

Proposte per il Laboratorio di Fisica del primo biennio delle Scuole secondarie di secondo grado

ANNA RAMBELLI*
Liceo Scientifico “G. Galilei”
Trieste
annarambelli@virgilio.it

SUNTO

L'insegnamento della Fisica indirizzato a studenti di età inferiore a quindici anni richiede scelte specifiche sia dal punto di vista metodologico che contenutistico. È importante garantire l'apprendimento efficace di questa disciplina nella fase iniziale del percorso scolastico per far sì che il giovane allievo, da un lato inizi ad acquisire consapevolezza e familiarità con il mondo della scienza e della tecnologia e, dall'altro, impari un metodo di studio, basato su procedimenti logici applicabili sia in ambito teorico sia applicativo, utile per un corretto approccio a qualunque campo della conoscenza.

PAROLE CHIAVE

FISICA / PHYSICS; DIDATTICA DELLA FISICA / PHYSICS EDUCATION; LABORATORIO DI FISICA / PHYSICS LABORATORY; DIDATTICA DELLE SCIENZE / SCIENCE EDUCATION; SCUOLE SECONDARIE / SECONDARY SCHOOLS; PRIMO BIENNIO / FIRST BIENNIUM.

1. COME INTRODURRE GLI STUDENTI ALLO STUDIO DELLA FISICA?

L'insegnamento della Fisica nel periodo compreso tra l'inizio delle scuole primarie e la fine del primo biennio delle scuole secondarie di secondo grado, può rappresentare ancora oggi un problema di non facile soluzione per il docente. Questo, probabilmente, accade perché, fino a pochi anni fa, lo studio della Fisica era limitato agli ultimi anni delle scuole secondarie di secondo grado in quasi tutti i corsi di studio, perciò, nonostante le esperienze significative introdotte dal Piano Ministeriale *Insegnare Scienze Sperimentali* (ISS), resta ancora molto diffusa una preoccupante carenza nella formazione degli insegnanti su questo aspetto della Didattica della Fisica.

* Docente del PAS e del TFA A049 dell'Università di Trieste, Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF).

L'importanza di un'adeguata introduzione allo studio di questa disciplina nella prima parte del percorso formativo dello studente, credo possa essere compresa riflettendo su quelle che, in questa fase, sono le due ricadute, a mio parere più importanti, di questo tipo di apprendimento.

La prima riguarda la *formazione di base del cittadino* che, di fatto, appartiene a una civiltà fortemente influenzata dalla presenza pervasiva della *tecnologia*, l'aspetto del mondo della scienza che più di ogni altro raggiunge il singolo nel suo vissuto quotidiano.

La scuola ha il compito di fornire agli adulti di domani gli strumenti utili ad acquisire consapevolezza nell'uso delle *nuove tecnologie*, sia sul piano cognitivo che su quello comportamentale; questa impostazione consentirà loro di rapportarsi con il mondo della tecnologia scevri da timori o preclusioni, favorendo, una volta terminati gli studi, l'attuazione di approfondimenti successivi ormai resi indispensabili dall'evoluzione rapida delle conoscenze in questo settore.

Non è più accettabile che una persona adulta si senta esclusa a priori dalla conoscenza scientifica, come purtroppo ancora accade; in modo particolare ciò è inammissibile, quando questa percezione di sé risulti il frutto di esperienze negative vissute nella scuola. In realtà, fin dalla fase iniziale del suo percorso formativo, lo studente può essere condotto a familiarizzare con i fondamenti di questo campo della conoscenza, se l'insegnamento delle discipline scientifiche viene attuato con le modalità che meglio si adattano alle capacità mediamente sviluppate negli allievi del livello scolare a cui è indirizzato.

Questa impostazione favorirà lo sviluppo di un percorso scolastico in ambito scientifico caratterizzato da connotazioni in linea di massima positive e, al termine dei suoi studi, anche non condotti in area prevalentemente scientifica, lo studente avrà maturato un atteggiamento mentale nei confronti della *scienza* che, come minimo, lo manterrà in contatto con essa su diversi piani, iniziando da quelli dell'interesse e della curiosità, per proseguire su quelli dell'informazione e della valutazione critica ponderata.

La seconda “ricaduta” fa riferimento all’aspetto formativo dello studio della Fisica e riguarda il modo con cui l’allievo si accosta alla conoscenza in generale.

