

sciencemagazine

04
FEBBRAIO 2015

LA SCIENZA IN CLASSE

© Corbis

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

SPECIALE
Anno
Internazionale
della Luce,
un'occasione
da non perdere

di **Marco Milano**

2

ATTUALITÀ PER LA CLASSE

Il Sole in una stanza
di **Tiziana Moriconi**

5

IDEE E STRUMENTI PER INSEGNARE

Laboratori di luce
di **Piero Bianucci**

9

ESPERIENZE DI CLASSE

Investigare lo spettro
elettromagnetico
di **Barbara Scapellato**

16

IDEE E STRUMENTI
PER INSEGNARE

Verso la fotosintesi
artificiale
di **Vincenzo Balzani**

19

IDEE E STRUMENTI
PER INSEGNARE

Matematica:
l'importanza
di argomentare
di **Daniele Gouthier**

25

Anno Internazionale della Luce, un'occasione da non perdere

di **Marco Milano**

C'è la luce al centro di una delle edizioni 2015 dell'ormai celebre iniziativa dell'Unesco (l'altro tema è il suolo, e ce ne occuperemo presto). In questo articolo una rassegna delle principali occasioni didattiche offerte in particolare nell'ambito della fisica.



L'Anno Internazionale della Luce è iniziato. La cerimonia di apertura a Parigi (qui tutti i materiali delle due giornate: link.pearson.it/52CD1966) ha dato il via a un programma, assai ricco, su un tema che copre diversi aspetti fondamentali della nostra vita, spesso

cruciali per il futuro del pianeta. Basti pensare ai programmi di sostenibilità energetica, che prevedono anche fonti alternative di illuminazione più efficienti. È possibile sintetizzare in poche parole chiave gli obiettivi di quest'edizione dell'Anno internazionale? Tecnologia, energia, sostenibilità,

conoscenza, comunicazione, educazione, potrebbero essere alcuni termini efficaci, ma forse non sufficienti per caratterizzare un argomento trasversale come la luce. Anche il calendario ufficiale dell'evento (link.pearson.it/3CD118B1), del resto, ci dice che la sfida di divulgazione può contare quest'anno sull'appoggio di alleati probabilmente più numerosi del solito, coinvolti nelle scienze di base, nell'arte, nell'elettronica, nella comunicazione.

Possiamo, però, provare a orientarci in quest'offerta così vasta e individuare gli eventi di maggiore interesse per dimensioni più specifiche, come quella didattica. Tra le varie discipline in cui la luce rientra a vario titolo, è la fisica uno dei campi a maggiore copertura di eventi. Non solo perché si occupa dei fenomeni naturali che hanno a che fare con la luce e l'ottica, ma perché la luce è uno strumento d'indagine fondamentale per i fisici (pensiamo al telescopio Hubble o alla luce di sincrotrone) e perché nell'ultimo secolo è stata al centro di grandi scoperte, guadagnando quindi un'accezione anche fortemente culturale.

UN ANNO DI ANNIVERSARI

In Italia, è la Società Italiana di Fisica (SIF) a coordinare i vari protagonisti coinvolti nelle proposte didattiche, come l'Associazione per l'Insegnamento della Fisica (AIF), l'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF), l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), il CNR, l'ENEA e il Centro Fermi. Ed è proprio la SIF a ricordare, tramite il proprio manifesto di avvio delle attività (link.pearson.it/320A9083), che il 2015 è un anno ricco di preziosi anniversari su grandi temi legati alla storia della scienza.

Durante l'Anno della Luce incontriamo il millesimo anniversario – sebbene ci sia un po' d'incertezza sulla data esatta – delle scoperte di Abu Alhazen, il più autorevole esponente degli studi arabi sull'ottica e precursore delle teorie sulla natura corpuscolare della luce [①, ②]. Ma anche il duecentesimo anniversario delle teorie di Augustin Fresnel

riguardanti la natura ondulatoria della luce [③], descritte con tanto di formulazione matematica nel testo *Premier mémoire sur la diffraction de la lumière*. E, ancora, il centocinquantenario dell'interpretazione elettromagnetica della luce, formulata da James Maxwell, fisico e matematico scozzese che, per primo, avanzò l'ipotesi di un legame tra magnetismo, elettricità e luce, sintetizzata dalle sue celebri quattro equazioni contenute nell'articolo *A Dynamical Theory of Electromagnetic Field* [④, ⑤]. Il 2015 è anche il Centesimo anniversario della pubblicazione della *Teoria della Relatività generale* di Albert Einstein, profondamente legata al concetto di luce, verificata sperimentalmente la prima volta proprio grazie alla curvatura dei raggi solari durante un'eclissi [⑥]. Infine, quest'anno cade il cinquantesimo anniversario della prima rivelazione della radiazione cosmica di fondo [⑦], scoperta di Arno Penzias e Robert Wilson che si è dimostrata fondamentale per aggiornare e allargare la nostra comprensione dell'origine e della natura dell'universo.

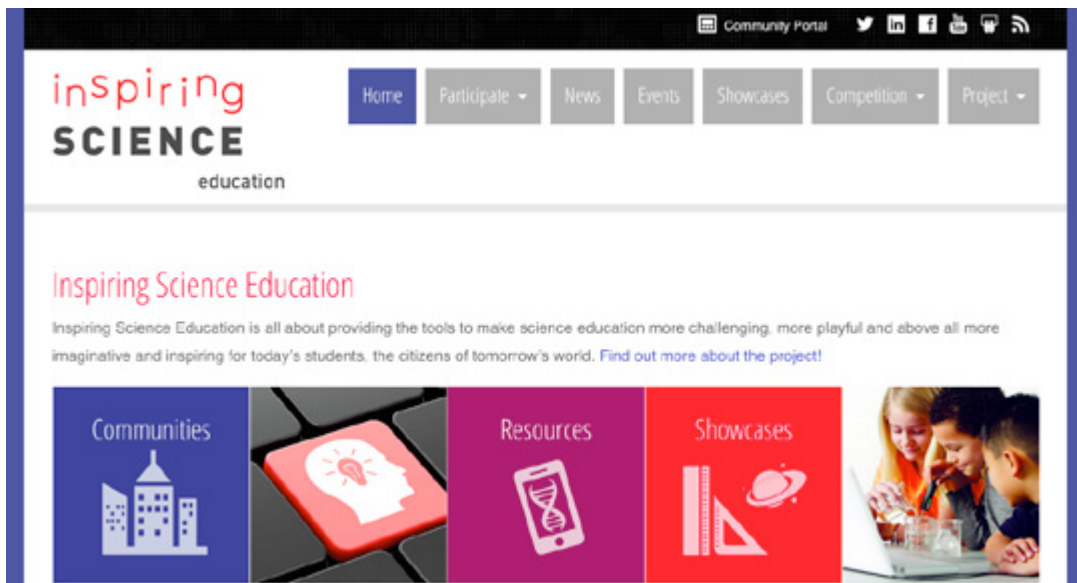
CONCORSI E ATTIVITÀ PER TUTTI

Per cimentarsi in attività più operative ci sono diverse iniziative in agenda. Qualche esempio: la Società Astronomica Italiana e l'INAF lavoreranno in sinergia per promuovere eventi legati all'osservazione del cielo, a livello sia locale sia nazionale (qui gli eventi riportati dal sito INAF: link.pearson.it/4BD62827). *Astrokids*, invece, è l'iniziativa di successo dell'INAF che con la nuova edizione ripropone a Milano l'aspetto più ludico, oltre che didattico e divulgativo, dell'astronomia da spiegare ai più piccoli (link.pearson.it/7D4B0644). L'INFN ha dedicato interamente alla luce la decima edizione di *Scienza per Tutti*, il concorso indirizzato alle classi delle scuole secondarie, che premierà il lavoro di divulgazione più efficace su tema luce. Il bando è chiuso, ma non il sito di riferimento, sempre accessibile per la consultazione di risorse



UNA LUCE DA NOBEL

Per i fisici, si può dire che i festeggiamenti dell'Anno della Luce siano iniziati in anticipo, con il conferimento del Premio Nobel per la Fisica 2014 agli inventori dei LED blu (link.pearson.it/9428A371). I membri dell'Accademia Reale Svedese delle Scienze hanno premiato Isamu Akasaki, Hiroshi Amano e Shuji Nakamura per un'invenzione che «ha reso possibili le sorgenti di luce bianca a risparmio energetico». Nei primi anni novanta, i tre ricercatori giapponesi sono riusciti dove per più di trent'anni i loro predecessori avevano fallito: costruire un LED (Light Emitting Diode, dispositivo a semiconduttore che funziona come sorgente luminosa se sottoposto a una differenza di potenziale) in grado di emettere luce blu. Una vera rivoluzione, che ha consentito di costruire lampade più efficienti, irrealizzabili altrimenti. E, inoltre, ha reso più pervasiva una tecnologia ancora poco nota al grande pubblico.



Grazie al progetto ISE le tecniche di insegnamento delle scienze diventano materia di competizione per i docenti di tutta Europa

dedicate agli insegnanti (link.pearson.it/A4C36D2). A livello più locale, *Light School* è il concorso promosso dall'ENEA e dal CNR, indirizzato a studenti di vario ordine di scuola della regione Lazio (link.pearson.it/93456768). Saranno raccolti e valutati gli elaborati sul rapporto tra luce e i temi di sostenibilità, natura, cultura, comunicazione o salute.

Oltre a bandi e concorsi, sono previsti altri eventi aperti al pubblico in sedi anche scolastiche, come gli appuntamenti dell'Italian Group of the History of Solar Energy nell'ambito di *Light and Energy Through History* (link.pearson.it/E44257FE), che racconteranno com'è stata usata l'energia solare nella storia dell'umanità e chi sono i pionieri italiani in questo settore. O, ancora, *Show me the Light*, spettacolo di teatro-scienza in cui due scienziati prestati alla scena intrattengono i ragazzi con esperimenti in cui la protagonista è la luce; la collaborazione del Gruppo Pleiadi permette agli insegnanti di preparare la classe scaricando dal sito i materiali introduttivi (link.pearson.it/7A26C25D).

UNO SGUARDO INTERNAZIONALE

Oltre a mettersi in gioco, le classi e gli insegnanti possono trovare anche occasioni di scambio e confronto, difficili forse da intercettare altrimenti, soprattutto in ambito internazionale. Inspiring Science Education (ISE) è, in questo senso, uno dei progetti più interessanti. Promosso dalla Società Fisica Europea (SPE), ISE si propone come piattaforma di riferimento per offrire agli insegnanti un supporto digitale per facilitare e rendere più attraente l'apprendimento di materie scientifiche. A questo proposito, sono messi a disposizione tool di strumenti adatti a sperimentare, come piattaforme di E-learning, simulazioni di esperienze didattiche di laboratorio, e l'accesso remoto a risorse scientifiche di vario genere. Nel contesto dell'Anno della Luce, ISE ha indetto una competizione (link.pearson.it/D21F2CB), aperta a tutti gli insegnanti europei particolarmente creativi e motivati, invitati a proporre entro il 31 marzo 2015 idee e tecniche innovative per l'insegnamento delle scienze, anche in collaborazione con gruppi di altri Paesi. ●

BIBLIOGRAFIA

- ① *1001 Inventions and the World of Ibn Al-Haytham*, iniziativa dedicata ad Abu Alhazen da 1001 Inventions, in collaborazione con Unesco e Anno Internazionale della Luce. link.pearson.it/450DA015
- ② G.C. Ghirardi, *Luce: onde o particelle?*, in *Asimmetrie*. link.pearson.it/DB6935B6
- ③ Pagina dell'Associazione italiana per l'insegnamento della fisica dedicata ad Alhazen. link.pearson.it/DC04F1AF
- ④ Pagina dell'Associazione italiana per l'insegnamento della fisica dedicata a James Clark Maxwell. link.pearson.it/AB03C139
- ⑤ R. Renzetti, *La nascita e la prima affermazione della teoria del campo: l'opera di Faraday e Maxwell*, in "Fisicamente". link.pearson.it/3567549A
- ⑥ R. Renzetti, *La nascita della relatività di Einstein*, in *Fisicamente*. link.pearson.it/4260640C
- ⑦ Arno Penzias e Robert Wilson, premi Nobel per la fisica nel 1978. link.pearson.it/AC6E0520

Marco Milano

è laureato in Scienza dei Materiali. Si occupa di divulgazione scientifica, con incursioni nel mondo del Data Science.



Il Sole in una stanza

di **Tiziana Moriconi**

Una finestra artificiale che riproduce alla perfezione la luce del Sole splendente nel cielo azzurro: un prodotto tutto italiano, nato dalla passione per la luce e dall'applicazione di principi di ottica e di nanotecnologie. E anche un ottimo spunto per introdurre in classe questi temi.

