

Maria Antonietta Carpentieri

Istituto Tecnico "Galilei-Sani" di Latina e Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa

Sandro Jurinovich

Istituto Tecnico "C. Cattaneo" di San Miniato (Pisa)

Valentina Domenici

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa

✉ maria.carpentieri@phd.unipi.it

Il "percorso dei percorsi" sulla spettroscopia nella scuola secondaria di secondo grado

*Un'analisi dei lavori di gruppo presentati dai docenti
partecipanti alla V Edizione della Scuola "G. Del Re"*

RIASSUNTO In questo articolo sono presentati i risultati del lavoro di analisi dei percorsi didattici ideati e realizzati dai docenti che hanno partecipato alla V Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re" (edizione 2020) sul tema dell'insegnamento della spettroscopia nella scuola secondaria di secondo grado. A partire da una serie di spunti didattici forniti all'inizio del percorso di formazione, i docenti, suddivisi in gruppi, hanno trattato vari argomenti nell'ambito della spettroscopia, dai fenomeni ottici ai principi della spettroscopia di assorbimento nell'UV-Visibile, fino ad applicazioni avanzate delle tecniche spettrofotometriche. Le evidenze ottenute dalla sperimentazione in classe hanno mostrato che, indipendentemente dalla tipologia di scuola e dall'età degli studenti, l'approccio alla spettrofotometria è risultato interessante sia dal punto di vista dei metodi che dei materiali utilizzati, e coinvolgente per docenti e studenti. I numerosi spunti didattici proposti nei singoli percorsi ci hanno permesso di costruire un unico grande percorso sulla spettroscopia, organizzato in forma modulare, declinabile in svariate forme e in diversi livelli scolastici. Al termine di questa rassegna, il "percorso dei percorsi" è stato discusso per evidenziare gli aspetti innovativi dal punto di vista didattico ed i possibili sviluppi.

ABSTRACT This paper reports the analysis of several didactic sequences and educational activities designed and put into practice by high school teachers who attended the V Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re" (2020 edition).

The teacher training course was focused on how to introduce spectroscopy at high-school level and it was organized in three steps: introduction of materials and resources by the "Giuseppe Del Re" trainers, design of educational activities specific for different school types and students' target, development and carrying out of the activities in class. The number and quality of educational activities, projects and obtained materials was very satisfactory and it resulted in several interesting approaches able to engage both teachers and students. In this paper, all these activities are commented and presented in a whole educational pathway about spectroscopy.

PAROLE CHIAVE spettroscopia, scuola secondaria di secondo grado, formazione docenti

1. Introduzione

La spettroscopia costituisce un potente strumento di indagine della struttura della materia sia a livello storico che nell'analisi chimica strumentale nei moderni laboratori. L'emissione e l'assorbimento di lunghezze d'onda discrete della luce è fondamentale per la comprensione da parte degli studenti della struttura elettronica e del legame chimico.

Nelle scuole secondarie di secondo grado italiane la spettroscopia si studia sistematicamente negli Istituti Tecnici Industriali ad indirizzo "Chimica, Materiali e Biotecnologie", ma non compare frequentemente nella programmazione dei Licei Scientifici e nei Licei Scientifici con indirizzo "Scienze Applicate". Sotto il profilo dei contenuti dell'inse-

gnamento della spettroscopia, lo spettrofotometro UV-Visibile è un componente essenziale della strumentazione dei laboratori degli Istituti Tecnici dove, a partire dal secondo anno del triennio di specializzazione, è studiato e impiegato nelle esercitazioni di analisi chimica quantitativa. Sebbene lo spettrofotometro venga ampiamente utilizzato nella pratica didattica, molto spesso la teoria che descrive la natura della luce e l'interazione luce-materia non è approfondita in modo adeguato. Gli studenti spesso imparano a memoria definizioni di concetti che richiederebbero un tempo di apprendimento più dilatato per essere acquisiti, senza arrivare ad una comprensione vera dei fenomeni che sono alla base della tecnica che stanno utilizzando. In particolare, si trascurano o si forniscono descrizioni superficiali dei fenomeni ottici di base come la riflessione, la rifrazione, la diffrazione e l'interferenza, che sono invece fondamentali per comprendere ciò che sta avvenendo nello spettrofotometro. Uno studio più approfondito dell'interazione luce-materia dovrebbe essere richiesto nel curriculum degli Istituti Tecnici ad indirizzo Chimico, anche in considerazione della scomparsa dell'insegnamento di Chimica Fisica dal Triennio di specializzazione con la riforma della scuola del 2008 (Riforma Gelmini) [1], che ha creato un vuoto profondo nella conoscenza e nella comprensione della struttura elettronica della materia.

Dal punto di vista del metodo, invece, la spettroscopia viene insegnata con un approccio classico, mentre in base al regolamento dell'Autonomia della scuola [2] (1999) e alla psicologia e pedagogia del Costruttivismo, a cui il regolamento fa riferimento, si preferisce un approccio metacognitivo in cui il docente supporta l'allievo che deve essere costruttore della propria conoscenza per diventare, attraverso l'acquisizione dei contenuti, delle abilità e delle competenze, autonomo e responsabile. L'approccio costruttivista applicato all'insegnamento della spettroscopia trova riscontro nella letteratura scientifica internazionale, soprattutto declinato in nuove metodologie laboratoriali come la costruzione di strumenti domestici [3], con funzione di colorimetri o spettrofotometri, in forme modulari e con materiale di uso comune.

Nell'ambito della V Scuola Nazionale di Didattica della Chimica “Giuseppe del Re” organizzata dalla Divisione di Didattica della Chimica della Società Chimica Italiana (edizione 2020) il tema di uno dei gruppi di lavoro è stato l'insegnamento della spettroscopia nella scuola secondaria di secondo grado. A causa dell'emergenza pandemica la Scuola si è svolta in modalità da remoto, da qui l'idea dei tu-

tor-formatori (i.e. Valentina Domenici e Sandro Jurinovich) di realizzare un portale web [4, 5] con la raccolta di materiale didattico originale di introduzione alla spettroscopia da mettere a disposizione dei docenti delle scuole secondarie di secondo grado: materiale multimediale, lezioni, schede di lavoro e proposte di esperienze laboratoriali dimostrative ed esplorative. Tutto il materiale è stato organizzato in forma modulare per permettere ai docenti partecipanti di personalizzarlo in base al curriculum della propria scuola di appartenenza, oppure di utilizzarlo come spunto per la creazione di un percorso didattico originale. Dopo la prima fase di presentazione del portale, la seconda fase ha visto il lavoro in gruppo dei docenti con la supervisione e il supporto interattivo dei tutor-formatori della Scuola. Nella terza fase i gruppi di lavoro hanno presentato i risultati in forma di ideazione di un percorso didattico, o come percorso didattico parzialmente, o interamente svolto nelle proprie classi.

Al termine del percorso di formazione, 13 gruppi di lavoro, che comprendono 28 docenti provenienti da scuole secondarie di secondo grado da tutta Italia, hanno presentato il loro percorso didattico dalla progettazione, alla sperimentazione e alla valutazione. In questo articolo, realizzato nell'ambito di un progetto di Dottorato in Didattica della Chimica sull'insegnamento della spettroscopia, viene presentata un'analisi sistematica delle proposte pervenute dai gruppi di lavoro, che ci ha permesso di collegare insieme diversi percorsi didattici per delineare un unico grande “percorso dei percorsi” di introduzione alla spettroscopia.