L’apprendimento efficace della Fisica, anche a livelli iniziali, non può che essere il risultato di un procedimento logico che l’allievo andrà a costruire in tutte le sue fasi; in questo percorso l’apprendimento di tipo mnemonico assumerà il ruolo che gli spetta, cioè quello di supporto utile nel processo di assimilazione dei contenuti, il quale, però, sarà basato principalmente sull’utilizzo delle capacità di *osservazione*, di *analisi* e di *sintesi*.

Lo studente che impari ad apprendere la Fisica secondo queste modalità, sarà in grado di estendere lo stesso approccio alla conoscenza anche ad altre discipline di studio e avrà perciò sviluppato una competenza che lo supporterà in tutto il suo percorso scolastico. Il successo legato all’aspetto formativo della Didattica della Fisica appena descritto, dipende fortemente dalla precocità di avvio di questo modo di apprendere.

2. LA FISICA NEL PRIMO BIENNIO DELLE SCUOLE SECONDARIE DI SECONDO GRADO

Quali sono gli aspetti della didattica sui quali è meglio insistere per favorire il processo di apprendimento nel primo biennio delle scuole secondarie di secondo grado?

Per rispondere a questa domanda occorre tenere presente che la scuola è il luogo in cui lo studente, in prima persona, deve avere la possibilità di costruire le sue conoscenze, di appropriarsi dei concetti e di imparare ad applicarli a situazioni nuove; è, inoltre, compito del docente creare le condizioni affinché lo studio della Fisica diventi per l’allievo un’esperienza interessante e coinvolgente.

Le ultime considerazioni sottolineano l’importanza della ricerca, da parte del docente, delle *strategie didattiche* più adatte alla situazione del gruppo classe in cui sta operando, con lo scopo di favorire lo sviluppo delle competenze fissate dal dipartimento di disciplina.

L’esecuzione di *esperimenti* in laboratorio risulta la scelta didattica più indicata, quando si voglia dare priorità alla partecipazione attiva di ogni allievo. Il laboratorio

del biennio dovrebbe essere fondato sull'approccio *fenomenologico* e dovrebbe favorire lo sviluppo sia di capacità logiche che di abilità sperimentali.

Il ruolo dell'*osservazione* riveste una particolare importanza in questa fase del percorso scolastico e l'analisi anche soltanto di tipo qualitativo si rivela già di grande aiuto, quando si voglia guidare lo studente a “guardare” la realtà con gli occhi della Fisica. Sono, perciò, di questo tipo le due proposte di attività sperimentali che ho scelto, per illustrare quanto fin qui esposto; esse riguardano il tema della *propagazione della luce* come viene descritta dall'ottica geometrica.

3. LE PROPOSTE DIDATTICHE

La prima proposta trova la sua collocazione nell'ambito della *didattica informale*, una modalità di lavoro che può rivelarsi particolarmente utile se opportunamente inserita nella programmazione di inizio anno. Infatti l'insuccesso scolastico spesso dipende dall'assenza di domande, dalla mancanza di curiosità e quindi di motivazioni. Accade facilmente che gli insegnanti forniscano risposte a domande che in realtà non esistono. Il giocattolo scientifico può essere visto come ponte tra il laboratorio di Fisica e il mondo reale, perché stimola la curiosità e fa nascere le domande che potranno trovare risposta nel percorso didattico “formale”.



Figura 1. *Miraggio*: immagine reale formata da specchi sferici affacciati (Foto: A. Rambelli).

I fenomeni su cui si vuole attirare l'attenzione con i tre giocattoli scelti, sono la riflessione della luce con specchi piani e specchi concavi e la rifrazione della luce¹:



Figura 2. *Artistic coin box*: illusione ottica ottenuta con uno specchio piano situato su uno dei piani di simmetria di un cubo (Foto: A. Rambelli).



Figura 3. *Trasparenza*: osservazione dell'effetto ottico di un materiale trasparente immerso nell'acqua, avente indice di rifrazione molto vicino a quello dell'acqua e densità maggiore (Foto: A. Rambelli).

¹ Per approfondimenti: *La Fisica nella Scuola*. Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), Quaderno 4 - *I giocattoli e la scienza* (ristampa del 2015).

