



Società Chimica Italiana

## **La Chimica nella Scuola**





## Indice

- 5 Editoriale  
L'Europa "vieta" i pesticidi che uccidono le api:  
successo della "Scienza"  
*Pasquale Fetto*
- 9 Dalla Copertina  
John Walker  
*Pasquale Fetto*
- 13 Sulle spalle dei giganti: genio e creatività nel problem solving  
*Liberato Cardellini*
- 53 "Fare Chimica con la Luce": attività didattiche di introduzione  
alla spettroscopia  
*Giada Silvi, Leonardo Sentieri, Alessandro Lenzi,  
Valentina Domenici*
- 73 Formazione di complessi di inclusione della  $\beta$ -ciclodestrina.  
Una dimostrazione colorimetrica  
*Marco Russo, Paolo Lo Meo, Michele A. Floriano*
- 85 Federchimica per la scuola
- *Le imprese di biotecnologie in Italia – Facts&Figures*
  - *Responsible Care*
  - *Se lo ami, lo curi – Federchimica*



### L'Europa “vieta” i pesticidi che uccidono le api successo della “Scienza”

*L'equilibrio è stato alla base del rapporto tra essere umano e ape. Un rapporto affascinante e fragile instauratosi nel corso dei millenni. Non si comprende come l'uomo possa distruggere irrimediabilmente questo rapporto.*

#### Dalla Commissione europea

Il 27 aprile 2018, dopo oltre 20 anni dalla loro autorizzazione, i paesi membri della UE, tra cui l'Italia, hanno deciso, a maggioranza, di **vietare l'utilizzo dei neonicotinoidi**, sostanze tra le più nocive per gli insetti impollinatori.

La Commissione Europea, nella sua proposta, aveva chiesto di vietare l'uso di *clothianidin*, *imidacloprid* e *thiamethoxam* tre pesticidi appartenenti alla classe dei neonicotinoidi, proprio perché nocivi per le api.

I **neonicotinoidi potranno essere utilizzati esclusivamente nelle serre e vietati in campi aperti**.

Una vicenda alquanto controversa, ricca di equivoci e di contraddizioni, continua a tener vivo il dibattito sulla tossicità o meno dei neonicotinoidi ed in particolare dei tre pesticidi *vietati* che sono la causa della moria delle api.

Lo scontro dialettico e non solo continua anche dopo il definitivo divieto sul loro utilizzo sancito dalla Commissione europea.

Al plauso di molti entomologi, che attendevano la decisione sulla messa al bando, si contrappongono le dichiarazioni, emblematiche e surreali, delle industrie che affermano come **il danno alle api sia minimo in confronto ad altri problemi**.

Dave Goulson (1965), biologo presso l'Università del Sussex (UK), dichiara: «*mettere al bando alcuni insetticidi potrebbe voler dire usarne altri, che possono avere effetti altrettanto nocivi. La vera soluzione sarebbe un'agricoltura veramente sostenibile, che minimizzi l'uso dei pesticidi*».

### **Esito delle votazioni**

Il 76,1% della popolazione della UE, rappresentato dai seguenti Paesi (*Italia, Francia, Germania, Spagna, Regno Unito, Paesi Bassi, Austria, Svezia, Grecia, Portogallo, Irlanda, Slovenia, Estonia, Cipro, Lussemburgo, Malta*) **ha votato a favore del divieto.**

**Contrari al divieto** si sono espressi (*Romania, Repubblica Ceca, Ungheria e Danimarca*).

**Si sono astenute** (*Polonia, Belgio, Slovacchia, Finlandia, Bulgaria, Croazia, Lettonia e Lituania*).

Gli insetticidi neonicotinoidi sono stati identificati e sospettati come uno dei fattori responsabili del declino degli impollinatori a livello mondiale. Uno studio pubblicato su *Science* ha analizzato l'esposizione globale delle api ai neonicotinoidi tramite l'analisi di campioni di miele provenienti da tutto il mondo. I risultati hanno confermato l'esposizione delle api ai neonicotinoidi attraverso il loro cibo principale (il cibo *fresco* delle api è costituito da nettare e polline). La presenza contemporanea di più molecole di insetticidi può incrementarne gli effetti negativi.

L'**esposizione continua** delle api, anche a basse dosi di queste sostanze, ne riduce sia le capacità di ricerca del cibo sia le normali attività riproduttive delle colonie.