Gli argomenti e le modalità di utilizzo del materiale didattico per la progettazione dei percorsi non sono stati assegnati dai docenti formatori ai diversi gruppi di lavoro. Nonostante la completa libertà di scelta, i 13 gruppi, che hanno ideato e realizzato in classe con i loro studenti e, infine, presentato il proprio percorso didattico (Tabella 1), hanno trattato tutti argomenti diversi, oppure hanno elaborato un approccio didattico diverso per la trattazione di uno stesso argomento. Questa naturale varietà di scelte testimonia come la spettrofotometria sia un argomento complesso che comprende molteplici aspetti, ciascuno dei quali merita un proprio approfondimento.

L'analisi fatta sul materiale didattico tiene conto dei livelli del pensiero sui quali deve muoversi il docente nel processo di insegnamento-apprendimento della Chimica, indicati da Johnstone [6] e successivamente da Mahaffy [7], che fanno riferimento ai cosiddetti modelli triangolare e tetraedrico, ri-

Percorso	Titolo del percorso	Scuola	Città	Docenti
1	Realizzare spettri di assorbimento [8]	Liceo "A. Calini"	Brescia	Zagami Maria Angela
2	Spettri atomici: codici a barre degli elementi chimici [9]	Liceo "E. Majorana"	Roma	Rampa Paola, Trapani Laura
3	Oltre la luce [10]	Liceo "Gandini-Verri"	Lodi (MI)	Bernabè Ilaria
4	Quanti di luce e metalli [11]	I.T.C.S. "P. Levi"	Bollate (MI)	Buga Morena, Cortellino Nunzia, Gatto Mauro, Pirotta Rachele
5	Interazione luce-materia [14]	I.S.I.S. "G. A. Pujati"	Sacile (PN)	Perin Rosella, Tombolan Maria Chiara
6	Il consumo di alcol, l'adolescenza e il lockdown [16]	I.T.T. "Leonardo da Vinci"	Viterbo	Cavaliere Alessandra, Sanetti Anna, Tordi Maria Gabriella
7	Lo spettrofotometro con lo smartphone-Il vino annacquato [17]	Licei "E. Majorana", "A. Labriola", "S. G. Battista"	Roma	Conte Angela, Micheloni Alessia, Tasseti Daniele, Sequi Cecilia
8	Proviamo a costruire uno spettrofotometro [19]	I.T.I. "G. Marconi"	Dalmine (BG)	Rocca Caterina, Romanelli Nicoletta, Lettieri Isabella
9	Analisi chimica attraverso la luce [20]	I.I.S. "B. Focaccia"	Salerno	Aquila Tullia, Di Nardi Gennaro
10	Acquario marino tra chimica, fisica e biologia [22]	I.S.I.S di Follonica	Follonica (GR)	Severi Alice
11	Spettrofotometria e monitoraggio delle acque superficiali [23]	I.I.S. "Tassara-Ghislandi"	Breno (BS)	Laini Giuseppina
12	Oro verde [24]	I.I.S.S. "R. D'Altavilla"	Mazara del Vallo (TP)	Verde Elisabetta
13	Determinazione della caffeina assunta bevendo diversi tipi di tè [25]	I.I.S. "Capellini-Sauro"	La Spezia	Castiglioni Giulia, Sommovigo Milena, Gigantesco Paola

Tab 1 | 13 percorsi didattici sviluppati dai docenti e realizzati a scuola. Le scuole, le città e i docenti partecipanti sono indicati, insieme al riferimento della pagina web sul portale #DADSPECTROSCOPY che raccoglie le schede riepilogative dei percorsi

spettivamente. I livelli su cui si sviluppano i diversi progetti didattici, infatti, sono il livello macroscopico-fenomenologico, il livello simbolico e delle rappresentazioni, il livello micro e sub-microscopico e il quarto livello cosiddetto dell'attività umana, o livello umano. Nella prima parte del lavoro, verranno quindi presentati i diversi percorsi mettendo in evidenza a quali di questi livelli sono collegati e cercando di ordinarli in una sequenza logica, che verrà discussa più ampiamente nella seconda parte del lavoro.

2. Il "percorso dei percorsi"

La spettroscopia storicamente è stata fondamentale per porre le basi alla comprensione della struttura elettronica della materia ed ha preceduto, dal punto di vista cronologico, una serie di scoperte importanti per capire l'esistenza e le caratteristiche delle particelle che costituiscono l'atomo: gli elettroni, e successivamente i protoni e i neutroni.

Nel **percorso 1** [8], proposto in una classe del Liceo "A. Calini" di Brescia, si presentano i primi studi sperimentali utilizzando i *Tubi di Crookes* che permisero storicamente di osservare il comportamento di gas sottoposti ad intense scariche elettriche e la natura dei cosiddetti raggi catodici (Figura 1).

I laboratori del liceo dove è stato realizzato il **percorso 1** hanno la fortuna di avere uno spettroscopio (Figura 2) con il quale gli studenti hanno potuto osservare

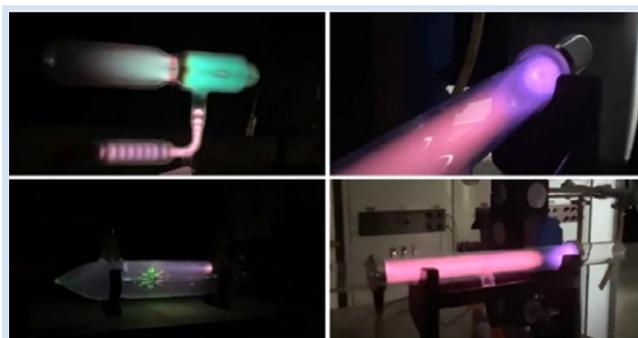


Fig. 1 Fotografie di vari Tubi di Crookes tratte dal materiale didattico dei docenti che hanno sperimentato in classe il percorso 1



Fig. 2 Spettroscopio didattico utilizzato nel percorso 1

le differenze e la complementarità tra spettro d'emissione e d'assorbimento ottenuti dall'analisi spettrale di un elemento chimico. Per queste osservazioni, sono state interposte tra la lampada spettroscopica

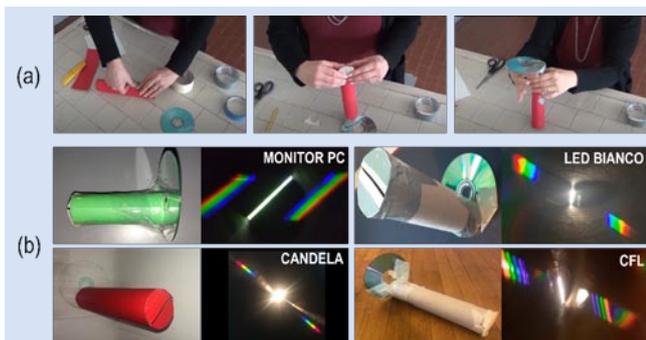


Fig. 3 (a) Costruzione dello spettroscopio domestico; (b) alcuni spettroscopi costruiti dagli studenti con relativa fotografia dell'osservazione di diverse sorgenti luminose (immagini tratte dal materiale didattico dei docenti che hanno sperimentato in classe il percorso 2)

e lo spettroscopio pellicole colorate, filtri in vetro colorati, gas caldo (vapore acqueo prodotto con un vaporizzatore a caldo) e gas freddo (CO_2).

Nel **percorso 2** [9], sperimentato in due classi terze del Liceo Scientifico “E. Majorana” di Roma, e nel **percorso 3** [10], realizzato in una classe prima del Liceo “Gandini-Verri” di Lodi, il progetto didattico prevede la costruzione di un semplice spettroscopio ‘home-made’ con materiali facilmente reperibili e l’analisi di diverse sorgenti di luce (Figura 3).

La costruzione di un modello molto semplice di spettroscopio permette di comprendere la natura policromatica della luce e introduce al funzionamento di componenti ottici quali elementi disperdenti e fenditure. La costruzione di uno spettroscopio domestico è un esperimento facilmente realizzabile anche a distanza e consente di passare dal piano *simbolico* dello spettro a quello *macroscopico* dell’osservazione delle bande o righe colorate.