Il Prof. Giorgio Häusermann (Giardino della Scienza, Ascona)², esperto di educazione scientifica informale, è stato il primo a farmi comprendere l'importanza del ruolo che può assumere il *giocattolo scientifico* nell'insegnamento di questa disciplina. Io stessa, nel corso della mia esperienza professionale, ho poi constatato che osservare un fenomeno non immediatamente spiegabile in termini di *senso comune*, può avviare nell'allievo atteggiamenti mentali che favoriscono lo svolgersi del processo di apprendimento.

Se si vuole che questa pratica didattica divenga parte integrante dell'attività di insegnamento e che, quindi, produca risultati, per quanto possibile, misurabili, è innanzitutto necessario collocare la presentazione del giocattolo a un punto del percorso, che sia stato scelto dal docente con criteri di opportunità didattica.

Sulla base di questa considerazione, *Miraggio* e *Artistic coin box*, possono costituire una interessante introduzione allo studio della riflessione della luce nell'ambito dell'ottica geometrica, mentre l'osservazione delle cosiddette *Perle d'acqua*, ben si colloca all'inizio del percorso sulla rifrazione.

In un primo momento allo studente può essere semplicemente affidato il compito di osservare ciò che accade; successivamente, per valorizzare il più possibile questa prima fase, tenendo conto della situazione specifica del gruppo classe, l'insegnante può dare vita a una discussione, da lui stesso guidata, che sappia mettere nella giusta luce i contributi degli studenti, o può, in alternativa, optare per la somministrazione di una scheda di lavoro in grado di orientare opportunamente l'osservazione degli allievi; lo scopo di questa attività è avviare gli studenti a uno sguardo sulla realtà dal punto di vista della Fisica e, contemporaneamente, quello di mettere a fuoco le loro domande che, spesso, si manifestano in forma troppo generica. In seguito, sarà fondamentale riproporre il giocattolo nel corso della trattazione formale dei fenomeni fisici su cui si basa il suo funzionamento, avendo cura di mettere ben in chiaro il

² Membro del Consiglio Direttivo dell'AIF - Associazione per l'Insegnamento della Fisica, il Prof. Giorgio Häusermann è stato docente di discipline scientifiche nelle scuole ticinesi nonché responsabile della formazione degli insegnanti all'IAA e all'ASP di Locarno. Si rammenta che, nel 2010, ha aperto il *Giardino delle Scienze* ad Ascona; si veda in proposito il sito web: <<http://www.scitoladieinstein.com>>.

collegamento tra quanto osservato e i contenuti teorici di riferimento. Questo percorso, infine, dovrà trovare riscontro nell'ambito delle prove di verifica programmate, mediante la predisposizione di specifici quesiti.

La seconda proposta è costituita da due esperimenti presentati alla Scuola Estiva *Ottica* organizzata dall'AIF presso i Laboratori del Gran Sasso nel 2006 e tenuta dal Prof. Elio Fabri, ora professore emerito del Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Pisa; io stessa, nell'ambito della citata attività di formazione, ho messo a punto il materiale didattico allegato.

I due esperimenti mettono gli studenti in grado di osservare alcuni effetti della propagazione rettilinea della luce nelle condizioni in cui risulta trascurabile il suo carattere ondulatorio; essi consentono di riflettere sulla differenza esistente tra *sorgenti puntiformi* e *sorgenti estese*, mostrando i diversi effetti che si producono su uno schermo dopo che la luce da esse emessa, ha incontrato ostacoli o attraversato diaframmi; tale osservazione fa in modo che concetti astratti siano riportati sul piano dei fenomeni reali e mette lo studente nelle condizioni di “vedere” ciò che accade e, quindi, di comprendere descrizioni teoriche alle quali, altrimenti, potrebbe dar credito senza averne reale consapevolezza. I titoli degli esperimenti proposti sono:

- Ombra e penombra;
- Luce e «penluce».

Queste attività di laboratorio fungono da “lente di ingrandimento” su fenomeni che potrebbero apparire marginali nell'ampio contesto dello studio della Fisica; in realtà mi preme sottolineare l'importante ruolo che essi possono assumere sull'impostazione di un corretto approccio allo studio di questa disciplina.

È molto utile che, soprattutto nei primi due anni delle scuole secondarie di secondo grado, lo studente si senta all'altezza del compito affidatogli e abbia la certezza di trovare risposte concrete al suo desiderio di sapere come funzionano le cose in natura, anche se relative a porzioni di realtà.