Una finestra che si apre sul soffitto e dalla quale entra sempre il Sole, splendente in un limpido cielo blu. A qualsiasi ora, anche di notte, e anche se fuori sta piovendo. Un'illusione ottica tanto perfetta quanto surreale. Si tratta di un sistema di illuminazione innovativo e altamente tecnologico che nasce a Como, nei laboratori del Dipartimento di Scienze e Alta Tecnologia dell'Università dell'Insubria. Un'intuizione di un professore di fisica, Paolo Di Trapani, che in circa dieci anni di lavoro è stata trasformata in una start up e in un prodotto – CoeLux – quotato oggi oltre 50mila euro.

NASCITA DI UN'IDEA VISIONARIA

Ma da dove è partito Di Trapani per arrivare a concepire un progetto simile? La storia inizia nel 2001 e non ha nulla a che fare con il prodotto che oggi viene venduto. «Mi ero appassionato a un libro scritto da un astronomo belga, Marcel Minnaert, dal titolo *Light and Color in the Outdoor*. Lo scienziato descriveva tutti i fenomeni ottici che un osservatore attento può cogliere in natura. Raccontava, per esempio, che al centro dell'ombra sovrapposta di due rami si può creare una striscia di luce, un evento che dipende dalle grandezze relative dei due oggetti e dalla loro distanza reciproca. Per me, quel libro era una specie di Divina Commedia sulla luce. Cominciai ad andarmene in giro con tutte le condizioni meteorologiche possibili solo per cercare di osservare i fenomeni descritti, appostandomi con una macchina fotografica. Il problema era che non riuscivo a vedere nulla. A un certo punto diventò una questione di principio e poiché Minnaert spiegava i fenomeni dal punto di vista fisico, provai a riprodurli in condizioni controllate in laboratorio, con laser e nanoparticelle (della grandezza di milionesimi di millimetro, NdR), se non altro per capire dove sbagliasse.



CoeLux è una finestra tecnologica artificiale

Ma capii che non sbagliava affatto. E dopo aver riprodotto due, cinque, dieci fenomeni, mi sono ritrovato improvvisamente in grado di osservarli anche fuori dal laboratorio, praticamente ovunque. Avevo allenato l'occhio: il fatto di aver messo in scena, come in un teatro, la realtà ha fatto sì che potessi capirla, e quindi vederla.»

DI LUCE IN LUCE

È nata così l'idea di creare una serie di *exhibit* per il pubblico sui fenomeni luminosi: il gruppo di lavoro di Di Trapani ha cominciato allestendo nel 2002 una piccola mostra a Como dal titolo *Di luce in luce* (link.pearson.it/25CA29F0), per arrivare a partecipare a due edizioni del Festival della Scienza di Genova, nel 2003 e nel 2005. Nel 2007 l'esposizione, ormai molto ricca e articolata in sette sale, è stata presentata a Vilnius, la capitale della Lituania, come parte del progetto *Marie Curie Chair Stella*. «Nella mostra, che ha attirato in poco tempo migliaia di visitatori, abbiamo anche ricreato e spiegato i fenomeni luminosi descritti da poeti o dipinti nelle opere d'arte – dice Di Trapani – e proprio un pittore ha ispirato il *concept* di CoeLux. Nel quadro *L'impero della luce*, Magritte dipinge le case come appaiono di notte, ma sotto un cielo illuminato a giorno.»

E COELUX FU

Ma come funziona, esattamente, questa strabiliante luce per interni? All'apparenza è una grande finestra sul cielo sconfinato. Non è solo



Foto di Michael Loos

Martino Di Trapani e CoeLux si sono aggiudicati il primo premio di *Lux Awards 2014* nella categoria *Light Source Innovation of the Year*



Foto di Michael Loos

CoeLux 60, la luce del Sole crea un forte contrasto tra le luci e le ombre

un effetto ottico: i ricercatori hanno riprodotto i fenomeni fisici che avvengono nell'atmosfera, le caratteristiche della radiazione solare e i modi in cui questa si diffonde e interagisce con le molecole d'aria. Insomma, non siamo di fronte a un *trompe-l'œil*, ma a una ricostruzione fedele di ciò che avviene nella realtà. Su scala molto ridotta.

NANOPARTICELLE PER IL CIELO

«Sappiamo – spiega Di Trapani – che il colore blu del cielo è dovuto al fatto che, nelle ore centrali del giorno, la componente violetta della luce solare ($\lambda \approx 400$ nm) viene diffusa maggiormente rispetto alla componente rossa ($\lambda \approx 700$ nm). Questo accade perché le molecole d'aria non sono distribuite in maniera uniforme nell'atmosfera: cioè, la densità del mezzo attraversato dalla luce varia su scala nanometrica, e queste fluttuazioni provocano variazioni dell'indice di rifrazione. In CoeLux abbiamo imitato questa disomogeneità dell'aria all'interno di un materiale trasparente di appena pochi millimetri di spessore (quello che percepiamo come il "vetro" della falsa finestra, Ndr), in cui vi è una distribuzione random di nanoparticelle.» Il tipo di materiale non è determinante: CoeLux utilizza materiali plastici o vetri, a seconda delle esigenze; quello che serve è che siano trasparenti e che contengano le nanoparticelle.

UNA STELLA A LED

Ora che abbiamo fatto il cielo, bisogna metterci il Sole. La stella di CoeLux è un proiettore con centinaia di led ed emette una luce che ha le stesse lunghezze d'onda e le stesse caratteristiche della luce solare: per esempio la luminosità, una misura della potenza (espressa dal rapporto tra il flusso luminoso emesso e l'area della superficie emittente) o la luminanza, una misura dell'“abbagliamento” (data dal rapporto tra il flusso luminoso emesso per unità di superficie apparente perpendicolare alla direzione di emissione e per unità di angolo solido). «Guardandolo – garantisce il fisico – l'osservatore medio è convinto di vedere il Sole. Ci sono alcuni elementi dai quali uno sguardo attento potrebbe scoprire l'inganno ottico, ma non li rivelerò.»

OMBRE A COLORI

Non è finita: perché il gioco riesca è fondamentale ricreare la percezione della distanza che ci separa dal Sole. Per farlo, i ricercatori si servono di un sistema complesso di ottiche: strati (detti in gergo *multilayer*) di sistemi refrattivi (lenti e microlenti) e riflettivi (specchi e altri materiali). «Costruire un sistema invisibile che dia l'illusione di una distanza “infinita” è la parte più difficile e sofisticata», racconta ancora Di Trapani: «grazie a questo sistema otteniamo anche un altro effetto interessante: il cromatismo delle ombre. In una stanza illuminata con la luce di una normale lampada siamo abituati a vedere le ombre nere o grigie, ma se usciamo all'aperto ci rendiamo conto che in realtà sono colorate. Esiste uno spettro di colori delle ombre che è dato dalla distanza tra ciò che la crea e il punto in cui vengono proiettate.»



Foto di Michael Loos

UNA FINESTRA, TRE STILI

Al momento l'azienda propone tre tipi di “finestre”: “tropicale”, con lucernario a soffitto in cui il fascio entra nella stanza con un'angolazione a 60 gradi rispetto all'orizzonte; “mediterranea”, sempre con lucernario a soffitto, ma con il fascio indirizzato a 45 gradi; “nordica”, con la finestra a parete da cui la luce, più calda e radente, giunge con un'inclinazione di 30 gradi. Ma le possibilità, dice il professore, sono infinite. «Quando un architetto costruisce una casa, questa può essere soltanto una scatola o può diventare uno strumento che ci permette di capire com'è fatto il mondo. È questo che vogliamo fare. Paradossalmente, il fatto che il nostro cielo sia artificiale ridesta l'attenzione alla luce.» ●

TRA RICERCA, FINANZIAMENTI E SMART BUSINESS

La start up CoeLux è stata fondata nel 2009 a Lomazzo (Como), all'interno del Parco Scientifico Tecnologico ComoNext. Ci sono voluti, però, altri cinque anni di studi per arrivare al prodotto, che è stato presentato nel 2014 a *Light+Building*, la biennale di Francoforte dedicata all'architettura della luce. Il progetto di ricerca, costato diversi milioni di euro, ha ricevuto molti finanziamenti pubblici e privati, tra cui quello dell'Unione Europea nell'ambito del 7° programma quadro di ricerca e sviluppo (qui il sito del progetto: link.pearson.it/B5753461). La Commissione Europea lo ha selezionato tra i 12 progetti tecnologicamente più innovativi in Europa, e lo scorso novembre, a Londra, l'azienda si è aggiudicata il primo premio di *Lux Awards 2014* nella categoria *Light Source Innovation of the Year*, con la seguente motivazione: “una finestra artificiale talmente innovativa che deve essere vista per credere che esista”. È un prodotto di nicchia, certamente, ma che ha avuto già più di 2000 richieste da tutto il mondo, soprattutto da Usa, Canada, Emirati Arabi, Giappone e Italia. Insieme ad alcuni centri di ricerca, l'azienda sta ora conducendo una serie di sperimentazioni per studiare, dal punto di vista fisiologico e terapeutico, il possibile impatto di questa tecnologia sul benessere e sul livello di stress di pazienti in ambienti ospedalieri. Ad oggi è stato effettuato un primo test su circa 200 persone che hanno trascorso un periodo di tempo in due ambienti chiusi: uno illuminato da una classica luce direzionale, l'altro con CoeLux.

Tiziana Moriconi

giornalista scientifica, collabora con Galileo, Le Scienze, D la Repubblica online, Wired.it.



Scheda Didattica / Il Sole in una stanza

di **Francesca E. Magni**

DOMANDE

1. Perché il cielo è blu? Perché il tramonto è rosso? Realizza una presentazione con la risposta a queste due domande utilizzando al massimo otto-dieci immagini accompagnate da un breve testo. Cerca di spiegare ogni passaggio passo dopo passo, in modo da seguire un ordine logico preciso.
2. Che cosa significa la sigla LED? Quando fu inventato e da chi? Scrivi una lista con i principali utilizzi pratici di questo dispositivo.
3. Le nanotecnologie sono la frontiera nel campo di ricerca della scienza dei materiali. Cerca il significato di "nanoparticella" e di "nanomateriale" insieme ai metodi attualmente utilizzati per produrli in laboratorio.
4. Nel 1810, il celebre poeta tedesco Johann Wolfgang Goethe pubblicò un saggio scientifico intitolato *La teoria dei colori*. In maniera molto curiosa, lo scrittore giunse a negare la teoria di Newton, con degli esperimenti ideati da lui stesso. Nella tesina di Maria Elena Lai per la Scuola di Specializzazione all'Insegnamento Secondario dell'Università degli studi di Genova intitolata *Magia del colore* (reperibile a questo indirizzo: link.pearson.it/13570793) puoi leggere la descrizione degli esperimenti di Goethe: cerca di riprodurre quello con le ombre colorate. A pagina 17 inoltre è possibile trovare un percorso didattico sulla luce con la descrizione di alcuni esperimenti da realizzare in classe, come per esempio quello che fa "scompare i colori" della luce che attraversa un prisma, semplicemente perché si interpone fra di essa e lo schermo un particolare filtro colorato.
5. Sul sito web dell'Istituto Comprensivo Luigi Coletti di Treviso, nell'ambito della rete Les (Laboratori per l'educazione scientifica), è disponibile un interessante percorso laboratoriale sul tema della luce, delle sue principali caratteristiche, e della percezione. Alla pagina web link.pearson.it/8A5E5629 sono elencati più di venti facili esperimenti, dalla realizzazione di lenti d'acqua a quella di uno specchio semiriflettente che riesce a fondere i lineamenti di due persone in un'unica immagine.
6. Nel sito dell'Itsos Gadda di Fornovo di Taro (Parma) puoi accedere ad un gioco sui colori (link.pearson.it/FD5966BF): stampa le immagini da scaricare e utilizza anche quelle sul video del computer. Per esempio, con l'immagine *additiva.bmp* si può capire come basti modulare l'intensità dei colori fondamentali per ottenere una qualunque sfumatura di colore.
7. Nell'articolo che hai appena letto, si parla della mostra *Di luce in luce*. Collegati alla pagina web che illustra le sette stanze della mostra (link.pearson.it/633DF31C) e leggi tutti i loro contenuti in inglese. Nella sezione *Light in the history of art* (link.pearson.it/143AC38A) puoi scaricare anche i pannelli in italiano in formato PDF. Che legami esistono fra arte, letteratura e fisica della luce? Puoi investigare il ruolo della luce nell'architettura romanica oppure nei pittori romantici, così come approfondire la simbologia della luce nei miti della cosmologia greca, per fare solo alcuni esempi.