Un primo passo dall’analisi qualitativa delle sorgenti di luce, ottenuta con un semplice spettroscopio, verso l’analisi quantitativa quale applicazione della vasta branca della spettrofotometria, è affrontato con il **percorso 4** [11] in una classe quarta dell’Istituto Tecnico indirizzo “Chimica e Materiali” e in una classe quinta del Liceo Scientifico opzione “Scienze Applicate” dell’I.T.C.S. “P. Levi” di Bollate. In particolare, vengono proposte attività sulla spettroscopia atomica sia per quanto riguarda il processo di emissione atomica che quello di assorbimento atomico. Alla base della spettroscopia atomica c’è la comprensione dello strumento, come per tutte le tecniche strumentali. Comunemente l’assemblaggio dello strumento a partire dalle sue componenti ottiche viene studiato utilizzando un diagramma a blocchi, ma con questo approccio c’è un alto rischio di una memorizzazione meccanica di nozioni senza capire realmente i fenomeni alla base. Per aiutare gli studenti nel processo di costruzione del concetto di diagramma a blocchi e nella comprensione del funzionamento di uno strumento, specialmente laddove lo strumento non sia disponibile in laboratorio, sono possibili due strategie: la costruzione di uno strumento *home-made* o la costruzione di modelli semplificati. La prima strategia risulta applicabile nel caso di uno spettroscopio, di un colorimetro o di uno spettrofotometro, ma è praticamente impossibile da applicare nel caso di uno spettrofotometro di assorbimento atomico. Per questo motivo, il **percorso 4** propone la costruzione di modellini tridimensionali fatti con materiali di uso comune, in analogia con quanto già riportato anche da alcune esperienze di alternanza scuola lavoro [12, 13]. In questi assemblamenti, il corretto inserimento e la

corretta rappresentazione delle diverse parti aiutano gli studenti ad entrare con la mente dentro “la scatola nera” dello strumento (Figura 4).

Nel **percorso 5** [14], proposto in una classe seconda del Liceo opzione Scienze Applicate dell’I.S.I.S. “G. A. Pujati” di Sacile, sempre rimanendo sul piano dell’assemblaggio dello strumento, trat-

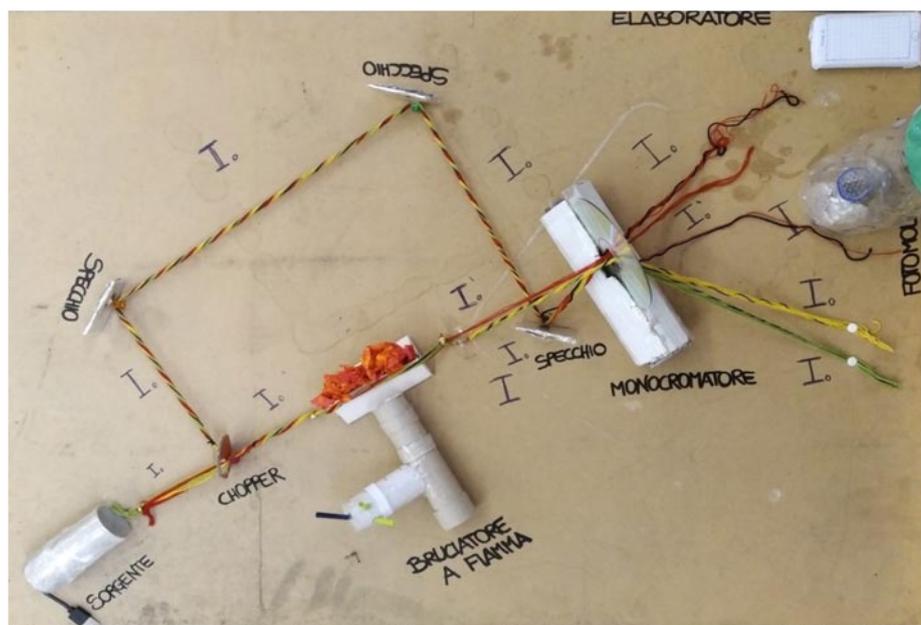


Fig. 4 Modellino di uno spettrometro di assorbimento atomico (immagine tratta dal materiale didattico del percorso 4)

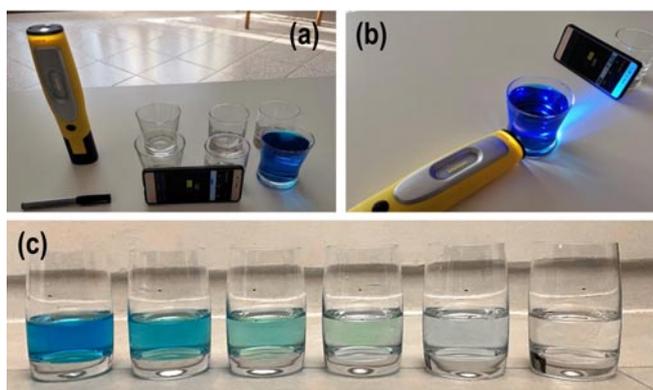


Fig. 5 Allestimento dell'esperimento per la misura dell'intensità della luce passante attraverso soluzioni colorate: (a) materiali utilizzati, (b) setting strumentale sorgente-campione-rivelatore, (c) soluzioni analizzate di colorante blu a diversa concentrazione (immagini tratte dal materiale didattico dei docenti del percorso 5)

tandosi di un semplice colorimetro, si ricorre invece alla prima strategia, quella degli strumenti DIY, introducendo anche un secondo passo verso l'analisi quantitativa. Si utilizza un'applicazione gratuita per smartphone, *Luxmeter* [15], che sfrutta il sensore luce della fotocamera per misurare l'intensità della luce. Successivamente, si assembla uno strumento modulare, costituito da una torcia, come sorgente, e dal cellulare, come rivelatore, che misura l'intensità di luce passante attraverso soluzioni colorate ottenute per diluizioni successive (Figura 5).

Utilizzando questo dispositivo è possibile quindi introdurre il concetto di trasmittanza (associata alla grandezza indicata con T). Questo è un primo passo verso l'introduzione del concetto di assorbanza (A) che viene derivato matematicamente dal concetto di trasmittanza (T) e che rappresenta un modo per poi arrivare alla definizione della legge di Lambert-Beer:

$$A = \log_{10} \left(\frac{1}{T} \right) \quad (1)$$

$$A = \varepsilon(\lambda) \times b \times C \quad (2)$$

dove $\varepsilon(\lambda)$ è il coefficiente di estinzione molare di una sostanza che assorbe la luce, generalmente funzione della lunghezza d'onda λ , b è il cammino ottico e C è la concentrazione della sostanza assorbente, espressa in molarità. L'equazione (2) è alla base delle applicazioni dell'analisi quantitativa della spettrometria; tuttavia, essendo una relazione matematicamente molto semplice ed essendo facile da memorizzare, rischia di essere appresa meccanicamente, senza permettere di comprendere a pieno la fenomenologia che sottende.

Nel **percorso 6** [16] alcuni semplici esperimenti, proposti dai docenti in una classe seconda di indirizzo "Informatica" e nelle classi seconda e terza dell'indirizzo "Biotecnologie sanitarie" dell'I.T.T. "Leonardo da Vinci" di Viterbo con modalità in presenza e a distanza, possono aiutare gli studenti a capire meglio la relazione tra concentrazione, assorbanza e cammino ottico. La legge di Lambert-Beer non è niente altro che una formula e quindi sta su quello che Johnstone [6] definisce "il piano della rappresentazione simbolica". Una piena comprensione della legge di Lambert-Beer esige che sia chiaro il legame tra questo livello simbolico e quelli microscopico e macroscopico. Inoltre, se facciamo riferimento al modello tetraedrico di Mahaffy [7], applicare la legge a casi reali, o derivarla sperimentalmente utilizzando un'esperienza diretta, permette di collegare i tre livelli a quello definito dell'attività umana (quarto livello).