A questo proposito può essere interessante avviare una riflessione sulle indicazioni

ministeriali relative all'insegnamento della Fisica nel primo biennio del Liceo Scientifico. Esse prevedono anche la trattazione di temi che, per la loro intrinseca complessità, possono costituire un reale ostacolo alla realizzazione di quanto sopra descritto, non solo perché sono a disposizione due sole ore settimanali di lezione, ma anche perché la capacità di astrazione e di rielaborazione dei concetti che mediamente gli studenti di questa età possiedono, risulta spesso inadeguata.

In realtà, facendo ampio uso del *laboratorio*, come viene raccomandato dalle stesse indicazioni ministeriali³, anche rimandando la trattazione di temi complessi, come ad esempio la *cinematica*, al biennio successivo, è possibile avviare, nel corso del primo biennio, lo studio proficuo di numerosi argomenti di grande interesse sia sul piano cognitivo che formativo, perché molto vicini alla realtà quotidiana; i temi che maggiormente si prestano a questo tipo di impostazione, sono *ottica geometrica, termologia e calorimetria, forze ed equilibrio, statica dei fluidi, energia*; questa scelta non comporta la rinuncia a portare a termine alla fine dei cinque anni un percorso che risponda appieno alle esigenze di chi desidera uscire dal liceo con una preparazione adeguata alla prosecuzione degli studi in campo scientifico.

Ombra e penombra - Luce e "penluce"

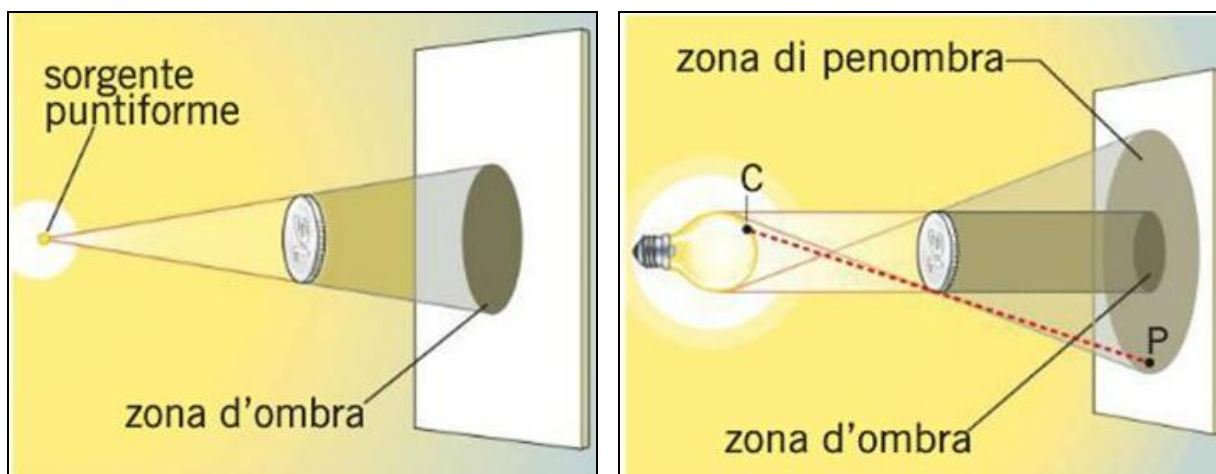


Figura 4. Figure⁴ simili a queste vengono riportate in molti libri di testo per illustrare il fenomeno dell'*ombra* e della *penombra*.

³ Allegato A del *Regolamento dei Licei*.

⁴ Immagini tratte da *L'Amaldi blu*, Bologna, Zanichelli Editore, 2014.

Gli esperimenti proposti sono di tipo *qualitativo* e consentono di capire come vengono generate le ombre, le penombre e le macchie di luce. Essi permettono di osservare le caratteristiche delle “immagini” che si formano su uno schermo, quando si interpongono, tra esso e una o più sorgenti puntiformi, un ostacolo o un diaframma. Sono indirizzati a studenti che iniziano lo studio dell’ottica geometrica, presumibilmente al biennio delle scuole secondarie di secondo grado; sono di semplice esecuzione e particolarmente adatti per essere proposti come attività di gruppo.

Per eseguire in modo utile questi esperimenti, gli studenti devono essere informati sulla propagazione rettilinea della luce e devono sapere cosa si intende per *sorgente puntiforme* e per *sorgente estesa*.