I neonicotinoidi agiscono a livello del sistema nervoso degli insetti. Dopo l'assorbimento da parte degli insetti, questi, per il particolare meccanismo d'azione della sostanza attiva, subiscono l'alterazione della trasmissione degli impulsi nervosi a livello dei recettori nicotinici, compiono movimenti scoordinati, manifestano tremori, paralisi ed infine muoiono.

Tra il 2005 e il 2008, a distanza di dieci anni dalla inconsulta autorizzazione all'utilizzo dei *neonicotinoidi*, si verificò un fenomeno che creò un certo allarme che spinse molti ricercatori a intraprendere vari studi per comprenderne le cause scatenanti.

Questo fenomeno fu chiamato *Colony Collapse Disorder (CCD)* o *Sindrome da Spopolamento degli Alveari (SSA)*. Questa sindrome, di cui sono noti i sintomi, non ha un'unica origine e sulle cause vi sono ancora varie ipotesi di cui la più accreditata coinvolge l'utilizzo in agricoltura di *agrofarmaci* come i neonicotinoidi.

I neonicotinoidi agiscono a livello del sistema nervoso degli insetti. Dopo l'assorbimento da parte degli insetti, questi, per il particolare meccanismo d'azione della sostanza attiva, subiscono l'alterazione

della trasmissione degli impulsi nervosi a livello dei recettori nicotinici, compiono movimenti scoordinati, manifestano tremori, paralisi ed infine muoiono.

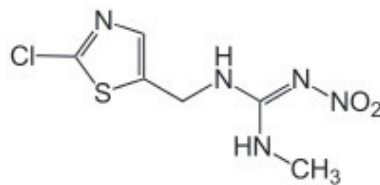
Nel 2006 a San Francisco fu fondata la **National Pollinator Week** che ha contribuito a sensibilizzare l'opinione pubblica sui problemi associati all'uso di insetticidi, alla distruzione dell'habitat e ai fattori che portano alla diminuzione delle popolazioni di insetti impollinatori.

Ciò che lascia dubbiosi è la relativa facilità con cui si ottengono le autorizzazioni all'utilizzo degli insetticidi in agricoltura. Accade di norma che durante lo sviluppo dei fitofarmaci le industrie chiedono le autorizzazioni provvisorie, ottenendole a condizione che completino gli studi sulla sicurezza. Un esempio è dato dalla clothianidina.

La *clothianidina* fu sviluppata come un'alternativa ai pesticidi organofosfati, carbammati e piretroidi. Rappresentava rischi più bassi per i mammiferi, incluso l'uomo, rispetto agli organofosfati e ai carbammati.

Nel 2003 fu concessa l'autorizzazione all'uso a condizione che fossero stati completati gli studi sulla sicurezza entro il 2004. La Bayer, non completò lo studio entro i tempi stabiliti, chiese quindi una proroga che le fu concessa posticipandola a maggio 2005; inoltre fu concesso alla Bayer il permesso di condurre il suo studio sulla colza in Canada, anziché sul mais negli Stati Uniti.

Nel 2007 lo studio non fu completato. Stranamente in una memoria del novembre 2007, gli scienziati dell'Environmental Protection Agency (EPA) dichiararono che lo studio era "scientificamente valido", aggiungendo, inoltre, che lo studio "soddisfa i requisiti delle linee guida per un test di tossicità sul campo riferito alle api da miele.



Formola di struttura della *Clothianidina*





Dalla Copertina

a cura di Pasquale Fetto  
(pasquale.fetto@didichim.org)

## John Walker

29 maggio 1781  
Stockton  
1 maggio 1859  
Stockton

di  
Pasquale Fetto



*John Walker*

### Le luci d'attrito

*La semplicità del fiammifero è solo apparente in realtà siamo di fronte ad un sistema complesso, che utilizza come processo primario una trasformazione energetica di tipo adiabatico che avvia una serie di accensioni a temperature via via più elevate.*

Le **scoperte** e le **invenzioni casuali** hanno inciso in buona percentuale sul totale delle scoperte di grande interesse ed utilità per l'umanità.

Le scoperte scientifiche avvenute accidentalmente o per un caso fortuito o ancora per episodi negativi, hanno influenzato lo sviluppo del nostro mondo nella misura in cui l'uomo ha riconosciuto l'utilità di ciò che di inaspettato gli si è mostrato. In verità non sempre le scoperte hanno avuto immediata risonanza a livello scientifico. Spesso sono stati altri ricercatori a comprendere e utilizzare, a distanza di anni, le potenzialità delle scoperte e delle invenzioni dei loro colleghi.