A livello macroscopico la legge di Lambert-Beer permette di stabilire una relazione tra tre grandezze (vedi equazione 2): l'assorbanza, il cammino ottico e la concentrazione. Il coefficiente di estinzione molare, essendo specifico per tipo di sostanza e dipendente dalla lunghezza d'onda, può essere, infatti, considerato come un fattore ricavabile sperimentalmente con la costruzione di una retta di taratura. Per analizzare questa relazione dal punto di vista macroscopico-fenomenologico si allestisce un esperimento semplicissimo realizzabile anche in modalità a distanza con materiale facilmente reperibile. Come proposto nel **percorso 6**, si preparano soluzioni a concentrazioni diverse e note dello stesso analita, che può essere un sale colorato disponibile in laboratorio, oppure per l'esperimento a distanza un colorante alimentare disponibile in commercio. La concentrazione può essere determinata con le procedure standard o semplicemente esprimendola in funzione del numero di gocce di colorante in un certo volume di acqua. Le soluzioni vengono introdotte in becher tutti uguali in laboratorio o in bicchierini tutti uguali a casa. La sorgente di luce è costituita da una lavagna luminosa o da un semplice foglio bianco posto sul fondo su cui appoggiare i becher, se l'attività si svolge a casa. La misura del colore viene fatta tramite l'osservazione con gli occhi e solo per confronto, non potendo ottenere con gli occhi "valori assoluti" dell'intensità di colore. Un metodo proposto consiste nell'osservazione del colore della soluzione guardando il becher o il bicchiere dall'alto verso il basso. In questo caso, il cammino ottico corrisponde all'altezza di riempimento del contenitore. Per prima cosa si considerano soluzioni aventi la stessa concentrazione, ma diversa

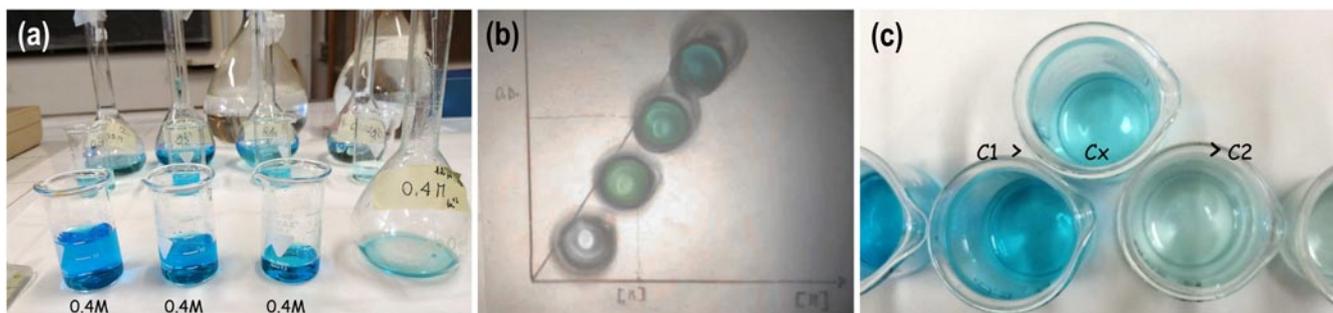


Fig. 6 (a) Soluzioni con la stessa concentrazione e diversa altezza di riempimento; (b) costruzione della retta visuale sulla lavagna luminosa con soluzioni con la stessa altezza di riempimento e diversa concentrazione; (c) inserimento della soluzione a concentrazione incognita tra le soluzioni con colorazione più simile (fotografie tratte dal materiale didattico dei docenti del percorso 6)

altezza di riempimento del contenitore (Figura 6a). In questo modo si può osservare che per soluzioni che hanno la stessa concentrazione l'intensità del colore osservato, e quindi l'assorbanza o densità ottica, aumenta all'aumentare del cammino ottico o altezza di riempimento in modo lineare. La relazione di proporzionalità diretta tra assorbanza e cammino ottico può essere evidenziata costruendo una retta visuale che ancora una volta aiuta gli studenti a passare da un piano simbolico ad uno macroscopico: disponendo i contenitori come punti di questa retta avremo in ordinate l'assorbanza e in ascisse il cammino ottico. Se ora consideriamo contenitori riempiti sempre alla stessa altezza, quindi con lo stesso cammino ottico, ma con soluzioni aventi concentrazioni diverse, l'assorbanza aumenta all'aumentare della concentrazione.

Anche in questo caso, può essere costruita una retta di taratura visuale (Figura 6b) che può essere utilizzata per valutare qualitativamente la concentrazione di un campione incognito, che può essere inserito per confronto visivo nell'intervallo corretto, cioè tra i due punti-becher più simili come colorazione (Figura 6c). A questo punto il **percorso 6** suggerisce un modo semplice e didatticamente efficace per dare una stima approssimativa della concentrazione incognita utilizzando la legge di Lambert-Beer: si aggiunge o si preleva un certo volume da una delle soluzioni note, per esempio C_1 o C_2 , fino ad ottenere lo stesso colore del campione incognito, si misurano i cammini ottici e si ricava la concentrazione incognita $C_x = (C_1 \times b_1) / b_x$. In effetti l'intensità del colore osservato non è direttamente proporzionale al cammino ottico o alla concentrazione, ma per i fini didattici di questo esperimento può essere fatta questa assunzione. Nel **percorso 7** [17], realizzato nelle classi quarte nei Licei Scientifici "E. Majorana", "A. Labriola" e "San Giovanni Battista" di Roma, la spiegazione della legge di Lambert-Beer passa al piano microscopico: cosa succede "quantitativamente" alla luce che attraversa una soluzione contenente specie assorbenti?

La grandezza contenuta nella legge di Lambert-Beer è l'assorbanza, la sua definizione in relazione all'intensità I è:

$$A = -\log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (3)$$

Questa formula non risulta immediata per gli studenti in quanto è difficile che producano una semplice rappresentazione mentale del suo significato.

L'intensità della luce è intesa come numero di fotoni che attraversa una sezione unitaria del campione nell'unità di tempo ed è invece facile da visualizzare; allora si cerca di visualizzare lo smorzamento, cioè la diminuzione dell'intensità dI che provoca uno strato sottilissimo di soluzione. Nella trattazione classica, riportata anche nei testi scolastici di Chimica Analitica, questo smorzamento è proporzionale al numero di specie assorbenti, molecole o particelle per unità di volume cioè alla concentrazione:

$$dI = -K \times C \times I_b \times db \quad (4)$$

dove dI è la variazione di intensità nello strato sottilissimo (infinitesimo) db di soluzione attraversato, K una costante e C la concentrazione della soluzione. Separando le variabili e integrando lungo tutto lo spessore della soluzione si ottiene la legge di Lambert-Beer:

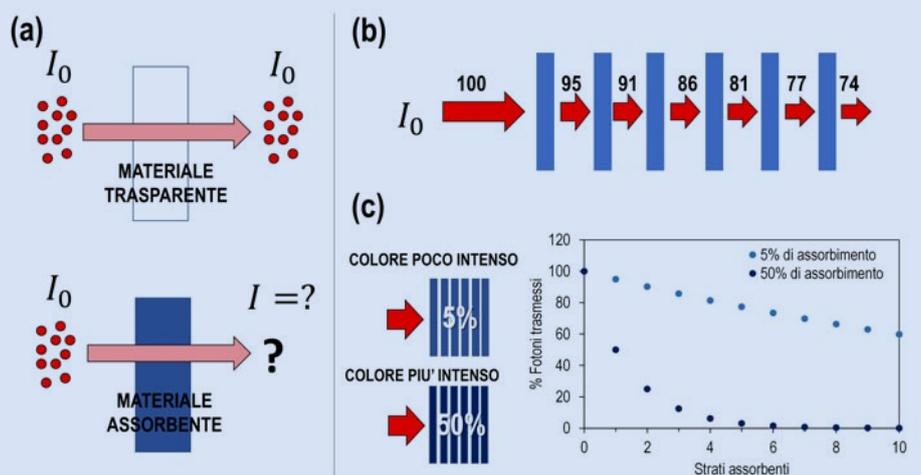
$$\log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon(\lambda) \times b \times C \quad (5)$$

Questi passaggi matematici non sono semplici per gli studenti e la relazione logaritmica che lega l'intensità alle altre grandezze non può essere visualizzata facilmente; conviene porre questa legge nella forma esponenziale:

$$I = I_0 \times e^{-\varepsilon(\lambda) \times b \times C} \quad (6)$$

Il **percorso 7**, per spiegare la legge di Lambert-Beer, utilizza la rappresentazione visuale del comportamento dei fotoni che attraversano la soluzione e

Fig. 7 (a) Rappresentazione visuale del problema dell'assorbimento; (b) rappresentazione del fenomeno di assorbimento strato per strato (i numeri sopra le frecce indicano la percentuale di fotoni trasmessi); (c) grafico della percentuale di fotoni trasmessi strato per strato confrontando due campioni che presentano diverso assorbimento (immagini riadattate dal materiale didattico dei docenti del percorso 7)



mostra in modo molto semplice il decadimento esponenziale dell'intensità indicata come numero di fotoni che escono da strati sottilissimi e successivi di soluzione. Le immagini della figura 7 collegano ciò che avviene sul piano microscopico a ciò che si osserva con i nostri occhi, l'intensità del colore della soluzione, che è il piano macroscopico-fenomenologico.

In un'altra parte del percorso si trattano gli aspetti qualitativi dell'assorbimento della luce. Dopo aver presentato brevemente agli studenti la teoria additiva e sottrattiva del colore si utilizza l'applicazione *ColorMeterFree* [18] che sfrutta la fotocamera dello smartphone per misurare "le componenti primarie" ossia i valori RGB della luce bianca trasmessa da diverse bibite colorate attraverso cui viene fatta passare, realizzando di fatto un colorimetro *home-made*. I valori RGB misurati vengono interpretati dagli studenti che notano la complementarità del colore della bibita rispetto ai valori RGB più piccoli che si riferiscono alle componenti maggiormente assorbite: per esempio, se il liquido è rosso, risulta il massimo assorbimento e il minimo valore nel verde e nel blu, mentre se il liquido è verde massimo assorbimento nel rosso e nel blu. La stessa applicazione per leggere i valori RGB con lo smartphone è utilizzata per misurare la concentrazione di un campione incognito (acqua/vino) attraverso la costruzione di tre rette di taratura per i tre canali. Il percorso, in questo modo, presenta il fenomeno dell'assorbimento e la relativa grandezza assorbanza da un punto di vista quantitativo, qualitativo e di calcolo.

Nel colorimetro *home-made* costruito nel **percorso 8** [19], realizzato in una classe quarta ad indirizzo "Chimica e Materiali" dell'I.T.I. "G. Marconi" di Dalmine (BG), la sorgente monocromatica è ottenuta con uno schermo di carta colorato su cui incide la luce bianca proveniente da una sorgente. Si utilizza

una normale lampada a luce bianca, davanti lo schermo di carta è posizionato il campione e di fronte al campione lo smartphone la cui fotocamera rileva l'intensità della luce passante, mediante un'applicazione, relativamente al canale RGB che corrisponde al colore della sorgente. La sorgente di luce bianca è posizionata lateralmente e la luce è deviata tramite uno specchio sul porta-campione; le diverse componenti ottiche sono sistemate in una scatola costruita e suddivisa da divisori per indirizzare il fascio di luce incidente sul foglio colorato, per posizionare correttamente le altre componenti ottiche e limitare l'entrata di luce indesiderata. Il colorimetro così assemblato è stato attentamente progettato in una prima fase del lavoro ed è stato utilizzato per la determinazione quantitativa del colorante in alcuni alimenti, come le caramelle (vedi figura 8).

La costruzione di strumenti *home-made*, spettroscopi, colorimetri o spettrofotometri, stimola il pensiero critico dello studente e lo induce a fare valutazioni sull'assemblamento delle "componenti ottiche", sul loro allineamento, sui diversi requisiti delle sorgenti, sul porta-campione e su problematiche quali la saturazione del sensore.

Dopo aver analizzato i percorsi che affrontano in modo diverso i tre livelli del modello triangolare macroscopico, microscopico e simbolico, concludiamo con la presentazione dei percorsi che si collegano al quarto livello di pensiero della Chimica: quello dell'attività umana. Questi ultimi percorsi partono dalla necessità di collegare la Chimica all'esperienza degli studenti, ai problemi del mondo reale, tra cui le applicazioni dell'industria e la Chimica dell'ambiente, di far vedere come la Chimica influenzi la vita di tutti, studenti e cittadini. Per creare questo collegamento con l'attività umana è possibile partire dai fenomeni ottici, come fa il **percorso 9** [20], realizzato in una classe quarta dell'indirizzo "Chimica

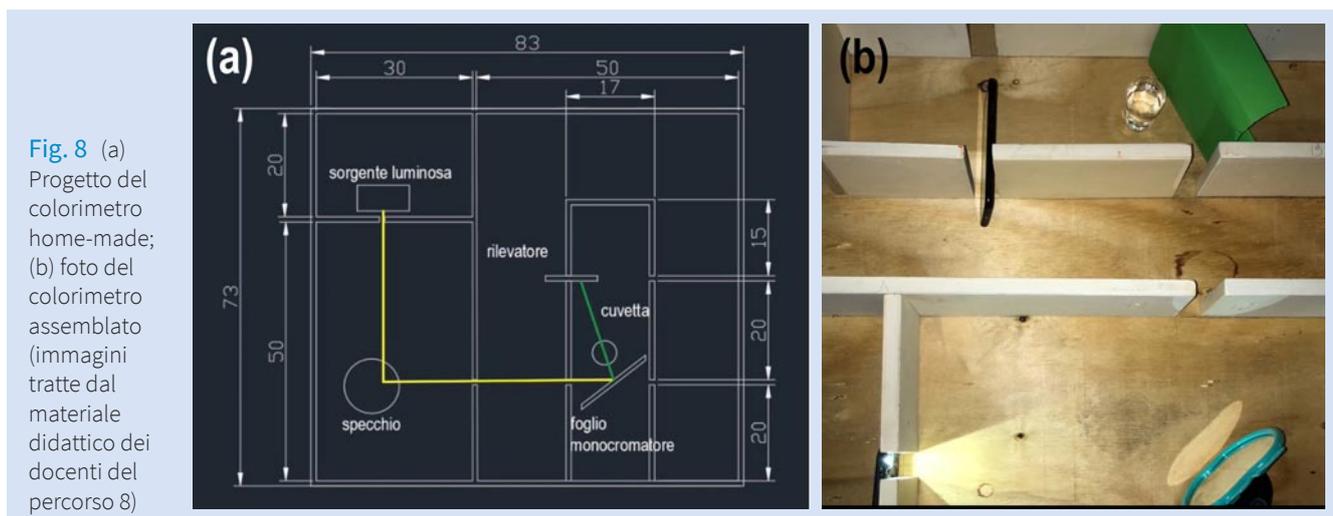


Fig. 8 (a) Progetto del colorimetro home-made; (b) foto del colorimetro assemblato (immagini tratte dal materiale didattico dei docenti del percorso 8)

e Materiali” nell’I.I.S. “B. Focaccia” di Salerno, e introdurre ad esempio il funzionamento delle fibre ottiche basato sulla riflessione totale, collegandosi quindi ad una tecnologia molto utilizzata oggi. Come suggerisce lo stesso percorso, questa attività può essere svolta anche con la modalità a distanza, utilizzando risorse a stimolo visivo, come video reperibili in rete, o anche alcuni video prodotti dai tutor-formatori della Scuola “Del Re” [21].