Lo studente che esegue gli esperimenti avrà la possibilità di:

- osservare che le dimensioni dell’ombra o della macchia di luce dipendono dalle distanze sorgente-ostacolo e ostacolo-schermo o sorgente-diaframma e diaframma-schermo;
- comprendere la causa della formazione dell’ombra e della penombra;
- comprendere la causa della formazione della macchia di luce a contorni nitidi oppure sfumati;
- migliorare le abilità manuali;
- incrementare le capacità di osservazione.

Ogni gruppo deve avere a disposizione:

- Quattro sorgenti di luce *puntiformi*⁵ con relativa alimentazione;
- Una sorgente estesa con relativa alimentazione;
- Supporto A al quale sono fissate le quattro sorgenti *puntiformi*;
- Morsetto;
- Supporto B, costituito da treppiede e asta orizzontale fissati tra loro da un doppio morsetto, al quale verranno appesi l’ostacolo e il diaframma;

⁵ In questo articolo, per sorgente *puntiforme*, si intende una sorgente che può essere considerata con buona approssimazione puntiforme.

- Cartoncino rigido;
- Filo di cotone;
- Schermo;
- Foglio di carta millimetrata;
- Nastro adesivo, matita, pennarelli colorati, forbici.

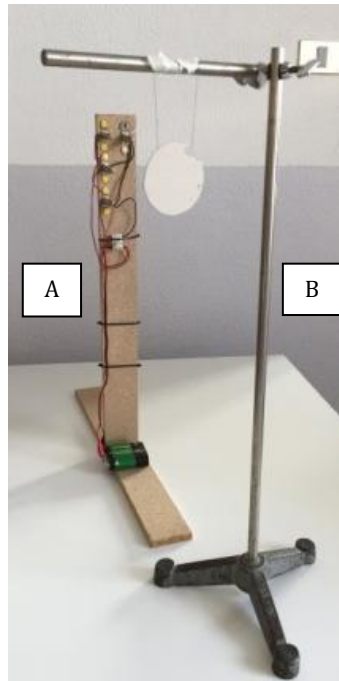


Figura 5. Apparato sperimentale; supporti A e B (Foto: A. Rambelli).

Esecuzione

Si assicura al tavolo con il morsetto il supporto A e si posiziona di fronte ad esso, a una distanza di circa 1,5 m, lo schermo sul quale era già stato fissato con il nastro adesivo il foglio di carta millimetrata. Si ritaglia da un cartoncino una forma circolare, di almeno 6 cm di diametro, che fungerà da ostacolo; il cartoncino rimasto potrà essere utilizzato come diaframma.

Si dispone tra sorgenti e schermo il supporto B, al quale viene appeso l'ostacolo in modo che non ruoti su se stesso. A questo scopo si possono utilizzare due fili di cotone appesi in parallelo, ai quali viene fissato l'ostacolo con il nastro adesivo. Dopo aver oscurato la stanza, si accende una sola lampadina e si osserva l'ombra

prodotta sullo schermo: essa appare a contorni netti; a questo punto è interessante notare come cambiano le dimensioni dell'ombra al variare della distanza tra ostacolo e schermo e tra sorgente e ostacolo.

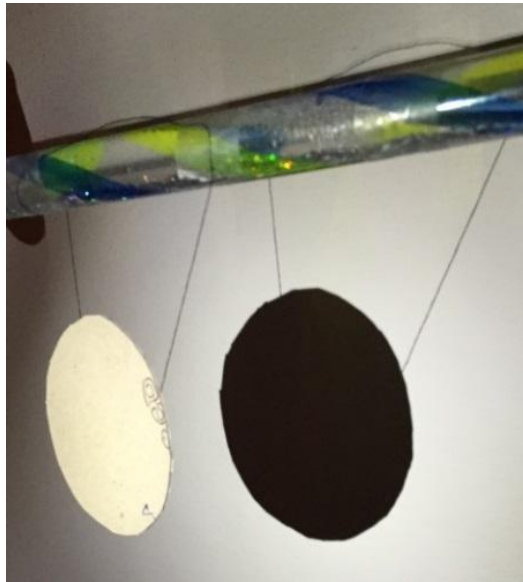


Figura 6. Ombra ottenuta con una sorgente *puntiforme*. Si notano i contorni netti dell'ombra (Foto: A. Rambelli).

Successivamente si illumina l'ostacolo con la sorgente estesa e si osserva che l'ombra ottenuta sullo schermo ha i contorni sfumati e presenta, quindi, una zona di penombra.