Prima della invenzione dei fiammiferi dobbiamo ricordare che, intorno al 1680, Robert Boyle utilizzando fosforo e zolfo aveva tentato, senza successo, di realizzare un prodotto da cui trarre qualche utilità pratica.

**John Walker**, farmacista inglese, nacque il 29 maggio 1781 a Stockton-on-Tees, città dell'Inghilterra nord-orientale. Suo padre John Walker sposò

nel 1766 Mary Peacock dalla quale ebbe sei figli quattro maschi (James, Thomas, John, Jane) e due femmine (Jane e Mary). Il padre era titolare di un negozio di generi alimentari e commerciante di vini e liquori.

John era il terzo dei quattro ragazzi. Della sua gioventù si sa poco, secondo alcuni storici aveva una buona istruzione avendo frequentato il liceo della sua città natale. Come era in uso nella maggior parte dei paesi europei coloro che provenivano da famiglie *povere*, anche se non era il caso di John Walker, trovavano nell'apprendistato presso un laboratorio farmaceutico un mezzo per guadagnarsi presto da vivere. All'età di 15 anni John fece la sua prima esperienza di lavoro come apprendista presso Watson Alcock, chirurgo e medico nella città di Stockton. Per completare la sua istruzione nel campo medico andò a Londra; al suo ritorno divenne assistente del dottor Alcock presso lo studio chirurgico in cui aveva lavorato in precedenza. La sua permanenza presso lo studio chirurgico durò poco avendo scoperto che non riusciva ad abituarsi alla vista del sangue e delle operazioni chirurgiche.

Successivamente si recò a York e Durham per acquisire pratica presso i droghieri all'ingrosso.

Nel 1819 John aprì un negozio di prodotti farmaceutici e chimici a Stockton. I suoi interessi spaziavano in vari campi tanto da essere molto conosciuto e soprannominato "**l'enciclopedia di Stockton**".

John era particolarmente attratto dalla chimica per la quale aveva una grande passione.

Veniamo ora alla sua, quanto mai sensazionale e casuale, scoperta.

In vero gli *zolfanelli* di legno o cartone da intingere nello zolfo e sfegare per l'accensione erano già in uso all'inizio dell'Ottocento ma risultavano rudimentali e pericolosi.

Nel 1826 a John Walker fu accreditata, in Inghilterra, l'invenzione del fiammifero. L'invenzione fu salutata da Herbert Spencer (uno dei più importanti filosofi sostenitori dell'evoluzionismo 1820 - 1903) come il più grande dono dato all'umanità nel XIX secolo.

Come solitamente accade il resoconto dell'episodio che portò alla scoperta, pur avendo lo stesso scopo finale, rispecchia il racconto fantasioso dei cronisti che spesso differisce nelle circostanze dell'accadimento.

John Walker, mentre stava mescolando sostanze chimiche quali solfuro di antimonio, clorato di potassio, amido e gomma, si accorse che una piccola goccia del composto a cui stava lavorando, caduta su un bastoncino di legno, si era seccata e indurita. Sfregando il legnetto sul pavimento per pulirlo generò una fiamma!

Altri sostengono che John mentre puliva un bastone ricoperto di sostanze chimiche, provocò accidentalmente uno scoppio e generò una fiamma nel focolare della casa in cui viveva con la madre e le due sorelle.

Questa scoperta accidentale portò alla sua idea di un nuovo tipo di fiammifero che si accendeva quando veniva *tirato* tra due fogli di carta vetrata; nacque il *fiammifero a sfregamento*.

John sviluppò l'idea e, il 7 aprile 1827, iniziò a vendere nella sua farmacia il prodotto che chiamò "**Luci di attrito**".

Il prezzo per cento partite era di uno scellino, con ulteriori due pence si acquistava una lattina per immagazzinarli. Tra l'aprile del 1827 e il settembre del 1829 furono vendute 23.000 "**Luci di attrito**" la maggior parte delle quali localmente.

Ogni *luce d'attrito* era stata ricavata da una sottile stecca di legno da 3" (7,62 cm), la stecca di legno era fatta da persone anziane che vivevano nei vicini ospizi, la testa di ogni *luce* era costituita da solfuro di antimonio  $Sb_2S_3$  e clorato di potassio  $KClO_3$  mescolato con gomma arabica e acqua. Ogni stecca era immersa nella miscela personalmente da John Walker.