L’utilizzo di materiali video è utile soprattutto per quegli argomenti preliminari alla spettrofotometria, come i fenomeni ottici che richiedono, nell’ambito della programmazione curricolare, una trattazione veloce. Inoltre, la realizzazione di video di esperimenti sui fenomeni ottici suggerisce agli insegnanti esperienze facilmente riproducibili a scuola come laboratorio dimostrativo, ma può anche stimolare gli studenti a realizzare materiale audiovisivo autoprodotta. Il materiale video permette poi di facilitare il passaggio dal piano simbolico a quello macroscopico, per esempio con la sovrascrittura delle grandezze simboliche sulle immagini del video, come mostrato in figura 9.

Sempre rimanendo sul livello di pensiero dell’attività umana nel **percorso 6**, già visto prima per introdurre la legge di Lambert-Beer, si determina con lo Spettrofotometro UV-Visibile la concentrazione di alcol in alcune bevande alcoliche utilizzando come reazione “cromogena” quella sfruttata dagli etilometri storici, ossia l’ossidazione con il bicromato, e partendo da queste misurazioni si approfondiscono con gli studenti le tematiche del consumo di alcol, dell’adolescenza e le problematiche del lockdown. Un altro esempio molto interessante dove si inserisce la spettroscopia in un

contesto in cui gli studenti sono protagonisti di un’attività multidisciplinare è il **percorso 10** [22]. In questa attività, proposta in due classi terze del Liceo Scientifico opzione “Scienze Applicate” dell’I.S.I.S. di Follonica (GR), si inserisce la spettrofotometria nell’ambito di un’attività triennale di PCTO per la creazione di un acquario con una prospettiva multidisciplinare e con il coinvolgimento di varie realtà lavorative e culturali del territorio. La sperimentazione sulla spettroscopia nel primo anno del percorso interdisciplinare affronta per la parte teorica l’ottica in Fisica, la struttura atomica e l’interazione con la luce in Chimica, mentre per quella sperimentale il monitoraggio di un acquario marino allestito nella scuola mediante le analisi spettrofotometriche della clorofilla legata alla produttività primaria del fitoplancton e alla fotosintesi, in Biologia e Chimica (vedi figura 10).

L’entusiasmo per la spettrofotometria arriva a far investire l’istituto scolastico con l’acquisto di uno spettrofotometro in una scuola, come un Liceo Scientifico con indirizzo “Scienze Applicate”, in cui

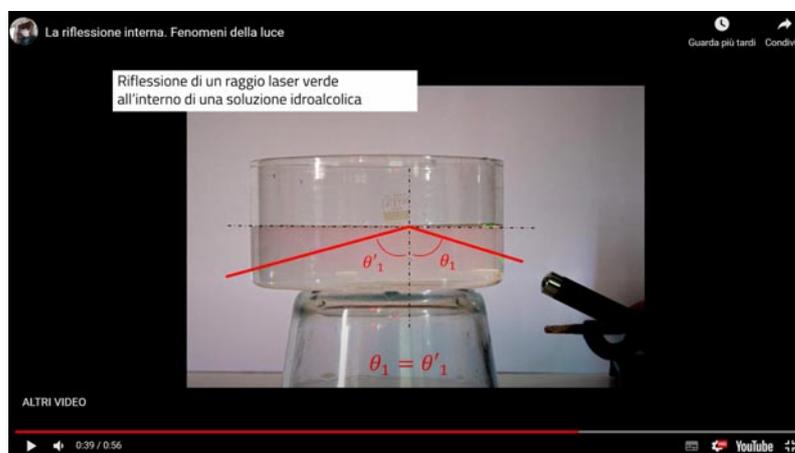


Fig. 9 Fotogramma tratto dal video sulla riflessione interna realizzato nel progetto #DADSPECTROSCOPY [21]

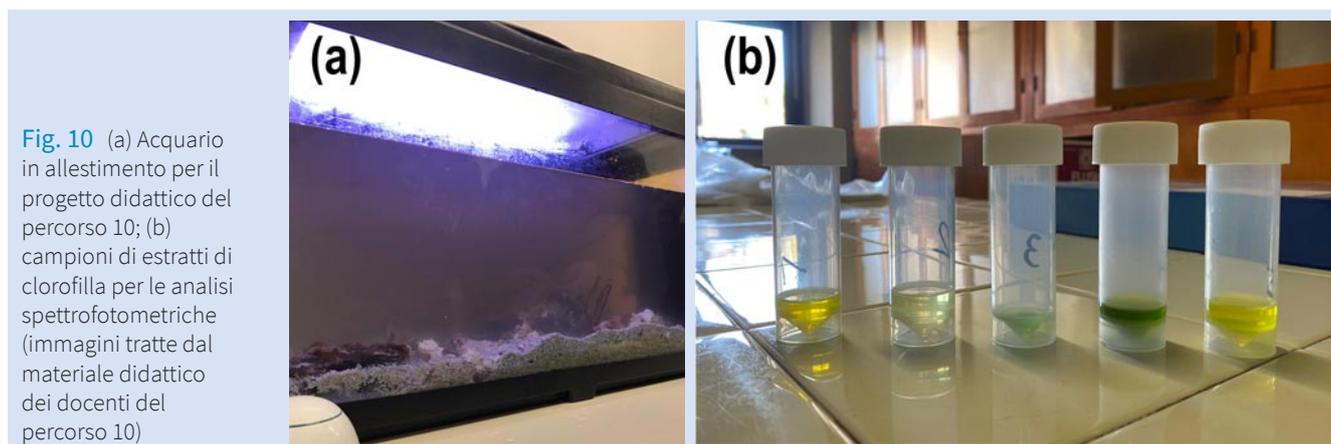


Fig. 10 (a) Acquario in allestimento per il progetto didattico del percorso 10; (b) campioni di estratti di clorofilla per le analisi spettrofotometriche (immagini tratte dal materiale didattico dei docenti del percorso 10)

non è previsto lo studio della spettrofotometria nella programmazione curricolare.

Il **percorso 11** [23], proposto in una classe quinta del corso di “Biotecnologie Ambientali” dell’Istituto “T. Ghislandi” di Breno (BS), prevede il monitoraggio ambientale di campioni di acque superficiali provenienti dal fiume Oglio, prima della sua immissione nel lago d’Iseo. Il percorso didattico prevede una prima fase di ricerca, raccolta e studio di dati storici relativi ai parametri ambientali di interesse e della loro variazione temporale attraverso l’archivio del sito ARPA. Questa fase di ricerca e di analisi dei dati di letteratura ha permesso un maggior coinvolgimento degli studenti rendendoli consapevoli del fatto che il progetto analitico proposto è volto allo studio di un problema reale e concreto. Nella seconda fase sono state prese in esame e applicate a campioni reali prelevati dagli studenti le metodiche di analisi per la determinazione spettrofotometrica di nitrati, nitriti, ione ammonio e fosfati. Il lavoro è stato realizzato con la strumentazione presente nel laboratorio della scuola e svolto in parte in presenza e in parte in modalità a distanza. Il percorso si è configurato come una simulazione di un’indagine ambientale e gli studenti hanno trovato molto interessante e stimolante nell’approccio investigativo il legame con il territorio.