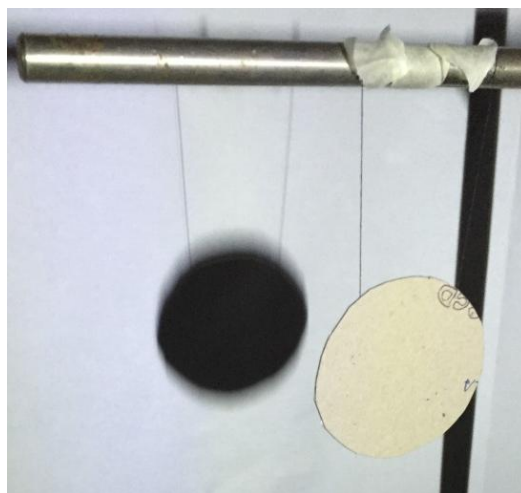


Figura 7. Ombra ottenuta con una sorgente estesa. Si osserva la zona di penombra che circonda l'area totalmente ombreggiata (Foto: A. Rambelli).

Si accendono una alla volta le quattro lampadine e, ad ogni accensione, si traccia con una matita sullo schermo il contorno dell'ombra ottenuta. Gli studenti possono constatare che ogni nuova lampada accesa dà luogo a un'ombra situata in una posizione diversa; può essere utile evidenziare con pennarelli di diverso colore le zone oscurate da ogni singola sorgente e fare una previsione su quali aree risulteranno buie o parzialmente illuminate quando tutte le lampadine saranno accese contemporaneamente.

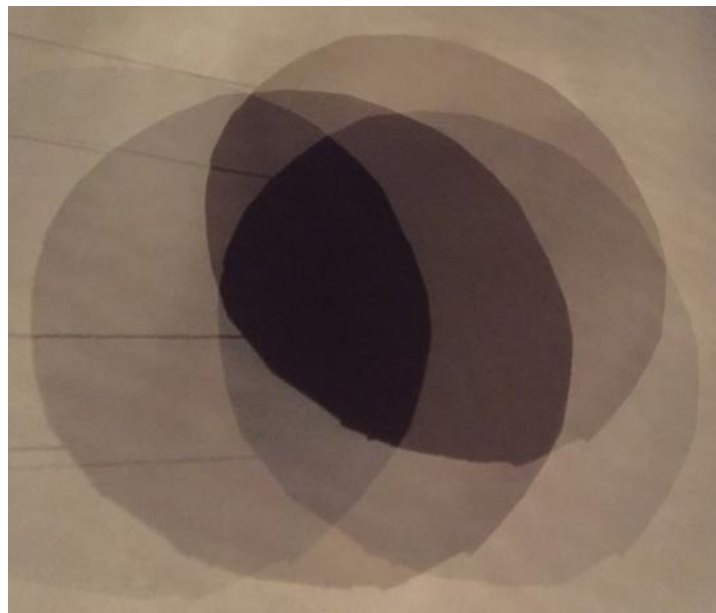


Figura 8. Ombre ottenute con quattro sorgenti *puntiformi* (Foto: A. Rambelli).

Dopo avere acceso tutte le lampadine, gli studenti osservano le zone che sono diversamente illuminate e le confrontano con i contorni precedentemente tracciati. È opportuno discutere con gli studenti i motivi delle eventuali possibili discordanze significative. Nella Figura 8 si nota che la zona dello schermo che è di ombra per tutte le sorgenti, è più scura di quelle che sono di ombra per alcune e di luce per altre; l'insieme di queste ultime formano la zona di penombra.

Gli studenti vengono invitati a riflettere sul motivo della differenza tra l'ombra ottenuta con una sola lampada e quella ottenuta con più lampade; essi confrontano l'ombra ottenuta con più lampade puntiformi con quella ottenuta con la sorgente

estesa e, dopo aver notato gli aspetti comuni dei due fenomeni, sono messi in grado di comprendere perché una sorgente estesa può essere considerata un insieme di sorgenti puntiformi.

Ora si sostituisce l'ostacolo appeso al supporto B con il diaframma di cartone. Il procedimento da seguire per analizzare le macchie di luce a contorni netti o sfumati è analogo a quello proposto per lo svolgimento del primo esperimento, quindi si presta ad essere eseguito dagli studenti in modo autonomo.