Laboratori di luce

di **Piero Bianucci**

In fisica, chimica e biologia, sono tantissimi gli esperimenti che si possono fare sulla luce e con la luce. Piero Bianucci, scrittore e giornalista scientifico, ne suggerisce diversi, offrendo un'ampia carrellata delle attività, più o meno semplici, da compiere in classe su questo tema.



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

2015 INTERNATIONAL YEAR OF LIGHT
AND LIGHT-BASED TECHNOLOGIES



Nelle intenzioni dell'Unesco, l'Anno Internazionale della Luce ha tra i suoi obiettivi anche quello di promuovere nelle scuole la conoscenza degli innumerevoli aspetti scientifici e tecnologici connessi alle radiazioni luminose, tutti facilmente riconducibili ai programmi di fisica, chimica, biologia, matematica, e anche a discipline umanistiche. Sugeriamo qui una serie di attività di laboratorio ispirate alla fisica e alle applicazioni della luce, in piena adesione al principio del "fare per capire", una modalità didattica che è senza dubbio la più diretta per educare al metodo scientifico, con gli effetti collaterali di divertire e affinare la manualità. Una costante di queste attività è il ricorso a materiali poveri e di uso quotidiano, da utilizzare però creativamente in modo da suscitare negli studenti curiosità e meraviglia.

1. VEDERE O GUARDARE?

Il punto di partenza più logico per un laboratorio sulla luce è il nostro sensore per la radiazione luminosa: l'occhio.

Data per scontata una descrizione della sua anatomia, si farà una distinzione tra l'hardware (occhio anatomico) e il software (elaborazione e interpretazione delle immagini, che avvengono nel cervello). La sperimentazione della camera oscura servirà alla comprensione dell'hardware, le illusioni ottiche faranno intuire la complessità del software che agisce nella percezione visiva.

CAMERA OSCURA

La camera oscura è un modello semplificato dell'occhio ed è la parte essenziale delle macchine fotografiche e delle cineprese. In ogni telefono cellulare oggi abbiamo una piccola camera oscura.

Il suo funzionamento comporta la comprensione di temi dell'ottica come i fenomeni di rifrazione e diffrazione, il concetto di distanza focale, le proprietà delle lenti.

È consigliabile costruire con gli studenti due tipi di camera oscura. La prima, a foro stenopeico, e quindi senza lenti, si può fare con una scatola da scarpe nella quale uno dei due lati corti viene in gran parte sostituito da un foglio di carta oleata che funziona da schermo; l'obiettivo sarà un semplice foro praticato al centro del lato opposto. Il rapporto focale dovrà essere intorno a 1/100. Poiché la scatola avrà una lunghezza di 30-32 centimetri, il diametro del foro non dovrà superare i 3 millimetri. Perché l'immagine sia più nitida, il foro deve essere il più possibile regolare.

L'altro tipo di camera oscura permette di fare un'esperienza immersiva ed emozionante che equivale a "entrare dentro un occhio". Occorre procurarsi una scatola di cartone cubica di 50x50x50 cm e una lente convergente da 2 diottrie che verrà applicata sopra un foro praticato in un lato della scatola. Sulla parte interna opposta si metterà un foglio bianco che funziona da schermo. Il lato inferiore della scatola avrà un'apertura tale da potervi infilare la testa. La lente dovrà essere a un'altezza tale che il suo cono di luce non venga intercettato dalla testa del soggetto che fa l'esperimento. Il materiale necessario costa pochi euro e può essere ordinato sul sito link.pearson.it/E95F5734.

L'esperimento della camera oscura pone domande su: perché l'immagine si formi anche in assenza di lenti; perché le immagini della camera oscura invertano alto e basso e destra/sinistra; perché le immagini che noi vediamo non ci appaiano capovolte e ribaltate. Quest'ultimo aspetto introdurrà il discorso sull'elaborazione delle immagini che avviene nel cervello.

ILLUSIONI OTTICHE

Le illusioni ottiche sono un modo efficace e divertente per mettere in evidenza l'intervento del cervello nell'interpretazione delle immagini, un dato di fatto che normalmente passa inavvertito. Molto materiale si trova in siti web. Si può partire da lì per realizzare in classe una mostra delle illusioni più spettacolari. Utilissimo può essere il libro *Illusioni ottiche* di Editoriale Scienza (2015). Contiene i materiali per 20 esperienze divertenti e per costruire sei illusioni ottiche. Da non perdere quella del Drago che sembra seguirvi con lo sguardo (link.pearson.it/EE77A33).

Un altro semplice esperimento relativo alla visione stereoscopica consiste nell'allargare le braccia e poi riavvicinarle davanti a sé, facendo toccare le punte degli indici delle due mani. Con entrambi gli occhi aperti è facilissimo ma se si chiude un occhio non sempre ci si riesce. Alla fine di questo laboratorio si introdurrà la distinzione tra "vedere" e "guardare": vedere è la semplice conseguenza dell'hardware (occhio) e



Papera o coniglio?

del software (cervello) all'origine della percezione visiva; guardare implica una intenzionalità, una volontaria attenzione selettiva a ciò che si vuole osservare, e questo è l'atteggiamento tipico dello scienziato.

2. LUCE E COLORI

Un modo innovativo di presentare il classico esperimento di Newton della dispersione della luce bianca nei suoi colori oggi ci è offerto da dispositivi a Led reperibili in qualsiasi negozio di apparecchi elettrici per illuminazione. In questo caso non si parte dalla luce bianca per estrarne i colori ma si sommano luci colorate per ottenere luce bianca.

La dispersione della luce bianca nei suoi colori si può ovviamente ottenere con un prisma, di solito disponibile in ogni scuola, ma ancora meglio sarà utilizzare un CD qualsiasi, che sotto certe inclinazioni, dal lato che reca l'incisione dei dati, mostrerà tutti i colori dell'arcobaleno (ciò si presta a un'interessante spiegazione sui forellini che rappresentano musica e immagini in codice binario e sul fatto che le loro dimensioni sono comparabili con la lunghezza d'onda della luce). Ci si procurerà poi una striscia di Led che associno i tre colori additivi fondamentali: rosso, verde e blu (RGB, in vendita per esempio qui link.pearson.it/79E04AA5). Questi, tramite un piccolo telecomando, possono essere accesi separatamente, variamente miscelati, e infine accesi tutti insieme, ottenendo così luce bianca. Lo stesso principio è applicato negli schermi dei computer e dei televisori. Con una lente d'ingrandimento per uso filatelico è facile distinguere i singoli pixel con i loro colori fondamentali.

Il Nobel per la fisica 2014 è stato assegnato ai giapponesi Akasaki, Amano e Nakamura per l'invenzione dei Led blu e a luce bianca. Si può partire da questo dato di attualità per raccontare come all'inizio degli anni sessanta del secolo scorso si sia arrivati ai primi diodi a emissione luminosa e come poi la tecnologia si sia sviluppata. Led e laser sono tra l'altro le sorgenti di luce usate nella comunicazione su fibra ottica, e quindi in Internet. Una sola fibra ottica oggi è in grado di veicolare l'intero traffico telefonico mondiale.

3. ONDE O PARTICELLE?

Il dualismo onda/particella è un tema complesso, che meglio si adatta alle scuole secondarie di secondo grado. Tuttavia alcuni esperimenti permettono di affrontarne le basi concettuali.



Jose Angel Astor Rocha

Il radiometro di Crookes per spiegare il fenomeno della pressione della luce

EMISSIONE E ASSORBIMENTO

L'aspetto corpuscolare della luce è più evidente in fenomeni di emissione e assorbimento e ancora meglio nelle celle fotovoltaiche, che funzionano sulla base dell'effetto fotoelettrico spiegato da Albert Einstein nel saggio del 1905 che gli procurerà il premio Nobel per la fisica nel 1921. Una banale calcolatrice alimentata a celle fotovoltaiche servirà da supporto alle spiegazioni. Meglio se si dispone di un piccolo pannello fotovoltaico con cui accendere una lampadina. Il punto di arrivo potrà essere il problema della radiazione di corpo nero che indusse Max Planck a introdurre il concetto di "quanto d'azione" (dove poi il lavoro di Einstein e infine, negli anni venti, la definizione, anche linguistica, del "fotone").

IL RADIOMETRO DI CROOKES

Un caso di studio interessante per chiarire come funziona la ricerca scientifica è dato dal radiometro di Crookes, dispositivo acquistabile in negozi di strumenti didattici per poche decine di euro. Esso è costituito da quattro lamelle di mica leggerissime che possono girare con piccolo attrito dentro un bulbo a forma di lampadina nel quale è stato fatto un vuoto parziale.

Esposte a una luce intensa, le lamelle, che hanno un lato nero e uno bianco, si mettono a girare.

Il fenomeno fu spiegato da Crookes come un effetto della pressione della luce: il lato nero assorbe la luce e il lato bianco la riflette, generando la spinta. Ciò è ben interpretabile con la teoria corpuscolare della luce ed è compatibile anche con la teoria ondulatoria. La realtà però è che le lamelle entrano in rotazione per un fenomeno diverso: l'agitazione termica del gas residuo nel bulbo, che è più forte presso il lato nero delle lamelle in quanto esso si scalda maggiormente. La questione originò un dibattito durato decenni e sostenuto da esperimenti e contro-esperimenti. Solo negli anni venti del secolo scorso si riuscì a costruire un radiometro di Crookes così raffinato da funzionare effettivamente per la pressione della radiazione luminosa.

L'ASPETTO ONDULATORIO

L'aspetto ondulatorio della luce è più evidente in fenomeni di riflessione, rifrazione, dispersione, polarizzazione e diffrazione. È molto facile sperimentare la rifrazione infilando un bastoncino in una vaschetta di vetro piena di acqua e illuminata lateralmente: la bacchetta apparirà piegata. Per rendere più facile



La rifrazione evidenzia l'aspetto ondulatorio della luce

l'osservazione conviene "sporcare" l'acqua con qualche goccia di latte. I corpuscoli di grasso contenuti nel latte permetteranno anche di notare il fenomeno della diffusione della luce che si verifica quando i raggi luminosi incontrano ostacoli le cui dimensioni sono comparabili con la loro lunghezza d'onda. Innumerevoli sono poi gli esperimenti che si possono fare con prismi, lenti convergenti e divergenti, e con specchi piani, concavi e convessi.

Due filtri polarizzatori ruotabili uno davanti all'altro permetteranno di chiarire sperimentalmente il concetto di luce polarizzata, che tante applicazioni ha nella ricerca, in chimica e nell'industria. È possibile utilizzare lenti polarizzatrici di normali occhiali da sole. Della dispersione della luce bianca del Sole nei suoi colori abbiamo già detto. Molto istruttiva è la ricomposizione della luce bianca, a completamento dell'esperimento di Newton. Con un puntatore laser si potrà dare una controprova: la luce monocromatica del laser non consente la dispersione, essendo un colore "puro", cioè con una lunghezza d'onda ben definita (prospettiva ondulatoria) o, se si vuole, costituita da fotoni tutti con la stessa energia (prospettiva corpuscolare).

4. LUCE E MISURE

La velocità della luce è alla base delle misure di lunghezza e quindi di distanza. La stessa definizione del metro, l'unità di lunghezza, è agganciata alla luce: il metro è la distanza che la luce percorre in $1/299\,792\,458$ di secondo. Il secondo, l'unità di tempo, a sua volta, è agganciata alla frequenza di oscillazione degli elettroni del Cesio: $1\text{ s} = 9\,192\,631\,770$ oscillazioni (siamo nella banda delle microonde).

La sperimentazione proposta richiede un metro-laser come quelli normalmente usati dai geometri e architetti, un metro da sarto arrotolabile, un metro da muratore a bacchette ripiegabili e un metro metallico del tipo retrattile. Gli strumenti oggi usati da geometri e architetti per misurare le dimensioni di stanze, cortili e altri spazi utilizzano un raggio laser e si basano sul tempo impiegato dalla luce a percorrere il viaggio di andata e ritorno. La loro precisione è dell'ordine di un millimetro in più o in meno su una distanza di 50 metri (costano intorno a 150 euro). Un laboratorio scolastico centrato sulla misura del lato di una stanza con vari tipi di metro (da sarto, a segmenti pieghevoli, metallico, laser) permetterà di comparare i diversi gradi di precisione e di chiarire il concetto di "incertezza" in metrologia.

Di qui si passerà all'uso di un ricevitore GPS, meglio se del tipo da trekking (costo a partire da 100 euro). Si dimostrerà così come la luce sia alla base del funzionamento dei dispositivi di navigazione satellitare oggi applicati su quasi tutte le automobili e in molte altre situazioni quotidiane e di ricerca scientifica. Ottima occasione, tra l'altro, per uscire dall'aula e svolgere un'attività all'aperto.