Il professor Michael Faraday venuto a conoscenza dell'esistenza delle *luci di attrito* decise di incontrare John Walker. Durante il colloquio gli suggerì di brevettare la sua invenzione. John rifiutò il suggerimento con la motivazione: "... sono un guaritore del malato piuttosto che un inventore." Faraday riferì dell'invenzione nel Royal Institutions Quarterly Journal, 1829.

Nel 1829 un industriale di Londra, Samuel Jones, vide o sentì parlare delle **Friction Lights** (altro nome con cui erano chiamate le *luci d'attrito*) e ne iniziò la produzione di copie vendute sotto il nome di **Lucifer Match**.

John Walker odiava il nome "*Lucifers*" e si rifiutò di venderli nel suo negozio. Qualche tempo dopo smise di vendere ogni tipo di partite.

John Walker, uomo molto amato e rispettato, nel 1858 lasciò la sua attività commerciale e morì il 1° maggio 1859 nella sua città natale.

La diffusione dei fiammiferi sostituì progressivamente l'utilizzo degli antichi metodi di accensione.

La storia dei fiammiferi cominciata con la loro invenzione nel 1827 finisce nel 1994 con la chiusura dell'ultima grande fabbrica inglese di fiammiferi, la Bryant & May di Liverpool.

Esempi sono stati prodotti presso Fairfield Works, Bow, Londra. Dalla collezione Bryant e May di fuochi d'artificio al Science Museum di Londra.

## Nota

Una **partita** consiste di tre parti fondamentali: una *testa*, che avvia la combustione; una sostanza di *esca* per raccogliere e trasmettere la fiamma; una *maniglia*.

Oltre all'agente di accensione fosforico, tre altri principali gruppi di sostanze chimiche si trovano nella partita:

1. **agenti ossidanti**, come il clorato di potassio, che fornisce ossigeno all'agente di accensione e agli altri **materiali combustibili**;

2. **leganti**, come colla animale, amidi e gomme e sintetici, che legano gli ingredienti e si ossidano durante la combustione; anche i leganti post-combustione, come il vetro smerigliato, che fondono e tengono insieme le ceneri, devono essere utilizzati;

3. **materiali inerti**, come la farina fossile, che forniscono la massa e regolano la velocità di reazione. La testa contiene tutte le sostanze chimiche necessarie per ottenere l'accensione dal calore di attrito, la sostanza comunemente usata per ottenere la combustione alla temperatura del calore di attrito è un composto di fosforo. Questa sostanza si trova nella testa in qualsiasi partita e nella superficie d'attacco delle partite di sicurezza.



Figura 1. Historic Buildings of Bow



Figura 2. Iscrizione sullo storico palazzo (Figura 1) in cui Bryant e May hanno prodotto le partite dal 1861 al 1979.

### Lecture consigliate e sitografia

◆ Nicoletta Nicolini, *“Il pane attossicato. Storia dell’industria dei fiammiferi in Italia”*, (1997)

◆ L’avventurosa storia dei fiammiferi di Giorgio Nebbia.

[http://www.musilbrescia.it/minisiti/la\\_chimica\\_in\\_italia/contenuti/racconti\\_di\\_chimica\\_in\\_Italia\\_e\\_nel\\_mondo/11.L-avventurosa\\_storia\\_dei\\_fiammiferi\\_Nebbia.pdf](http://www.musilbrescia.it/minisiti/la_chimica_in_italia/contenuti/racconti_di_chimica_in_Italia_e_nel_mondo/11.L-avventurosa_storia_dei_fiammiferi_Nebbia.pdf)

◆ Chimica e società: i fiammiferi italiani di Giorgio Nebbia.