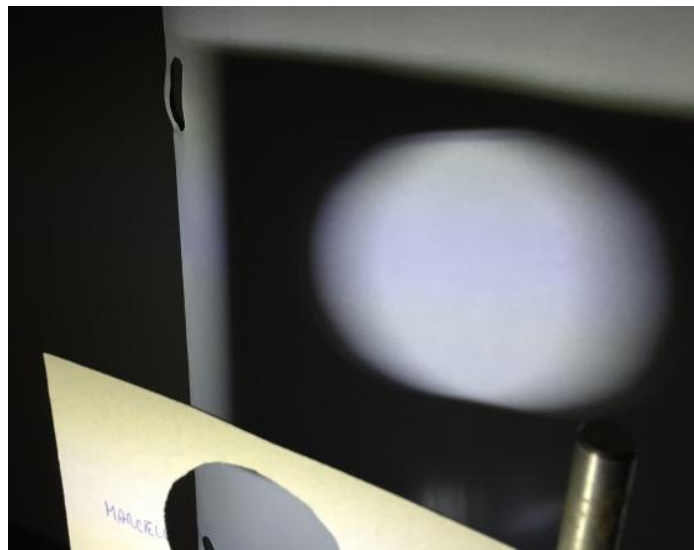


Figura 9. Macchia di luce ottenuta con una sorgente estesa. Si osservano i contorni sfumati che mettono in evidenza le zone di “penluce” (Foto: A Rambelli).

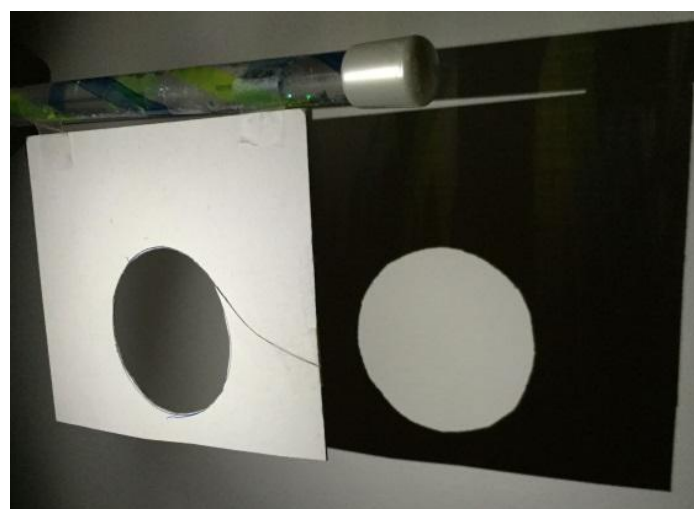


Figura 10. Macchia di luce ottenuta con una sorgente *puntiforme*. Si notano i contorni nitidi della zona di luce visibile sullo schermo (Foto: A. Rambelli).

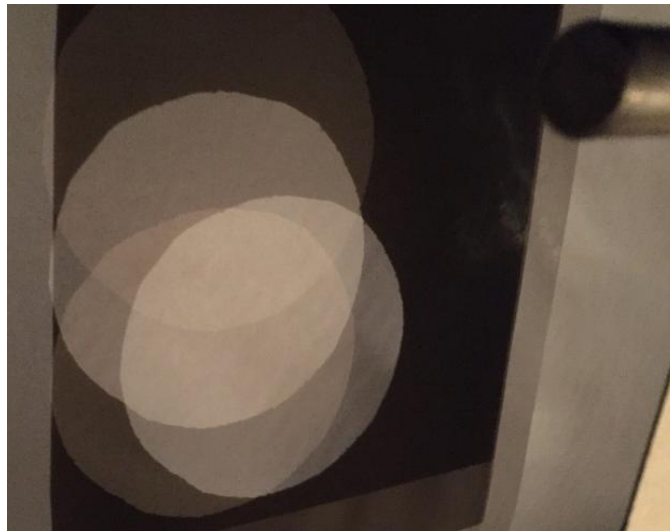


Figura 11. Macchie di luce ottenute con quattro sorgenti *puntiformi*. Si nota che la zona centrale è la più luminosa perché illuminata da tutte le sorgenti, mentre le altre zone risultano diversamente illuminate a seconda del numero di sorgenti a cui sono soggette (Foto: A. Rambelli).