5. ILLUMINAZIONE E RISPARMIO ENERGETICO

Uno degli obiettivi dell'Anno Internazionale della Luce è portare l'illuminazione elettrica a quel miliardo di persone, una su sette della popolazione mondiale, che ancora non ne dispongono. Ciò oggi è possibile grazie alle celle fotovoltaiche e ai Led. Un altro obiettivo, non meno importante, è quello di promuovere sorgenti di luce a basso consumo. Un laboratorio di facile realizzazione può mettere a confronto i consumi elettrici di sorgenti a incandescenza come le vecchie lampadine (dal 2012 fuori legge nell'Unione Europea), i tubi e le lampade a fluorescenza e i Led.

L'INQUINAMENTO LUMINOSO

Un discorso complementare riguarderà gli sprechi, e in particolare l'inquinamento luminoso prodotto da impianti di illuminazione pubblici e privati che disperdono luce verso l'alto anziché dirigerla verso il basso, dove serve. A causa dell'inquinamento luminoso gli abitanti dei paesi sviluppati hanno perso la possibilità di vedere la Via Lattea, cioè la nostra galassia.

Un fotometro (costo 50-100 euro) permette di misurare la luminosità presente in ambienti diversi, dalla piena luce del giorno a una stanza semibuia. Contare le stelle visibili, per esempio, nel trapezio della costellazione di Orione (oltre alle quattro principali che lo delimitano cioè Betelgeuse, Bellatrix, Rigel e Kappa Orionis) prima in città e poi in una località buia in montagna consente di valutare che cosa ci perdiamo per colpa dell'inquinamento luminoso. Un esperimento per imparare a distinguere tra un'illuminazione pubblica buona e una cattiva si può fare avendo a disposizione un lampione qualsiasi e un lampione progettato per ridurre l'inquinamento. Se si ruota un fotometro intorno al lampione, si vedrà immediatamente che il lampione ben progettato disperde verso l'alto una quantità di luce minima, mentre invia verso il suolo la maggior parte del flusso luminoso. Per le secondarie di secondo grado: con poco più di 100 euro si acquista un SQM – Sky Quality

Meter, strumento che misura in magnitudini stellari la luminosità del cielo notturno per secondo d'arco quadrato.

6. LUCI INVISIBILI

È importante rendere gli studenti consapevoli del fatto che la luce visibile è solo una stretta finestra nell'ampio spettro delle radiazioni elettromagnetiche ed è possibile farlo mettendoli in contatto con tre bande che sono di uso quotidiano.

INFRAROSSO

In una giornata di sole (ma si può fare anche in aula con una lampada a incandescenza molto luminosa), disporre un prisma in modo da ottenere su uno schermo bianco uno spettro piuttosto ampio – almeno una decina di centimetri. Accanto al rosso collocare un termometro. Si vedrà che la temperatura segnata da questo strumento sale, benché in quel punto non arrivi luce visibile. Arriva però una radiazione invisibile, quella infrarossa, con una lunghezza d'onda maggiore. L'esperimento fu eseguito per la prima volta dall'astronomo William Herschel nel 1801.

I vetri delle finestre, specie se doppi (vetri camera), sono trasparenti alla luce visibile ma opachi per l'infrarosso: per questo trattengono il calore nelle case contribuendo al risparmio di energia. Inversamente, si può partire da qui anche per una lezione sull'effetto serra: biossido di carbonio, metano e altri gas dell'atmosfera lasciano passare la luce solare in arrivo ma fermano la radiazione infrarossa che viene riemessa dalla Terra durante la notte.

Il telecomando del televisore è un esempio di applicazione della radiazione infrarossa. È infrarosso il raggio di luce che ferma le porte automatiche degli ascensori al passaggio delle persone. Utilizzano radiazione infrarossa gli avvisatori acustici usati nei negozi per segnalare l'ingresso di un cliente. Irraggiano infrarossi i dispositivi anti-intrusione volumetrici che fanno parte dei sistemi antifurto. Cade nell'infrarosso anche la "luce" normalmente utilizzata nelle fibre ottiche, oggi fondamentali per Internet e per tutte le telecomunicazioni.

ULTRAVIOLETTO

Con una spesa inferiore ai 100 euro ci si può procurare una lampada di Wood, che è una sorgente di luce prevalentemente ultravioletta. La si potrà utilizzare per rendere luminescenti dei minerali o per distinguere banconote autentiche da banconote false. Banconote in euro sono

anche un buon punto di partenza per parlare di ologrammi (bastano quelle da 5 euro...). L'acqua tonica diventa fluorescente se esposta alla luce ultravioletta perché contiene chinino: molti estratti vegetali sono fluorescenti. La luce di Wood deve essere usata con prudenza perché una lunga esposizione può danneggiare la vista e favorire la cataratta.

RAGGI GAMMA

I raggi gamma sono la forma di radiazione elettromagnetica a più alta energia e a minore lunghezza d'onda. Benché ad alte dosi danneggino gravemente i tessuti degli organismi viventi, non abbiamo organi di senso che possano rivelarli. In piccola quantità i materiali radioattivi dell'ambiente emettono raggi gamma. È possibile metterli in evidenza con un contatore Geiger. Il costo di questo strumento è di alcune centinaia di euro. In un ambiente normale registrerà circa 2 microsievert al giorno. I raggi gamma hanno importanti applicazioni pratiche: per esempio nella sterilizzazione degli alimenti.

7. DAL PICCOLO AL LONTANO

La pupilla umana ha un'apertura massima, al buio, di 7 millimetri e può al massimo distinguere oggetti di 0,2 millimetri. Per raccogliere più luce l'uomo ha inventato il telescopio, e il microscopio per vedere oggetti fino a circa 1 millesimo di millimetro.

MICROSCOPIO

Esistono oggi microscopi con camera a CCD collegabili a computer dal costo inferiore a 100 euro e in grado di dare da 20 a 200 ingrandimenti. Aprono una meravigliosa finestra di osservazione su oggetti di uso quotidiano, foglie, insetti, microorganismi invisibili a occhio nudo ma ben osservabili, per esempio, in una goccia d'acqua di stagno. Molto istruttiva è l'osservazione del moto browniano, che rivela indirettamente la presenza delle molecole e quindi degli atomi. Il primo a notarlo fu il botanico scozzese Robert Brown nel 1826 esaminando al microscopio del polline in sospensione in una goccia d'acqua.

TELESCOPIO

È facile procurarsi telescopi relativamente economici che consentono già buone osservazioni astronomiche, oppure effettuare osservazioni nell'ambito di visite guidate presso osservatori astronomici o di accordi con associazioni di astrofili. Di notte l'oggetto più facile è certamente la Luna. Si noterà come i crateri possano apparire talvolta non incavati (come

realmente sono) ma sporgenti come panettoni: è un'illusione ottica dovuta alla difficoltà che incontriamo nell'interpretarne la forma se non teniamo conto della direzione di arrivo dei raggi solari. Il fatto poi che il telescopio permetta di scorgere molte stelle invisibili a occhio nudo e di separare stelle vicine come le due componenti di Mizar nella costellazione dell'Orsa Maggiore (è la stella centrale del timone del "gran carro") apre il discorso sulla quantità di luce raccolta, sull'adattamento della pupilla al buio e sul potere di risoluzione degli strumenti ottici.

Sono possibili anche osservazioni diurne. Estrema attenzione però bisogna fare se si punta il telescopio verso il Sole. Il filtro attenuatore deve sempre essere anteriore (cioè montato sull'obiettivo e non dentro l'oculare, dove facilmente il calore lo spezza), e conviene in ogni caso partire con un esperimento che chiarisca la pericolosità di una visione diretta: molto efficace è mostrare come una lente convergente in pochi secondi bruci una foglia, e ricordare che la nostra retina è molto più delicata. L'osservazione delle macchie solari permette di far notare quanto nella percezione visiva siano importanti i contrasti: le macchie che ci sembrano nere al confronto con la fotosfera, sono in realtà molto più luminose della Luna piena (fatto già descritto da Galileo Galilei). Se si ha la fortuna di compiere un'osservazione con un telescopio con filtro H-alpha sarà affascinante osservare le protuberanze solari e spiegare il meccanismo di emissione e assorbimento dell'atomo di idrogeno.

8. LUCE E VITA

La fotosintesi è alla base di ogni forma di vita sulla superficie della Terra. Disponendo di un intero anno scolastico, si può seminare una pianta a crescita rapida (Maria Montessori introdusse nelle aule le piante di fagioli) dopo aver pesato la terra del vaso, avendo cura di stabilirne anche il contenuto di acqua. A distanza di mesi si peserà la pianta e di nuovo la terra inumidita con la stessa quantità di acqua. Si vedrà che il peso della terra è rimasto pressoché uguale e ci si domanderà da dove venga la materia che costituisce la pianta. La risposta è che, a parte pochi sali minerali tratti dalla terra, la pianta si è formata utilizzando la luce del Sole per sintetizzare sostanze organiche la cui materia prima sono state l'aria (precisamente il biossido di carbonio) e l'acqua. Un ottimo punto di partenza per spiegare la fotosintesi e le catene alimentari. L'esperimento fu compiuto per la prima volta nel Seicento da Jean Baptiste van Helmont.

FOTOTROPISMO

Le piante si orientano verso la luce, fonte di energia che permette loro, tramite la fotosintesi, di nutrirsi e crescere. Si metta una pianta (il fagiolo va sempre bene!) in una scatola piuttosto grande con una parete forata rivolta verso una finestra. In pochi giorni si vedrà che qualche ramo si dirige verso il foro e magari ne esce. L'esperimento fu compiuto da Charles Darwin nel 1880.

RITMI CIRCADIANI

Ogni forma vivente segue ritmi scanditi dall'alternanza della luce e del buio. Ma il meccanismo di questi ritmi è tutt'altro che semplice. Per introdurre il discorso in modo coinvolgente basta procurarsi da un vivaista, per pochi euro, una piantina di Mimosa pudica. Si vedrà che la piantina, al calare del Sole, chiude le sue foglie e le riapre all'alba. La cosa sorprendente è che il ritmo viene mantenuto per alcuni giorni anche se la piantina rimane sempre al buio in una scatola. L'esperimento fu eseguito per la prima volta dall'astronomo Jean-Jacques Dortous de Marain nel 1729. ●



La luce del Sole è l'energia fondamentale per tutte le forme di vita



Gli esperimenti proposti in questo articolo trovano una base di informazioni pratiche e scientifiche nel libro *Vedere, Guardare* appena pubblicato da Pietro Bianucci per UTET

Piero Bianucci è scrittore e giornalista scientifico, editorialista del quotidiano *La Stampa* e curatore del mensile *BBC Scienze*, edizione italiana della rivista inglese.



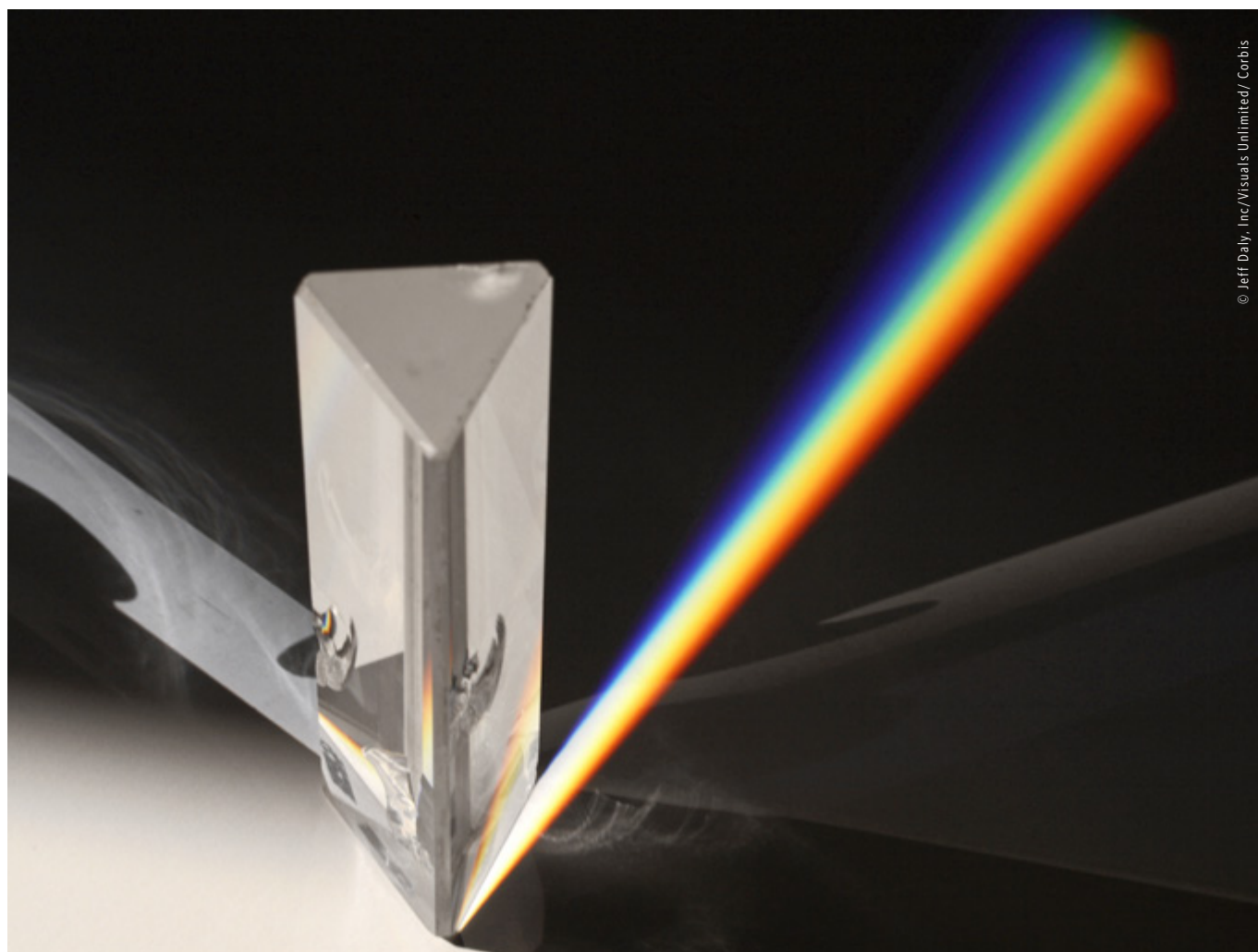
Investigare lo spettro elettromagnetico

di **Barbara Scapellato**

In questo articolo, il resoconto di un percorso didattico di tipo *inquiry-based* sul tema dello spettro elettromagnetico, condotto in una prima superiore.