Sullo stesso livello di pensiero della Chimica si muove il **percorso 12** [24], realizzato in una classe quinta dell’indirizzo “Chimica e Materiali” dell’I.I.S.S. “R. D’Altavilla” di Mazara del Vallo (TP), nel quale l’analisi spettrofotometrica è applicata allo studio di una matrice reale, l’olio alimentare, ed in particolare l’olio extra vergine di oliva “Nocellara del Belice”, prodotto agroalimentare di eccellenza del territorio. Dopo un’ampia prima fase teorica per descrivere le caratteristiche degli oli alimentari con specifico riferimento alla composizione chimica dell’olio di oliva e le relative analisi finalizzate alla classificazione merceologica e al controllo qualità, il percorso ha

sviluppato in modo dettagliato l’esame spettrofotometrico nell’UV dell’olio, oltre le analisi non strumentali di perossidi e acidità, fino ad arrivare alla simulazione della compilazione di un rapporto di prova per i campioni analizzati e alla valutazione dei dati ottenuti. Sono stati inoltre simulati processi di invecchiamento dei campioni per rendere più verosimile l’indagine. Il percorso è stato svolto in modalità mista con le attività laboratoriali in presenza e quelle teoriche per lo più a distanza.

Infine nel **percorso 13** [25], realizzato in una classe quinta dell’indirizzo “Chimica e Materiali” nell’I.S.S. “Capellini-Sauro” di La Spezia, si chiede agli studenti un vero e proprio compito di realtà multidisciplinare, ossia di redigere un protocollo analitico per determinare la quantità di caffeina assunta da un consumatore di tè, nell’ipotesi di non disporre di uno standard certificato, di avere l’HPLC non funzionante e di possedere come strumento per le analisi quantitative solo un spettrofotometro UV-Visibile (Figura 11).

I punti dell’analisi spettrofotometrica sviluppati sono stati la scelta dei parametri analitici più opportuni per condurre l’analisi: lunghezza d’onda, intervallo della curva di taratura, intervallo di linearità. Al di là degli aspetti più contenutistici, la gestione di un problema di realtà anche in questo caso ha avuto interessanti implicazioni metodologiche (attività di *brainstorming* e condivisione con i docenti, *flipped class*, *project based learning*, *cooperative learning*) che promuovono negli studenti la capacità di analizzare il dato e verificarne la coerenza, di pianificare e organizzare il lavoro, di utilizzare le strumentazioni a disposizione in maniera autonoma; potenziano inoltre gli aspetti comunicativi e relazionali del gruppo classe. L’elaborazione del protocollo analitico comune è partita dalla condivisione dagli elaborati dei singoli studenti ed è stato un processo in divenire, modulato in itinere, svolto in modalità mista, in presenza e a distanza.



3. Discussione

Dopo aver descritto ed analizzato i singoli percorsi, proponiamo qui una sequenza di attività sottoforma di diagramma (Figura 12), dove ogni punto verrà discusso per la sua valenza didattica e per l'applicabilità parziale o totale nelle varie scuole secondarie di secondo grado.

Il “percorso dei percorsi” inizia dallo spettroscopio che è uno strumento in generale non utilizzato nelle lezioni di spettrofotometria del corso di Chimica Analitica degli Istituti Tecnici di indirizzo Chimico. Tuttavia, questo strumento ha molti aspetti didatticamente utili e rilevanti. Lo spettroscopio infatti analizza la luce, dando la possibilità agli studenti di vedere lo spettro della luce visibile e della luce prodotta da diverse sorgenti, di osservare spettri continui, a bande o a righe, di capire meglio che dietro il colore esiste una sintesi additiva di diverse componenti cromatiche. Lo spettroscopio può essere realizzato con materiali facilmente reperibili, anche con attività a distanza, ma può essere acquistato anche dalle scuole, visti i costi accessibili degli spettroscopi didattici o di *Kirchhoff-Bunsen* “moderni”. Alcune scuole inoltre possiedono questi strumenti, talvolta anche di valore storico, sia nei laboratori di Chimica che di Fisica. L'analisi di sorgenti luminose tramite lo spettroscopio può condurre alla discussione sull'emissione di radiazione da parte dell'atomo eccitato che ben si collega ad un'altra esperienza di laboratorio molto comune nei corsi del biennio delle scuole secondarie: i saggi alla fiamma. Sia l'osservazione di sorgenti con lo spettroscopio che i saggi alla fiamma possono introdurre alla struttura elettronica della materia. Quindi i punti 1, 2, 3 e 4 del

diagramma di figura 12 possono essere implementati sia nei corsi di Chimica del biennio che nei corsi di Scienze nel Liceo Scientifico tradizionale e nell'opzione “Scienze Applicate”. In generale questa breve sequenza didattica è adatta a tutti i corsi di Scienze o di Chimica delle scuole secondarie di secondo grado. Al di là della sua ampia versatilità, semplicità e accessibilità, questa sequenza didattica raramente è realizzata proprio nel triennio degli Istituti Tecnici ad indirizzo Chimico dove potrebbe supportare sia lo studio della struttura elettronica dell'atomo al primo anno del Triennio, sia lo studio della spettrofotometria, al secondo o terzo anno del Triennio. Il punto 5 del diagramma di figura 12 affronta l'assor-

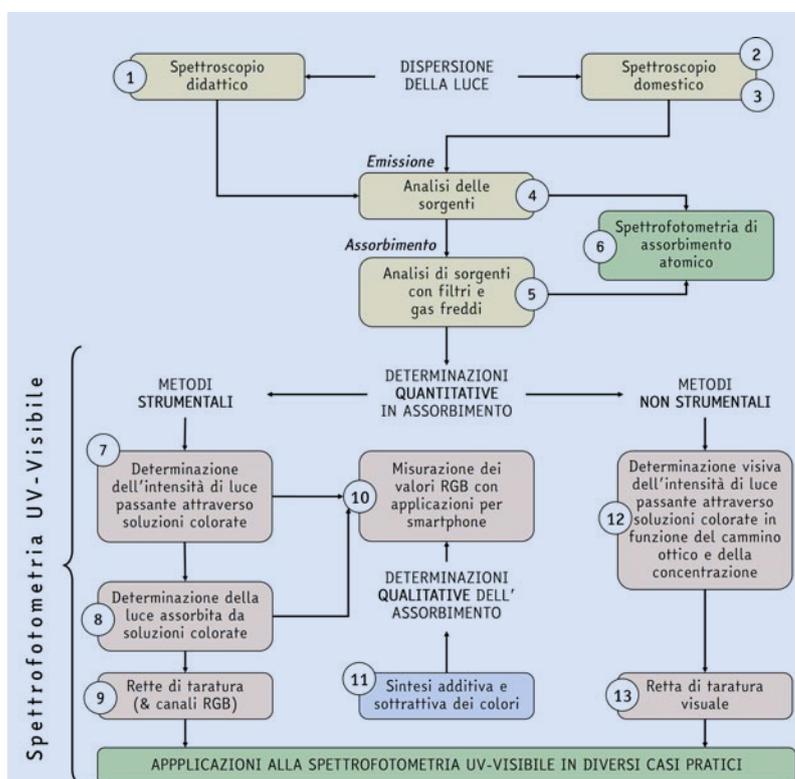


Fig. 12 Diagramma della sequenza didattica proposta a partire dall'analisi dei percorsi sviluppati dai gruppi di lavoro che hanno partecipato alla Scuola “Del Re”