Scheda didattica

Alcune domande per riflettere sull'attività di laboratorio svolta direttamente dagli studenti

1. Disponi tra sorgenti e schermo il supporto B, al quale, servendoti del filo di cotone e del nastro adesivo, appenderai uno alla volta ostacoli di forma diversa, in modo che non ruotino su loro stessi. Dopo l'oscuramento della stanza, accendi una sola lampadina (che in queste condizioni può essere considerata una sorgente puntiforme) e osserva l'ombra prodotta sullo schermo.

Descrivi ciò che vedi confrontando la forma e le dimensioni dell'ombra con quelle dell'ostacolo:

.....

.....

.....

.....

I contorni dell'ombra sono netti o sfumati?

.....

Tenendo fisso lo schermo, cambia la posizione del supporto B rispetto alla sorgente.

Descrivi come cambiano la forma e le dimensioni dell'ombra quando

a) *l'ostacolo è molto vicino alla sorgente*

.....

b) *l'ostacolo è molto vicino allo schermo*

.....

Da cosa dipende la variazione delle dimensioni? Per rispondere serviti di un disegno schematico.

Ora illumina l'ostacolo con la sorgente estesa e osserva l'ombra ottenuta.

I contorni dell'ombra sono netti o sfumati?

2. Accendi una alla volta le quattro lampadine (sorgenti puntiformi) e osserva l'ombra formata da ognuna di esse.

Cosa puoi dire riguardo alla posizione occupata da ogni ombra sullo schermo?

Traccia sullo schermo con un pennarello i contorni delle singole ombre che si formano.

Le figure così ottenute si intersecano?

Evidenzia con il pennarello blu il contorno della superficie che risulta dall'intersezione delle quattro figure e con quello rosso quello delle superfici comuni a due o tre figure.

A lampadine spente, riesci a prevedere quale sarà la zona totalmente in ombra e quali saranno quelle parzialmente illuminate (penombra)?

Accendi tutte le sorgenti puntiformi e osserva l'ombra sullo schermo. Confronta i contorni delle zone di ombra e di penombra con quelli precedentemente tracciati.

Nel caso vi siano significative discordanze tra i due contorni, quali potrebbero essere, a tuo parere, le cause?

Spiega con parole semplici perché con una sorgente sola si ottiene un'ombra dai contorni nitidi, mentre con più sorgenti puntiformi si ottengono zone di ombra e di penombra.

Tenendo presente quanto osservato finora, sapresti spiegare perché una sorgente estesa può essere considerata un insieme di sorgenti puntiformi?

Dopo aver sostituito l'ostacolo con il diaframma, esegui le operazioni indicate nei punti 1 e 2 del primo esperimento. Osserverai la formazione di macchie di luce al posto delle ombre.

Descrivi, aiutandoti anche con un disegno, l'immagine che ottieni sullo schermo quando le quattro sorgenti puntiformi sono accese contemporaneamente e spiega il motivo per cui si formano zone diversamente illuminate.

BIBLIOGRAFIA

AMALDI U.
2014, *L'Amaldi.blu*, Bologna, Zanichelli.

La Fisica nella Scuola. Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), Quaderno 4 - *I giocattoli e la scienza* (ristampa del 2015).

La Fisica nella Scuola. Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), Quaderno 9 - *La cattedra e il bancone* (2000).

La Fisica nella Scuola, Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), *La Fisica in gioco* – Atti del XLI Congresso Nazionale AIF, Casarano (2002).

La Fisica nella Scuola. Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), Quaderno 15 - *Esperienze di fisica* - Colin Siddons (2004).

La Fisica nella Scuola, Bollettino trimestrale dell'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), Quaderno 24 - *La Fisica nel Biennio*, Scuola estiva di Trento (2014).

PER APPROFONDIRE

PSSC - COMITATO PER LO STUDIO DELLA SCIENZA FISICA (a cura di)
1973, *Fisica*, Bologna, Zanichelli.

TIPLER P. A.
2000, *Corso di fisica*, Bologna, Zanichelli.

SITI WEB

La Riforma della Scuola Secondaria Superiore,
<http://archivio.pubblica.istruzione.it/riforma_superiori/nuovesuperiori/index.html#regolamenti>,
sito consultato l'11.2.2016.

La scatola di Einstein,
<<http://www.scatoladieinstein.com>>, sito consultato il 9.2.2017.

Lezioni di ottica di Elio Fabri,
<<http://old.mce-fimem.it/ricerca/eduscientifica/Fabri/ottica%20Fabri/lezioniottica.html>>,
sito consultato l'11.2.2016.