Si può affrontare lo studio degli spettri elettromagnetici con le prime superiori in modo che abbia un senso per gli studenti? Mi sono interrogata a lungo sulla questione e alla fine ho deciso di provarci, soprattutto perché nelle classi successive (insegnamento scienze naturali in un liceo scientifico) il problema degli spettri

salta di nuovo fuori quando si parla dei modelli atomici e, magari, arrivarci “preparati” renderà più semplice capirli anche a livello microscopico. Ma come fare? E soprattutto, è possibile progettare un’indagine IBSE (Inquiry Based Science Education) con un argomento così? Vi racconto com’è andata.



© Jeff Daly, Inc./Visuals Unlimited/ Corbis

La scomposizione della luce attraverso il prisma è un buon punto di partenza per un IBSE sugli spettri

MOSTRARE LO SPETTRO

Per cominciare, ho mostrato un'immagine dello spettro della luce con un videoproiettore e ho posto le prime domande. *Che cos'è? Lo avete mai visto prima?* Qualcuno lo ha riconosciuto, anche se non sapeva dire che cosa fosse, qualcun altro lo ha "identificato" come un'immagine dei colori dell'arcobaleno, mentre altri ancora si sono ricordati di aver già visto gli effetti di un prisma di vetro che separa le diverse parti dello spettro visibile della luce, ma non ricordavano come e perché la luce si scompone. La domanda successiva è arrivata di conseguenza.

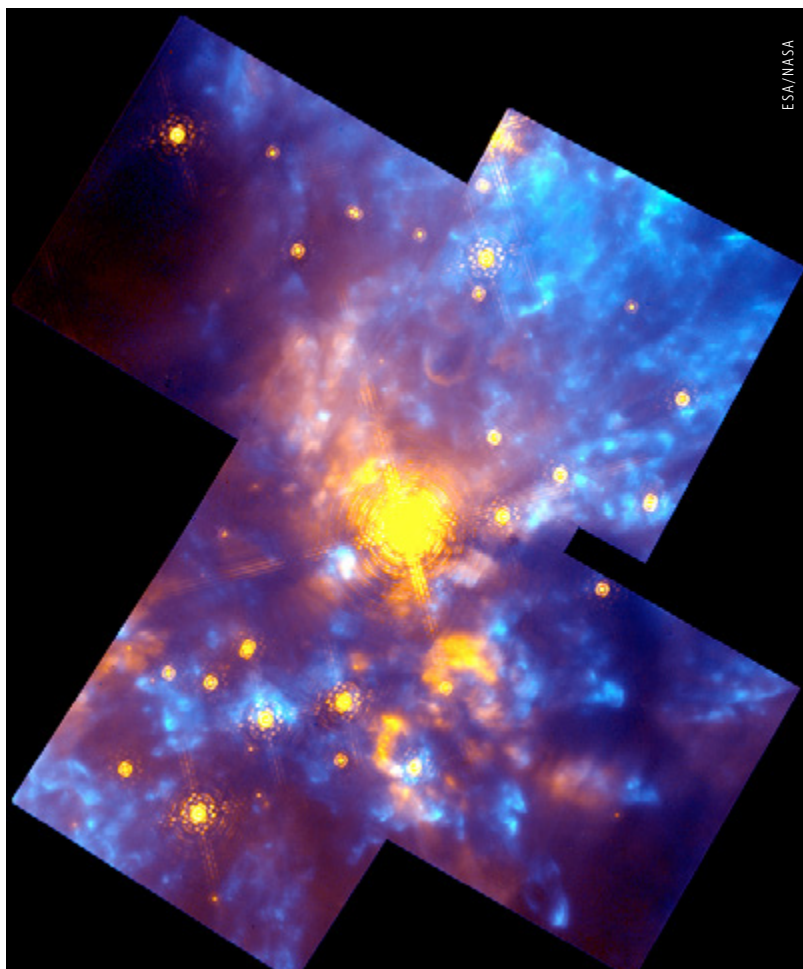
Che cosa rivela un prisma sulla luce visibile?

Naturalmente, nessuno dei miei studenti è riuscito a realizzare che ciascun colore dell'arcobaleno è una parte dello spettro visibile della luce e che il prisma agisce per separare queste diverse parti dello spettro, né il motivo per il quale avviene questa separazione o se è addirittura possibile. Ma con questa riflessione ho cominciato a far emergere le loro preconoscenze (ed eventuali concezioni errate), incuriosendoli anche un po'.

Il passo successivo è stato chiedere a ciascuno di scrivere sul proprio quaderno le risposte ad alcune nuove domande. *Il Sole produce l'energia luminosa che ci permette di vedere le cose intorno a noi. Quali altri tipi di energia provengono dal Sole? Possiamo vederle? Perché o perché no? Che cosa ne pensate?* Ho lasciato tre minuti in tutto per rispondere, dopo di che è partita la discussione con l'intera classe. È bene tenere i tempi sempre molto stretti anche se i ragazzi protestano che non hanno terminato: all'inizio effettivamente non tutti finiscono di scrivere, ma, con il tempo, imparano a rispettare i tempi, rendendo più efficienti i minuti a loro disposizione. Alcuni studenti si sono ricordati che il Sole, oltre la luce visibile, emana altri tipi di energia, ma quasi nessuno è riuscito a collegare il fatto che il Sole riscalda i loro corpi con la radiazione infrarossa, che non vedono, o che emette altre radiazioni familiari come le onde radio e le microonde.

COSTRUIRE E UTILIZZARE UNO SPETTROSCOPIO

Siamo quindi passati alla costruzione di uno spettroscopio. Per questa attività servono un cartoncino nero (formato A4), colla e un vecchio CD o DVD. In rete ci sono tanti modi per realizzarne uno *hand-made*. Quello che preferisco, in quanto facile da costruire e perfettamente funzionante, è stato realizzato da Arvind Paranjpye del Nehru Planetarium di Mumbai (link.pearson.it/C51FC0EE). Le istruzioni sono disponibili anche in versione italiana, tradotta



ESA/NASA

Un'immagine di Orione catturata attraverso la camera a infrarossi NICMOS

da Lara Albanese e Francesca Brunetti dell'osservatorio astronomico di Arcetri

(link.pearson.it/B218F078).

Con lo spettroscopio gli studenti hanno compiuto tre osservazioni: luce del Sole dalla finestra della classe, puntando lo strumento in una zona del cielo lontana dal Sole (meglio ricordare che non devono mai osservarlo direttamente perché potrebbero causarsi un danno alla vista); luce emessa da una lampada a fluorescenza; luce emessa da una lampadina a incandescenza.

Per ciascuna prova hanno dovuto osservare lo spettro ottenuto e scrivere l'ordine dei colori osservati. Poi, a piccoli gruppi, hanno usato le osservazioni fatte per rispondere a due domande.

I colori e l'ordine dei colori degli spettri sono diversi per la luce solare, la lampada a fluorescenza e quella a incandescenza? Descrivete ogni differenza notata.

L'ordine dei colori è lo stesso in tutti e tre gli spettri, ma in quello della luce a fluorescenza ci sono tre bande colorate (nel giallo-verde e nel violetto) che sono più brillanti del resto dello spettro (a seconda del tipo di lampadina a fluorescenza, in realtà, la risposta può variare).

Cosa vi aspettereste di vedere se usaste lo spettroscopio per osservare la luce emessa da altre stelle?

Le risposte degli studenti sono state diverse, ma qualcuno ha sostenuto che l'ordine dei colori potrebbe essere lo stesso anche se certe bande colorate potrebbero essere più brillanti.

LA RADIAZIONE ELETTROMAGNETICA IN ASTRONOMIA

Dopo aver sintetizzato quanto emerso durante la discussione delle risposte, ho raccontato ai ragazzi che gli astronomi usano la radiazione elettromagnetica per studiare oggetti ed eventi all'interno del sistema solare, ma anche in galassie lontane, usando una grande varietà di strumenti progettati per raccogliere la radiazione elettromagnetica da questi oggetti distanti. La luce visibile è ciò che vediamo quando si guardano le stelle da un telescopio, da un binocolo o ad occhio nudo. Tutte le altre forme della luce sono invisibili all'occhio umano, ma possono essere rivelate da questi strumenti. Ho quindi concluso la lezione assegnando, come compito a casa, una ricerca che li aiutasse a scoprire in che modo gli astronomi usano lo spettro elettromagnetico.

COMPITO A CASA

Fare una ricerca su una missione spaziale per scoprire in che modo gli astronomi usano lo spettro elettromagnetico in quella missione e preparare un report da presentare all'intera classe. Molte missioni prevedono più di uno strumento (è molto costoso mandare strumentazioni nello spazio, così gli scienziati cercano di combinare

più studi in una stessa missione), così è meglio concentrarsi su un solo strumento e un solo aspetto della missione per cercare di conoscerlo meglio.

Possibili missioni sulle quali lavorare: il telescopio spaziale Hubble, con lo strumento NICMOS (Camera a infrarossi e Spettrometro multi-oggetto); missione Cassini Huygens verso Saturno e Titano, con lo strumento UVIS (Ultraviolet Imaging Spectrograph); telescopio Spaziale Spitzer; osservatorio Chandra X-Ray; missione Rosetta, strumento OSIRIS.

Le domande alle quali rispondere con la ricerca dovrebbero includere: qual è lo scopo principale della missione? In che modo la missione contribuisce a migliorare la nostra comprensione dell'origine e dell'evoluzione dell'universo o della natura dei pianeti del nostro sistema solare? Chi e/o quanti scienziati e nazioni sono coinvolte nella missione? Quale strumento presente nella missione hai selezionato? La luce viene misurata con una grandezza chiamata lunghezza d'onda. A quali lunghezze d'onda lavora lo strumento che hai scelto? Come funziona il *detector* (rivelatore)? Come vengono processati e interpretati i dati, le immagini e i grafici?

PER CHIUDERE

I ragazzi hanno raccolto molte informazioni e, come previsto, sono scaturite molte domande sul significato di ciò che hanno trovato. E così è arrivato il momento della spiegazione. Per saperne di più, rimando al mio blog, IBSE e dintorni:

link.pearson.it/2C7C65DB. ●

PER APPROFONDIRE

- B. Scapellato, *La didattica basata sull'investigazione*, IBSE.
link.pearson.it/5B7B554D

Barbara Scapellato

insegna scienze naturali al liceo scientifico dell'IIS Paciolo-D'Annunzio di Fidenza (PR). È dottore di ricerca in Didattica delle Scienze della Terra con approccio IBSE, un approccio del quale si occupa ormai da alcuni anni.



Verso la fotosintesi artificiale

di **Vincenzo Balzani**

Che cos'è la fotochimica e in che modo reazioni di tipo fotochimico potrebbero aiutare a risolvere i problemi energetici dell'umanità? Lo spiega Vincenzo Balzani, uno dei massimi esperti dell'argomento, in questo articolo ricco di spunti didattici.