bimento della luce attraverso semplici esperimenti realizzabili con gli stessi spettroscopi visti in precedenza: questo approccio è molto utile nel Triennio degli Istituti Tecnici con indirizzo Chimico perché propedeutico alla spettrofotometria di assorbimento atomico, descritto al punto 6 del diagramma, che comprende i fenomeni di assorbimento ed emissione. Questo tema è molto interessante perché si collega al fenomeno del colore e fornisce un ulteriore supporto sperimentale allo studio della struttura elettronica della materia. Passando agli aspetti quantitativi dell'assorbimento si entra nel campo della spettrofotometria, che è un argomento curricolare solo nel triennio degli Istituti Tecnici di indirizzo Chimico. Le misure di assorbimento sono realizzabili con la strumentazione specifica, che è in dotazione solo in questi tipi di Istituti, ma la possibilità di realizzare colorimetri o spettrofotometri home-made, con smartphone e applicazioni gratuite per leggere i valori dei canali RGB, rendono questo tipo di misure accessibili anche in altri tipi di scuole secondarie di secondo grado, come è stato verificato del resto in alcune scuole che hanno partecipato alla sperimentazione (si vedano in particolare i punti 7, 8, 9 e 10). Ciò nondimeno la costruzione di strumenti home-made permette agli studenti degli Istituti ad indirizzo Chimico di comprendere meglio il funzionamento di un vero spettrofotometro: lo schema di base della strumentazione spettrofotometrica, l'allineamento corretto delle componenti ottiche e i problemi di saturazione del sensore. Inoltre, la scelta dei valori RGB da leggere supporta ulteriormente gli aspetti qualitativi dell'assorbimento. D'altra parte, le analisi spettrofotometriche sono applicate a vari campi delle Scienze, quali ad esempio misure di parametri biologici e analisi ambientali, come riportato in alcuni percorsi commentati in questo lavoro, che hanno dimostrato la concreta possibilità di eseguire questi tipi di esperimenti anche nei Licei. Soffermandoci sempre su questa parte del diagramma di figura 12, nell'introdurre la legge di Lambert-Beer è molto importante passare attraverso la grandezza intensità della luce, ovvero della grandezza chiamata trasmittanza, che pur non essendo la grandezza riportata generalmente dagli spettrofotometri da banco, che restituiscono direttamente i valori di assorbanza, risulta di più immediata comprensione da parte dei ragazzi. L'assorbanza, infatti, che può essere derivata dalla trasmittanza attraverso la funzione matematica del logaritmo, è funzionale allo scopo primario dell'analisi spettrofotometrica analitica, in quanto permette di avere una relazione lineare con la concentrazione e il cammino ottico. L'utilizzo dello smar-

phone negli spettroscopi home-made permette di "scomporre" in due passaggi la misura spettrofotometrica, misura dell'intensità della luce passante mediante i canali RGB, punto 7, e calcolo successivo dell'assorbanza, punto 8. Dall'altra parte, come indicato nel punto 12, un semplice esperimento di osservazione "con gli occhi" dell'intensità della colorazione di soluzioni contenute in bicchieri-becher illuminati dal fondo a diverse concentrazioni e altezze di riempimento può costituire un'interessante esperienza da realizzare anche a casa, nonostante occorra tener conto dei limiti di questa esperienza se si volesse passare da una esperienza qualitativa ad una quantitativa. Infine, come commentato per alcuni percorsi presentati in questa relazione, la costruzione di rette di taratura sia con i valori di assorbanza ricavati dai valori RGB, punto 9, sia di tipo visuale, punto 13, aiuta a consolidare la procedura e il significato di questo metodo di calcolo per interpolazione. Inoltre, la possibilità di eseguire le analisi spettrofotometriche in contesti vicini alle realtà culturali e geografiche degli studenti e trasformarle in compiti di realtà offre una notevole motivazione verso lo studio di questa branca della Chimica Analitica.

4. Conclusioni

L'analisi critica dei percorsi sviluppati e realizzati dai docenti che hanno partecipato al gruppo di lavoro sulla spettroscopia nell'edizione 2020 della Scuola "Giuseppe Del Re" ha dato risultati molto interessanti e da un certo punto di vista sorprendenti, per i numerosi punti di vista con cui l'argomento è stato spontaneamente trattato e sviluppato con le classi di molte scuole secondarie di secondo grado. Da tutto il materiale condiviso dai docenti, che qui è stato riportato solo in minima parte, è emerso che l'approccio alla spettrometria è risultato molto coinvolgente sia per i docenti che per gli studenti e che la spettroscopia può essere potenzialmente utilizzata come strumento concettuale per lo studio della materia, al di là delle applicazioni analitiche che generalmente vengono proposte a livello di Istituti Tecnici. La complessità e le numerose sfaccettature con cui può essere affrontato il tema dell'interazione luce-materia, le proprietà di emissione e assorbimento della luce da parte delle sostanze chimiche, ci portano a concludere che questo "**percorso dei percorsi**" possa essere utile a tutti gli insegnanti delle scuole secondarie di secondo grado per trarre alcuni spunti ed eventualmente utilizzare uno o più percorsi didattici, che meglio si adattano al livello scolastico nel quale si trovano ad insegnare.

Ringraziamenti

Si ringraziano tutti i docenti che hanno partecipato alla Scuola “Del Re” per aver messo a disposizione il proprio materiale didattico ai fini della ricerca e per aver autorizzato la pubblicazione di parte del materiale stesso. ■

Riferimenti

- [1] Riferimento normativo: Articolo 64, comma 4, del Decreto-Legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito dalla Legge 6 agosto 2008, n.133.
- [2] Regolamento dell'autonomia (DPR n. 275/1999 e della riforma costituzionale (Legge n. 3/2001).
- [3] M. L. Kovarik, J. R. Clapis, K. A. Romano-Pringle, *J. Chem. Educ.* 2020, **97**, 2185-2195.
- [4] Sito di #DADSPECTROSCOPY: <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/>
- [5] S. Jurinovich, V. Domenici, *La Chimica nella Scuola (CnS)*, 2021, **2**, 34-35.
- [6] A. H. Johnstone, *J. Chem. Educ.* 1993, **70**, 701-704.
- [7] P. Mahaffy, *J. Chem. Educ.* 2006, **83**, 49-55.
- [8] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/realizzare-uno-spettro-di-assorbimento>
- [9] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/gli-spettri-atomici-codici-a-barre-di-riconoscimento>
- [10] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/oltre-la-luce>
- [11] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/quantit-di-luce-e-quantit-di-metalli>
- [12] V. Domenici, L. Sentieri, G. Silvi, A. Lenzi, *La Chimica nella Scuola (CnS)*, 2018, **3**, 53-71.
- [13] V. Domenici, in ‘Insegnare e Apprendere Chimica’, 1^a Ed., Mondadori, 2018, Sezione F, pp. 299-317.
- [14] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/interazione-luce-materia>
- [15] https://play.google.com/store/apps/details?id=com.tsang.alan.lightmeter&hl=en_US&gl=US
- [16] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/il-consumo-di-alcol-ladole-scienza-e-il-lockdown>
- [17] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/quanto-il-vino-%C3%A8-annacquato>
- [18] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vi-stechprojects.colormeterfree&hl=it&gl=US>
- [19] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/proviamo-a-costruire-uno-spettofotometro>
- [20] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/analisi-chimica-attraverso-la-luce>
- [21] <https://www.youtube.com/watch?v=-tAESYpNTqQ>
- [22] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/acquario-marino-tra-chimica-fisica-e-biologia>
- [23] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/monitoraggio-ambientale-con-la-spettofotometria>
- [24] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/analisi-delloro-verde-della-valle-del-bel-%C3%ACce>
- [25] <https://sites.google.com/cattaneodigitale.it/spettroscopia/percorsi-didattici/determinazione-della-caffaina-nel-te>