici di rifrazione di core e cladding aumenta, l'angolo di accettazione di una fibra aumenta	SI	NO
e) Se la differenza tra gli indici di rifrazione del core e del cladding diventa nulla, l'angolo di accettazione è il più grande possibile	SI	NO

Motiva la tua risposta

COME ANALIZZARE I QUESTIONARI

PRE-TEST

PART A (max = 10 pts)

1. (1 punto) Una retta è una sequenza rettilinea infinita di punti; un segmento è una parte di retta compresa tra due punti; una semiretta è una parte di una retta con un punto come origine e una direzione assegnata
2. (1 punto) a)
3. (1 punto) d)
4. (1 punto) a)
5. (2 punti) L'angolo formato dal segmento PB è maggiore di quello formato da AP
6. (3 punti) b) L'angolo formato in figura 2 è di 20° minore di quello in figura 1
7. (1 punto) Il valor medio è 2.5

PART B (max = 3 pts)

1. (1 punto) Gli oggetti diffondono la luce che li raggiunge da una sorgente di luce. Se non vi è luce nessuna luce può entrare nei nostri occhi
2. (1 punto) b) La sorgente di luce illumina l'oggetto che riflette parte della luce nei nostri occhi
3. (1 punto) La luce è diffusa dalle molecole di vapore acqueo vicino alla nuvole

Verifica 1 (max = 5 pts)

1. (1 punto) d)
2. (2 punti) Il vetro smerigliato permette alla luce di entrare ma non di uscire verso un osservatore dietro di esso
3. (1 punto) d)
4. (1/2 punto) Gli antichi Egeizi usavano una sequenza di specchi per guidare la luce del sole lungo i tunnel
5. (1/2 punto) I getti d'acqua circondati dall'aria agiscono come guide di luce

Verifica 2 (max = 5 pts)

1. (1/2 punto) e
2. (1/4 punto) tutte sì. In P e Q i fasci di luce non incidono ad angolo critico
3. (1.75 punti)
4. (1 punto) all FALSE. Refraction index is a property of the material. The last answer is a consequence of Snell law.
5. (1.5 punti) Rays hitting the water surface at angles greater than 48.8° are totally reflected.

Verifica 3 (max = 5 pts)

1. (2 punti) Quando il fascetti di luce entra nel tubo a 37.9° , l'angolo di incidenza alla superficie tra la plastica e l'acqua nel tubo è maggiore dell'angolo critico tra questi due materiali. Ciò non accade quando l'angolo di entrata è 52.3° .
2. (3/2 punti) Tutte Sì
3. (3/2 punti) NO – NO – Sì – NO – Sì

Post Test (max = 15 pts)

1. (1 punto) Gli oggetti diffondono la luce che li raggiunge da una sorgente di luce. Se non vi è luce nessuna luce può entrare nei nostri occhi
2. (1 punto) La luce è diffusa dalle molecole di vapore acqueo vicino alla nuvole
3. (2 punti) Sì – Sì – No – No – Sì– Sì
4. (1/2 punto) a)
5. (1/2 punto) c)
6. (2 punti) Sì – No – No – Sì – No
7. (2 punti)
8. (2 punti) Sì – No – No – No – Sì
9. (2 punti) Sì – Sì – No – No – No
10. (2 punti) No – Sì – Sì – Sì – No

Come valutare i risultati**Globalmente**

- Parte A del Pre-Test < 5, la conoscenza pregressa degli studenti in geometria euclidea non è sufficiente per realizzare le attività del modulo
- Se gli studenti non rispondono ad almeno 2 domande della Parte B del Pre-test, bisogna realizzare una attività preliminare sulla visione
- Se la media in una delle verifiche è ≤ 3 → gli obiettivi per questo segmento del modulo non sono soddisfatti
- Se la media del Post Test è ≤ 7 → alcuni obiettivi del Modulo non sono stati soddisfatti

Localmente

Punteggio totale media tra Verifiche (1 + 2 + 3) e Post Test

MEDIA (X)	LIVELLO RAGGIUNTO DAGLI STUDENTI
$0 \leq x \leq 2.5$	Molto basso
$2.5 < x \leq 5$	basso
$5 < x \leq 7.5$	Mediamente basso
$7.5 < x \leq 10$	Mediamente alto
$10 < x \leq 12.5$	Alto
$12.5 < x \leq 15$	Molto alto

**MATERIALS
SCIENCE PROJECT**

UNIVERSITY-SCHOOL PARTNERSHIPS
FOR THE DESIGN AND IMPLEMENTATION
OF RESEARCH-BASED ICT-ENHANCED
MODULES ON MATERIAL PROPERTIES

ISBN 978-9963-689-41-5
2009