Le piante nel processo di fotosintesi si comportano come vere e proprie "fabbriche" chimiche

La fotochimica è la branca della chimica che studia l'interazione fra luce e materia. La storia di questa interazione è la storia stessa del mondo. Da quando, nella tradizione biblica, Dio disse «Sia la luce», la luce ha incominciato a interagire con la materia e a forgiare il mondo. La fotochimica, infatti, prima ancora di essere una branca della scienza moderna, è un importante fenomeno naturale che provvede al mantenimento degli organismi viventi mediante il processo di fotosintesi che avviene nelle piante, sta alla base della formazione e accumulo dei combustibili fossili (carbone, petrolio, metano) e permette di

avere informazioni sul mondo che ci circonda (il meccanismo della visione è basato infatti su reazioni fotochimiche). Nelle mani dell'essere umano, la fotochimica è divenuta infine una scienza che ha importanti implicazioni in molti campi, come la riproduzione di immagini, il controllo dei processi di fotodegradazione dei coloranti, delle vernici, delle materie plastiche, e la conversione dell'energia solare in energia chimica o elettrica. La nascita di questa disciplina è avvenuta in Italia nei primi anni del 1900 con gli esperimenti sistematici condotti all'Università di Bologna dal chimico Giacomo Ciamician.



Gli stati elettronici eccitati sono specie chimiche diverse dallo stato elettronico fondamentale

UNA NUOVA DIMENSIONE DELLA CHIMICA

Il concetto fondamentale della fotochimica sta nel fatto che l'assorbimento della luce corrisponde alla "cattura" di un fotone da parte di una molecola nel suo stato elettronico fondamentale e causa la formazione di uno stato elettronico eccitato. Quindi, mentre le reazioni chimiche normali (termiche) si originano dallo stato elettronico fondamentale, quelle fotochimiche si originano dagli stati elettronici eccitati. Ogni stato elettronico eccitato ha sue specifiche caratteristiche chimico-fisiche e, pertanto, va considerato come una nuova specie chimica rispetto allo stato fondamentale dal quale deriva. La fotochimica può così essere vista come una nuova dimensione della chimica.

Gli stati elettronici eccitati sono specie a vita molto breve, usualmente dell'ordine dei microsecondi (10^{-6} s), nanosecondi (10^{-9} s) o picosecondi (10^{-12} s) e scompaiono essenzialmente attraverso reazioni chimiche, emissione di luce e disattivazioni non radiative. Questi tre tipi di processi sono in competizione e il prevalere di uno sull'altro dipende dal tipo di molecola, dal tipo di stato eccitato e dalle condizioni sperimentali. È ovvio che, dato il tempo di vita così breve, l'osservazione diretta degli stati eccitati richiede l'uso di tecniche estremamente veloci, basate sull'impiego di laser come sorgenti pulsate.

ENERGIA E INFORMAZIONE

L'interazione fra luce e materia può essere utilizzata per ottenere energia o per elaborare informazioni. Questo è esattamente quanto avviene in natura, dove la luce solare viene utilizzata nel processo di fotosintesi per ottenere i prodotti dell'agricoltura e nei processi collegati alla visione per ottenere informazioni sul mondo che ci circonda. Con processi fotochimici

artificiali, basati su materia non vivente, gli scienziati si propongono di utilizzare il duplice aspetto energetico e informatico della luce: da un lato per produrre, mediante la luce solare, energia elettrica o combustibili, dall'altro per costruire sensori o processori di segnali.

UN'INDUSTRIA MOLTO SPECIALE

La più grande industria sulla Terra è, paradossalmente, l'agricoltura. Infatti, grazie al processo della fotosintesi, le piante si comportano come vere e proprie "fabbriche" chimiche nelle quali materie prime facilmente reperibili e di basso costo (acqua e biossido di carbonio) sono trasformate, mediante reazioni fotochimiche, in ossigeno e prodotti organici di grande pregio e ad alto contenuto energetico (come gli zuccheri) che possono essere definiti "combustibili". L'agricoltura, quindi, è un'industria del tutto speciale: invece di consumare combustibili, li produce, utilizzando la luce del sole, fonte energetica gratuita e inesauribile.

La fotosintesi opera in natura da almeno due miliardi di anni e, oltre a mantenere la vita sulla Terra, ha permesso l'accumulo, nelle ere geologiche, di enormi riserve di petrolio, gas naturale e carbone che l'uomo consuma con avidità e che vanno rapidamente esaurendosi. Un logico tentativo di soluzione del problema energetico è cercare di utilizzare in modo più efficiente l'enorme quantità di energia luminosa che viene dal sole. Migliorare ed estendere l'agricoltura è certamente utile, ma non può che rappresentare una soluzione molto parziale: l'agricoltura, infatti, è efficiente solo dove c'è terra buona e clima adatto, necessita inoltre di fertilizzanti e richiede molto lavoro manuale o meccanico. Per utilizzare appieno l'energia solare bisogna quindi trovare altre soluzioni.



La conversione dell'energia solare consente benessere e sviluppo anche in luoghi isolati

LA CONVERSIONE DELL'ENERGIA SOLARE

La vita di ogni giorno ci dimostra che l'energia è maggiormente utile all'uomo quando si presenta in forma concentrata, immagazzinabile e trasportabile. L'energia solare, per contro, è una forma di energia a bassa densità, non trasportabile, non immagazzinabile e intermittente. Per utilizzarla proficuamente è quindi necessario convertirla in altre forme di energia.

I quattro metodi fondamentali per convertire l'energia solare sono: 1) conversione in calore a bassa temperatura, che si può compiere molto facilmente, per esempio scaldando con i raggi solari un liquido contenuto in un recipiente; 2) conversione in calore ad alta temperatura, che richiede la concentrazione dei raggi solari, mediante un campo di specchi, su una caldaia dove un liquido viene portato all'ebollizione; 3) conversione in energia elettrica, che ha portato allo sviluppo delle celle solari, attualmente usate per applicazioni in luoghi isolati o che necessitano di piccole quantità di energia; 4) conversione in energia chimica (combustibili), che si ottiene mediante reazioni fotochimiche come accade nel processo fotosintetico naturale.

Tutti questi metodi possono essere utili, ma è interessante sottolineare alcune caratteristiche che li diversificano. Il calore a bassa temperatura

non è una forma concentrata di energia e non può essere né immagazzinato né trasportato; può servire per scaldare acqua a uso domestico e per poco altro. Il calore ad alta temperatura è una forma di energia concentrata più utile della precedente in quanto si può convertire facilmente in energia meccanica, ma non può essere né immagazzinato né trasportato. L'energia elettrica è una forma di energia ad alto pregio, concentrata e trasportabile, ma non immagazzinabile.

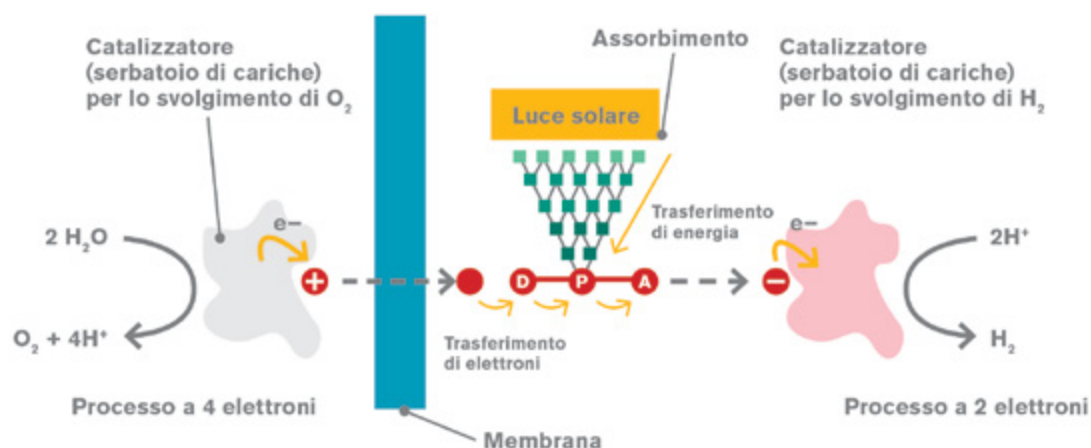
L'energia chimica (combustibili), infine, è la forma più utile di energia; è, infatti, molto concentrata, facilmente trasportabile e altrettanto facilmente immagazzinabile. Il metodo della conversione fotochimica è quindi, in linea di principio, quello più interessante per utilizzare l'energia solare. Come abbiamo visto è proprio questo metodo che la natura ha scelto nell'evoluzione per sostenere la vita e che ha permesso l'accumulo dei combustibili fossili nel corso delle ere geologiche. Abbiamo visto, però, che il processo fotosintetico naturale non è più sufficiente a soddisfare i bisogni energetici dell'umanità. Viene allora spontanea una domanda: è possibile inventare una fotosintesi artificiale, più efficiente e più semplice della fotosintesi naturale, per produrre combustibili utilizzando l'energia solare?

Molti scienziati pensano che a questa domanda sia ormai possibile dare una risposta affermativa.

VERSO UNA FOTOSINTESI ARTIFICIALE

Lo studio della fotosintesi naturale ha fatto capire che un sistema fotosintetico artificiale, per funzionare, deve rispondere a requisiti ben precisi; in particolare occorre scegliere molecole con specifiche proprietà e occorre assemblare tali molecole secondo una perfetta organizzazione nelle dimensioni dello spazio (distanza fra le molecole), del tempo (alcune reazioni devono essere molto più veloci di altre e devono avvenire in tempi estremamente brevi), e dell'energia (ogni stadio del processo può avvenire solo se viene utilizzata una parte dell'energia fornita dai fotoni). Carpiti questi segreti al processo fotosintetico naturale, gli scienziati sono ora al lavoro per creare sistemi fotosintetici artificiali. Il metodo consiste nel sintetizzare molecole capaci, ciascuna, di compiere una funzione specifica (assorbire la luce, trasferire energia, trasferire un elettrone ecc.) e poi nel collegarle secondo una sequenza opportuna. Il processo che si cerca di ottenere è la scissione dell'acqua in idrogeno e

ossigeno mediante la luce solare, un processo che risolverebbe contemporaneamente il problema energetico (l'idrogeno è un ottimo combustibile) e il problema ambientale (la combustione dell'idrogeno con l'ossigeno produce solo acqua). Gli studi più recenti hanno dimostrato che per ottenere tale processo è necessario un sistema costituito da vari elementi e in particolare: un composto supramolecolare (antenna) capace di assorbire la luce solare e di convogliare l'energia elettronica risultante in un centro di reazione, dove l'energia viene utilizzata per provocare una separazione di carica, cioè per creare un sito ossidante e un sito riducente che, separati da una membrana e in presenza di due specifici catalizzatori, sono in grado rispettivamente di ossidare e ridurre l'acqua, producendo ossigeno e idrogeno molecolare. Le ricerche su sistemi artificiali capaci di svolgere le funzioni di antenne e di centri di reazione sono a uno stadio avanzato, mentre quelle sulle membrane e i catalizzatori sono ancora poco sviluppate. ●



Rappresentazione schematica della scissione dell'acqua a opera della luce solare (fotosintesi artificiale)

PER APPROFONDIRE

- V. Balzani, P. Ceroni, A. Juris, *Photochemistry and Photophysics: Concepts, Research, Applications*, Wiley-VCH 2014.
- V. Murelli, *Al lavoro con sole, acqua, elettroni e catalizzatori*. James Barber racconta. link.pearson.it/CD4DD6A1

Vincenzo Balzani

è professore emerito di Chimica all'Università di Bologna. I suoi studi riguardano la fotosintesi artificiale e l'ideazione di macchine molecolari. Alla ricerca scientifica affianca l'attività di divulgazione sul rapporto fra scienza e società.



Scheda Didattica / Verso la fotosintesi artificiale

di Chiara Manfredotti

DOMANDE

1. Dove e quando è nata la fotochimica?

2. Di che cosa si occupa la fotochimica?

- (A) La chimica della fotografia.
- (B) La chimica della luce.
- (C) La chimica dell'interazione tra luce e materia.
- (D) La chimica delle reazioni solari.

3. Qual è la differenza fondamentale tra una reazione chimica termica e una fotochimica?

- (A) Lo stato elettronico iniziale: fondamentale per le reazioni termiche, eccitato per le reazioni fotochimiche.
- (B) Lo stato elettronico finale: fondamentale per le reazioni termiche, eccitato per le reazioni fotochimiche.
- (C) Le reazioni termiche vengono scaldate e non vengono mai esposte alla luce.
- (D) Non c'è differenza: qualsiasi reazione chimica effettuata alla luce è una reazione fotochimica.

4. Qual è l'ordine di grandezza del tempo di vita di uno stato elettronico eccitato?

- (A) Frazioni di secondo.
- (B) Secondi.
- (C) Minuti.
- (D) Ore.

5. Quali sono le caratteristiche fondamentali di una buona fonte di energia?

6. Quale dei seguenti non è un metodo di conversione dell'energia solare?

- (A) Conversione in calore a bassa temperatura.
- (B) Conversione in calore ad alta temperatura.
- (C) Conversione in energia chimica.
- (D) Conversione in energia nucleare.

7. Quale processo si sta cercando di riprodurre per via fotosintetica?

- (A) La scissione della molecola di O_2 .
- (B) La sintesi dell'acqua a partire da H_2 e O_2 .
- (C) La scissione della molecola di acqua per produrre H_2 .
- (D) La scissione della molecola di acqua per produrre O_2 .

8. Che cosa "manca" per riuscire a completare la fotosintesi artificiale dei combustibili?

.....

.....

.....

ATTIVITÀ

1. La fotosintesi artificiale e il fotovoltaico organico

La fotosintesi artificiale proposta dal professor Balzani nel suo articolo permetterebbe di produrre combustibili a partire dalla luce solare. Un esempio di applicazione simile, ma destinata a uno scopo diverso, cioè la produzione di energia elettrica, è rappresentato dalle celle di Grätzel o DSSC (Dye - Sensitized Solar Cells): celle fotovoltaiche in grado di trasformare l'energia luminosa in energia elettrica grazie a particolari coloranti e al biossido di titanio. Lavorando in gruppo, fai una ricerca sul meccanismo di funzionamento delle celle DSSC, schematizzalo e confrontalo con quello sulla fotosintesi artificiale presente nell'articolo. Quali sono i punti in comune per i due meccanismi, e quali sono le differenze? Le differenze sono legate principalmente alle sostanze presenti, o sono dovute al diverso scopo dei due dispositivi? Un suggerimento: puoi cominciare la tua ricerca partendo da questo approfondimento: link.pearson.it/73908E76.

IN LABORATORIO

1. Fluorescenza, fosforescenza e chemiluminescenza

Obiettivo

Lo scopo dell'attività proposta è quello di imparare a distinguere tre fenomeni diversi tra loro, e cioè fluorescenza, fosforescenza e chemiluminescenza. L'interazione tra una radiazione luminosa e la materia può dare come risultato l'assorbimento dell'energia della radiazione luminosa e la formazione di uno stato eccitato. Se lo stato elettronico eccitato ha un tempo di vita dell'ordine dei nanosecondi o inferiore, si parla di fluorescenza; se il tempo di vita è più lungo, e arriva fino ai millisecondi o, in alcuni casi, ai secondi, si parla di fosforescenza. La chemiluminescenza, invece, è il processo inverso, cioè l'emissione di una radiazione luminosa in seguito a una reazione chimica.

Materiali

Un gilet di sicurezza (di quelli da tenere in auto), pennarelli fluorescenti, vernice fosforescente o oggetti trattati con vernici o pigmenti fosforescenti (per esempio pupazzi che rimangono luminosi al buio), una o più *lightstick*, una luce diretta (una lampada o una pila) e, facoltativa, una lampada di Wood (che emetta luce UV). L'attività si dovrà svolgere in una stanza che si possa facilmente oscurare o rendere completamente buia.



» Scheda Didattica / Verso la fotosintesi artificiale

Procedimento

- Ⓐ Su un foglio bianco, tracciare alcune righe di pennarello fluorescente. Su un altro foglio bianco, pennellare un po' di vernice fosforescente (se si hanno a disposizione oggetti fosforescenti, questo passaggio non è necessario);
- Ⓑ posizionare gli oggetti e i fogli del punto Ⓐ su un banco o sulla cattedra e oscurare la stanza; illuminare a turno ognuno degli oggetti (tranne il lightstick) per tempi uguali (per esempio 5 - 10 secondi) con la luce diretta, e spegnere la luce subito dopo; valutare la persistenza della luce emessa dai diversi oggetti. Quali oggetti rimangono luminosi per tempi lunghi, e quali invece per tempi brevi o brevissimi? Quali infine non emettono più luce non appena la stanza torna buia? A cosa può essere dovuta questa differenza?
- Ⓒ A luce spenta, piegare la lightstick in modo da avviare la reazione chimica all'interno. È stato necessario illuminare la lightstick perché emettesse luce a sua volta? Quale sarà il fenomeno che permette l'emissione di luce?

Osservazioni

Le sostanze fluorescenti (il gilet e i pennarelli) smetteranno di emettere luce non appena la sorgente luminosa sarà spenta; le sostanze fosforescenti emetteranno luce per tempi più lunghi, anche dopo aver spento la sorgente luminosa. L'effetto è visibile con una lampada o una pila normale, ma risulta accentuato utilizzando una lampada di Wood.

I pigmenti utilizzati per le vernici e gli oggetti fosforescenti sono in realtà fotoluminescenti, sono cioè in grado di "immagazzinare" l'energia luminosa quando sono esposti alla luce e riemetterla per tempi molto lunghi (anche ore). Non si tratta quindi di pura fosforescenza, un fenomeno che ha tempi di vita decisamente più brevi.

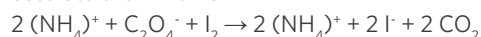
La lightstick è un esempio di chemiluminescenza, perché emette radiazioni luminose in seguito a una reazione chimica. Nel tubo in silicone sono presenti due sostanze, l'acqua ossigenata e l'ossalato di difenile, un composto organico (precisamente un sale dell'acido ossalico), che rimangono separate finché la lightstick non viene piegata. Non appena a contatto, la reazione comincia, producendo fenolo e un perossido ciclico instabile che, decomponendosi, eccita un pigmento luminescente presente nel tubo. Il pigmento, diseccitandosi, emette luce. Il colore della luce emessa dipende dal pigmento utilizzato.

2. Una reazione fotochimica semplice

Un esempio abbastanza classico e semplice di reazione fotochimica è la riduzione dello ione Ag^+ ad Ag^0 per azione della luce. Questo tipo di reazione è alla base del funzionamento delle pellicole fotografiche (ricoperte da gelatina contenente AgBr che, esposto alla luce, passa allo stato eccitato formando poi Ag metallico) e può essere riprodotta in classe con il cloruro d'argento (AgCl) a partire da materiali facilmente reperibili anche in un laboratorio di chimica poco fornito, seguendo le istruzioni e i consigli della pagina e del video presenti a questo indirizzo: link.pearson.it/497BEE0.

3. La luce "accelera" le reazioni chimiche

La luce può provocare una reazione chimica, oppure può renderla più veloce facilitando il superamento della barriera dell'energia di attivazione. È il caso di alcune reazioni sensibili alla luce, come la riduzione da iodio molecolare (violetto) a ione ioduro (incolore) in una soluzione di ossalato di ammonio:



La reazione è sufficientemente lenta da permettere di apprezzare la variazione della sua velocità in seguito all'illuminazione del sistema, e a seconda del tipo di sorgente luminosa (più o meno energetica) alla quale viene esposto. Per i dettagli e una spiegazione teorica più completa si può fare riferimento a questo link: link.pearson.it/64503705.

ATTIVITÀ CLIL

1. Answer the following questions:

- ① What does photochemistry study?
- ② How is it possible to shift a molecule from its ground state to its excited state?
- ③ What happens after a molecule has been shifted to an electronic excited state? In which ways can it get back to its ground state? Name these three ways and give a short description for each one of them.
- ④ How scientists plan to use the effects of interaction between matter and light?
- ⑤ Why is it necessary or, at least, better to convert solar light in other energy sources?

Matematica: l'importanza di argomentare

di **Daniele Gouthier**

In classe si lascia poco spazio all'argomentazione. Eppure è una competenza fondamentale per gli allievi e aiuta gli insegnanti a capire e interpretare gli errori dei ragazzi. In questa intervista, il punto di vista di Pietro Di Martino, ricercatore in didattica della matematica.



La matematica è conto, ma è anche racconto. Il ragionamento matematico procede per formule e calcoli, ma ancora di più con l'argomentazione. E proprio del ruolo che diamo (o non diamo) all'argomentazione abbiamo parlato con Pietro Di Martino, ricercatore in didattica della matematica all'Università di Pisa (qui la sua pagina web: link.pearson.it/5DF2CB30).

Come mai insegniamo così poco ad argomentare in matematica?

L'obiettivo di insegnare ad argomentare nell'ambito dell'educazione matematica in genere è visto come secondario rispetto ad obiettivi più legati a contenuti

specifici. Io la penso diversamente e, quel che è più importante, “la pensano diversamente” anche le nuove Indicazioni Nazionali, che pongono lo sviluppo della competenza argomentativa tra i traguardi fondamentali dell'educazione matematica. Di sicuro lavorare sull'argomentazione matematica è difficile. Argomentare è una competenza trasversale, che mette in gioco competenze linguistiche: ci si può dunque scontrare con difficoltà in questo ambito, amplificate dal fatto che il linguaggio matematico ha le sue peculiarità. Ci sono parole del contesto quotidiano che sono usate anche in quello matematico, ma non sempre con lo stesso significato.

Un esempio?

La parola *alcuni* nel linguaggio quotidiano è usata per dire «più di uno, ma non tutti». In matematica invece può significare anche uno, oppure tutti. Su un libro di matematica per la scuola primaria per introdurre “nessuno, tutti, alcuni” ho trovato uno schema dal quale emergeva con forza la difficoltà a gestire questa ambiguità tra il senso del termine *alcuni* nel quotidiano e il suo significato matematico. Nei tipici quesiti (secondo me molto discutibili, proprio perché giocano sul filo di questa ambiguità) che chiedono di associare frasi di significato equivalente, la presenza dell'aggettivo *alcuni* è garanzia di un'alta percentuale di errori.

Pietro Di Martino,
ricercatore in
didattica della
matematica
all'Università di
Pisa



Cortesia Di Martino

Ok. Dobbiamo spiegare meglio i termini ambigui. Più in generale, però, come possiamo gestire l'interpretazione dei nodi linguistici critici?

Ci sono studi internazionali sugli aspetti linguistici nell'educazione matematica. Tra questi, consiglio *Matematica e linguaggio* (Pitagora Editrice) di Pier Luigi Ferrari ① dell'Università del Piemonte Orientale. Ferrari parte dal principio di cooperazione di Herbert Paul Grice ② che è basato su quattro massime:

1. da' un contributo appropriato sotto il profilo della quantità di informazioni (massima della quantità);
2. non dire cose che credi false o che non hai ragione per credere vere (massima della qualità);
3. da' un contributo pertinente ad ogni stadio della comunicazione (massima della relazione);
4. esprimerti in modo chiaro, breve, ordinato (massima del modo).

Secondo Grice, in contesto quotidiano, noi facciamo un sacco di inferenze interpretative basate sulla convinzione che il principio di cooperazione sia rispettato. Ferrari osserva come il contesto matematico sia scarsamente cooperativo e come si possano trovare diversi esempi in matematica di violazione di tutte e quattro le massime. Per esempio, tutte le dimostrazioni per assurdo sono una chiara violazione della massima della qualità. E, come abbiamo visto più sopra, se dici *alcuni* sapendo che sono *tutti* – corretto dal punto di vista matematico – stai violando la massima

della quantità: perché con lo stesso sforzo potevi dare più informazioni. Un'altra violazione della massima della quantità è il caso di "2 minore o uguale di 1000" che è una relazione matematica vera, ma è chiaramente inadeguata in contesto quotidiano: non diresti mai «2 minore o uguale di 1000». Il disagio provocato da questa inadeguatezza è testimoniato dai molti bambini che ti dicono «non è vero che 2 minore o uguale di 1000, 2 è minore di 1000!».

Stiamo scivolando da questioni meramente linguistiche ad altre più profonde che riguardano la capacità di esprimerci quando parliamo di matematica.

Esatto: proprio per questo al centro dell'apprendimento matematico dovrebbe esserci l'argomentare. L'argomentazione è una delle competenze centrali per la crescita della persona: una persona che sa argomentare e che sa valutare le argomentazioni altrui, è una persona più forte, meno indifesa. Voglio sottolineare due cose importanti: la prima è che ad argomentare non si *nasce imparati*, la seconda è che argomentare è una delle competenze sulla quale il contesto sociale di provenienza fa più la differenza. Un bambino la cui famiglia ha la possibilità e la volontà di seguirlo, lo stimola a descrivere quel che fa, gli chiede il *perché* delle cose, è molto avvantaggiato rispetto a chi non ha questa opportunità. Per colmare questo deficit, la scuola dovrebbe investire energie sull'argomentazione.

Anche in matematica...

Certo, perché è un contesto ideale per contribuire a costruire questa competenza. Eppure difficilmente si costruiscono a scuola occasioni di discussione e di argomentazione *proprio in matematica*. Di conseguenza, i ragazzi raramente si assumono la responsabilità di quello che fanno, dei loro errori: alla domanda «perché hai fatto così?» (tra l'altro fatta esclusivamente quando l'allievo sbaglia, come se argomentare il perché fosse importante solo se la risposta è sbagliata), le risposte più comuni sono del tipo: «perché me l'hai detto tu», «perché me lo ha detto mio padre», «perché c'è scritto sul libro di testo». L'allievo, tutt'al più, si assume la responsabilità di aver sbagliato nell'applicare una procedura, ma non quella di aver scelto di usare una procedura invece di un'altra. D'altra parte è difficile dar torto ai nostri allievi: spesso e volentieri in matematica è richiesto loro proprio di applicare bene procedure imposte da altri (l'insegnante, il libro di testo). Dal punto di vista sociale questo delegare agli altri la responsabilità è piuttosto preoccupante all'epoca del sempre più diffuso «a mia insaputa».

Cosa succede quando chiediamo agli studenti di argomentare?

A qualsiasi età, se gli allievi non sono abituati a essere stimolati ad argomentare, le prime volte che viene loro richiesto sono perplessi, disorientati, non capiscono l'obiettivo della richiesta. Per esempio, come dicevamo, hanno difficoltà a spiegare come hanno fatto a fare una cosa. Dobbiamo stimolarli con continuità ad argomentare, perché è solo argomentando che si impara ad argomentare: ed è un processo lento, ma continuo (i primi segnali positivi si colgono subito). Si impara per esempio a capire che l'argomentazione cambia a seconda del contesto e dell'interlocutore: se devo spiegare un concetto matematico a un bambino, a un collega, o al mio babbo, argomento in modo diverso. E questo non dipende dal fatto che parlo di matematica: ogni argomentazione è data in base al contesto. Far argomentare in classe è importantissimo anche per dare occasione

di ascoltare le argomentazioni altrui e coglierne i punti deboli e i punti forti. Gli insegnanti di tutti i livelli scolari dovrebbero dedicare un apposito tempo all'argomentare in matematica: non è tempo perso, è tempo dedicato a una delle competenze fondamentali per la crescita dell'allievo, competenza che, se ben sviluppata, è cruciale per qualsiasi tipo di studio. Tra l'altro l'argomentare, lo spiegarsi il perché delle cose, fortifica molto anche la conoscenza degli aspetti più specifici di contenuto, che altrimenti vengono dimenticati in maniera rapida.

Però alcuni docenti evitano di proporre attività di argomentazione in ambito matematico per paura di trovarsi in difficoltà nello spiegare il perché delle procedure...

Sì, succede soprattutto a livello di scuola primaria. La mia opinione è che gli insegnanti non devono avere paura di non sapere alcune cose, e ancor meno di rispondere «non lo so» agli eventuali «perché» che dovessero emergere dagli studenti. Altrimenti finisce che hanno paura delle domande degli studenti e allora, più o meno intenzionalmente, cercano di evitare le occasioni in cui tali domande possono emergere. Non c'è niente di male in un insegnante che dica ai suoi studenti «non lo so, ma ho gli strumenti per informarmi su questo aspetto e discuterlo con voi la prossima volta». È educativamente significativo far vedere che tutti, anche l'insegnante, possono non sapere qualcosa. Tra l'altro, si evita la pericolosissima alternativa di dare in ogni caso una *risposta sicura*, che sicura non è, e nemmeno attendibile.

Come possiamo fare per dire «non lo so»?

Il primo lavoro importante, anche nella formazione dei futuri insegnanti, è legato alla sfera "affettiva": dobbiamo cercare di abituare all'idea che non bisogna aver paura di ammettere di non sapere (e ancor prima non bisogna avere paura di sbagliare). Non si può chiedere agli insegnanti di sapere tutto. Se ci aspettiamo di dover sapere tutto, inevitabilmente abbiamo paura dei processi e degli errori.

A proposito di errori: come fare a gestirli?

Il primo passo è cercare di interpretarli. Il lavoro di Ferrari è molto significativo anche in questo senso, perché offre un'interpretazione delle difficoltà matematiche legata ad aspetti linguistici. Se un allievo ha difficoltà, l'insegnante deve riuscire a interpretare le cause delle difficoltà dell'allievo. Come sottolinea Rosetta Zan ^③, il punto non è tanto interpretare in maniera corretta tutte le difficoltà dei propri allievi, ma testare la propria interpretazione sui risultati dell'eventuale intervento di recupero. Se l'intervento non funziona potrebbe non essere colpa dell'allievo, ma di un'interpretazione delle cause non fondata. Allora per l'insegnante è cruciale avere un repertorio di interpretazioni sulle difficoltà in matematica. Il problema è che spesso e volentieri consideriamo un'unica interpretazione della difficoltà: «ha sbagliato, perché non ha studiato, perché non sa le cose di quel contesto. E allora io gli ripeto le cose di quel contesto». Tendiamo ad avere un'interpretazione molto locale: relativa solo al contesto in cui stiamo lavorando. Il secondo è che sono di fatto esclusi tutti gli altri tipi di interpretazione – per esempio quelli legati ai fattori affettivi o ai fattori linguistici – che invece sono spesso causa primaria di difficoltà.

Ci fa un esempio?

Prendiamo il quesito: «quale numero tra questi è più vicino a 100?», accompagnato da una serie di opzioni,

tra le quali quattro numeri decimali. In una sperimentazione, molti insegnanti avevano ipotizzato che le difficoltà fossero dovute a problemi con le operazioni tra i decimali e invece abbiamo scoperto che per quasi tutti era un problema di natura "linguistica": l'aggettivo *vicino* aveva fatto automaticamente escludere tutti i numeri superiori al 100. Nel linguaggio naturale, siamo *vicini* al traguardo prima di superarlo, non dopo! È evidente che un intervento didattico basato su esercizi sui decimali non avrebbe risolto nulla, semplicemente perché l'interpretazione alla base dell'intervento di recupero non intercettava la vera natura del problema. Come sottolinea Zan nel suo lavoro, l'interpretazione è un'ipotesi di lavoro: se funziona, bene; se non funziona, devi passare a un'ipotesi di lavoro alternativa.

Come dobbiamo gestire le nostre interpretazioni?

Dal punto di vista didattico è importante che gli insegnanti mettano in discussione le proprie interpretazioni e che le considerino ipotesi e non certezze, anche se questo è sempre meno frequente con la crescita del livello scolare, perché i docenti diventano sempre più specialisti della materia e questo accresce la convinzione di saper riconoscere le difficoltà da un punto di vista disciplinare. Invece molto spesso i problemi sono su altri aspetti, non su quelli locali; magari sono anche di contenuti, ma non necessariamente di contenuti di quel contesto. A volte il contenuto da



È solo argomentando che si impara ad argomentare

riprendere è uno che sta dietro. Altre volte è un problema di linguaggio, oppure c'è un atteggiamento negativo o ci sono delle convinzioni errate (i cosiddetti fattori affettivi).

Concretamente come si fa ad avere un ventaglio di interpretazioni?

È molto importante conoscere gli studi e le ricerche sulle difficoltà sviluppati negli ultimi trent'anni. Una volta in possesso di più chiavi interpretative, il secondo passaggio è cercare di raccogliere elementi per scegliere quella adeguata, dotandoci di una "ipotesi di lavoro". Un buon metodo è proprio lavorare sull'argomentazione: spostare l'attenzione dai prodotti (i risultati) ai processi per raggiungere tali prodotti. Insomma far argomentare è fondamentale per permettere agli studenti di costruire la competenza argomentativa, ma anche per dare agli insegnanti strumenti per interpretare le difficoltà. Strumenti che la sola risposta non fornisce, anzi talvolta li mistifica: quante difficoltà si nascondono dietro a risposte corrette...

Qual è il principale ostacolo nello spostare l'attenzione dai prodotti ai processi?

La convinzione che "non c'è tempo". Come se il tempo dedicato a lavorare sul processo non fosse tempo ben speso (lavorando su uno degli obiettivi cruciali dell'educazione matematica). Tempo che permette di recuperare altro, proprio perché aiuta l'insegnante a fare interpretazioni più adeguate sulle eventuali difficoltà e quindi intervenire in maniera più mirata ed efficace. Il fatto che di solito in matematica non si chieda di descrivere, giustificare, spiegare il processo è in un certo senso confermato dal fatto che quando chiediamo ad un allievo «perché hai fatto così?», la tipica



reazione è che l'allievo non spiega il perché, ma cambia risposta! D'altra parte siamo abituati a chiedere «perché?» solo a chi fornisce una risposta scorretta: l'attenzione è sul prodotto non sul processo. Il "perché?" non è una dimostrazione di attenzione al processo da parte dell'insegnante, ma è un avvertimento di errore e, coerentemente con questo, l'allievo cambia risposta. Se invece spostiamo davvero l'attenzione dal prodotto al processo, chiediamo il perché a tutti, perché ci interessa come hanno fatto più ancora del "risultato" e dunque ne discutiamo con loro, non limitandoci ad annuire o a censurare. Così facendo otteniamo anche di depotenziare la tensione sugli errori.

Gli errori: a volte mi viene da pensare che abbiamo paura degli errori. O che, se non altro, ci disturbano. È così?

Certo, gli errori disturbano *in primis* noi adulti. Si dice sempre «sbagliando si impara», però poi bastoniamo gli studenti quando sbagliano e cerchiamo di dare esercizi in cui "il rischio di errore" sia limitato (per usare un eufemismo). La ragione principale è che abbiamo paura noi dell'errore dell'allievo. Ci disturba, ci infastidisce! Un'altra "prova", come mi ha fatto osservare Rosetta Zan, è il fatto che quando introduciamo un argomento

(lo facciamo anche all'università!) spesso mettiamo in guardia dagli errori tipici. Se ci pensiamo bene, questo modo di procedere non ha alcun senso. Dal punto di vista didattico, se sono errori tipici, vuol dire che toccano nodi critici sui quali è bene che gli allievi caschino e ne discutano tra loro e con noi. Cosa vuol dire mettere in guardia dagli errori tipici? Vuol dire «guardate che se sbagliate mi date noia». Non ha nessun altro senso. Se non li facciamo sbagliare e sappiamo che lì c'è un nodo concettuale, un punto in cui quasi tutti sbagliano, non gli lasciamo affrontare la difficoltà che quindi rimarrà sotto il tappeto. E a posteriori sarà molto più ardua da affrontare. La paura che gli adulti hanno degli errori in matematica ha conseguenze disastrose: da una parte passa agli allievi, dall'altra condiziona le scelte didattiche degli insegnanti, portandoli a evitare le attività in cui l'errore e le difficoltà si possono affrontare: proprio le attività che insegnano qualcosa di significativo. Chiudiamo il cerchio: una di queste attività significative è richiedere di argomentare. Molti dicono che «sono troppo difficili». Ebbene, proponiamole ai nostri studenti e lasciamo loro la possibilità di avere difficoltà, di sbagliare e di imparare proprio con la forte motivazione di superare le difficoltà. ●

BIBLIOGRAFIA

- ① P.L. Ferrari, *Matematica e linguaggio*, Pitagora Editrice, Bologna 2004.
- ② H.P. Grice, *Logica e conversazione*, Il Mulino, Bologna 1993.
- ③ R. Zan, *Difficoltà in matematica. Osservare, interpretare, intervenire*, Springer, Milano 2007.

Daniele Gauthier

è un matematico e uno scrittore di scienza. Insegna al Master in Comunicazione della Scienza alla Sissa di Trieste e al Diploma accademico in Disegno Industriale all'Isia di Pordenone. È autore del libro di testo *Il bello della matematica* (Pearson Bruno Mondadori, 2015: link.pearson.it/2AF5FBA6).



Comitato editoriale: Valeria Cappa, Marika De Acetis, Cristina Gatti, Valentina Murelli
Coordinamento e progettazione: Valentina Murelli
Redazione e ricerca iconografica: Jacopo Cristini
Coordinamento realizzazione editoriale: Marco Palvarini, Triestina Giannone
Disegni: Vito Manolo Roma
Progetto grafico: Shiroi studio
Impaginazione: Giorgia De Stefani

Pubblicazione aperiodica distribuita gratuitamente nelle scuole, pubblicata da Pearson Italia S.p.A. Corso Trapani 16, 10139, Torino. L'editore è a disposizione per gli aventi diritti per eventuali non volute omissioni in merito a riproduzioni grafiche e fotografiche inserite in questo numero. Si autorizza la riproduzione elettronica e cartacea per l'uso didattico in classe.

Tutti i diritti riservati © 2015 Pearson Italia. www.pearson.it