<https://ilblogdellasci.wordpress.com/tag/fiammiferi/>

◆ <https://www.britannica.com/science/match-tinder#ref237282>

◆ <http://www.chimica-online.it/composti/clorato-di-potassio.htm>

◆ <http://www.historyofmatches.com/matches-inventors/john-walker/>

◆ <https://www.londonremembers.com/memorials/fairfield-works>

# **Sulle spalle dei giganti: genio e creatività nel problem solving**

**Liberato Cardellini**

Università Politecnica delle Marche, Ancona  
l.cardellini@univpm.it

## **Riassunto**

*Alcuni studenti hanno abilità e capacità non comuni e per questo un desiderio di confrontarsi con sfide adeguate. Tra questi è possibile trovare i così detti studenti gifted, ovvero coloro che hanno idee creative e a volte geniali. Il requisito minimo di un ambiente scolastico accettabile dovrebbe essere quello di non scoraggiare questi studenti. Insegnanti desiderosi di avere un impatto nell'insegnamento dovrebbero trovare il modo di nutrire questi sprazzi di creatività facendo sperimentare alla classe un ambiente didattico positivo e trovando le maniere di valorizzare queste competenze. L'utilizzo accorto del metodo dell'apprendimento cooperativo, dell'uso delle mappe concettuali e dell'idea del ragionamento visibile possono dare luogo ad un ambiente scolastico che facilita l'apprendimento significativo e che motiva gli studenti a dare il meglio. La figura centrale per raggiungere risultati scolastici importanti risulta essere l'insegnante professionalmente preparato che ha a cuore la crescita cognitive dei suoi studenti.*

## **Abstract**

*Some students have uncommon skills and abilities and – as a consequence – a desire to face with appropriate challenges. Among them there are the so-called gifted students, namely those who have creative and sometimes brilliant ideas. Teachers wishing to have an impact on teaching should find ways to reward these flashes of creativity by making the classroom experience a positive learning environment and finding ways to support and enhance such skills. A careful use of the cooperative learning method, the use of concept maps and the idea of visible reasoning can result in creating a school environment that facilitates meaningful learning and motivates students to work at their best. The central figure to achieve remarkable school results is a professionally experienced teacher who cares about the cognitive growth of his/her students.*

## **Introduzione**

Poter comprendere come la mente umana affronta e risolve i problemi è un argomento che affascina e riscuote grande interesse per gli studiosi della

cognizione e le attività mentali coinvolte in questi processi sono considerate al vertice dell'uso efficace del ragionamento. "In understanding procedural knowledge we start with problem solving because it seems that all cognitive activities are fundamentally problem solving in nature. ... human cognition is always purposeful, direct to achieving goals, and to removing obstacles to those goals." (Anderson, 1995, p. 237)

Molti studi hanno cercato di identificare le differenze che esistono nella soluzione di problemi di fisica tra un esperto ed un novizio. La differenza più ovvia è che l'esperto risolve i problemi in meno di un quarto del tempo necessario ad un novizio e con meno errori. (Simon, Simon, 1978; Larkin, McDermott, Simon, Simon, 1980) Una seconda differenza è che il novizio lavora all'indietro (working backward), dall'incognita verso i dati, mentre l'esperto ragiona dai dati verso l'incognita. Questa differente direzione dell'inferenza è stata successivamente messa in dubbio (Priest, Lindsay, 1992); lo studente inesperto tende a risolvere i problemi in una sequenza lineare di operazioni elementari, mentre l'esperto usa nell'analisi un approccio per progressivi raffinamenti (conoscenza organizzata in modo gerarchico). (Reif, 1981)

Ma la differenza più importante è che gli esperti rispetto ai novizi spendono relativamente molto tempo nell'analisi qualitativa del problema. "expert typically try to "understand" a problem, whereas novices plunge immediately into attempting to apply equations and to solve for an unknown." (Chi, Glaser, 1988, p. xix) Nella soluzione del problema, c'è un primo stadio dove si cerca di comprendere il testo: "this is a holistic or gestalt stage where relevant information is "disembedded" from the problem, and the elements of the problem are juggled more or less simultaneously until the problem is "restructured" or transformed into a problem that the student understands (i.e., a problem for which the student recognizes the initial and goal states)." (Bodner, McMillen 1986, p. 730)

In cosa consiste l'analisi qualitativa di un problema? Fondamentalmente si costruisce una rappresentazione mentale utilizzando anche schemi conosciuti e più volte usati, inferendo relazioni che aiutano a definire e a formalizzare la situazione e stabilendo restrizioni e vincoli. "A *problem representation* is a cognitive structure corresponding to a problem, constructed by a solver on the basis of his domain-related knowledge and its organization." (Chi, Feltovich, Glaser, 1981, pp. 121-122) Una corretta rappresentazione è fondamentale per sperare in una corretta soluzione del problema ed è supportata da una profonda familiarità con le conoscenze teoriche e con gli schemi mentali appropriati. In questo processo giocano un ruolo importante la strutturazione della conoscenza e le differenze qualitative nell'uso delle abilità che risultano più difficili da definire. Per i problemi di fisica viene invocata la "physical intuition", interpretata in que-

sto modo “When a physical situation is described in words, a person may construct a perspicuous representation of that situation in memory. By a perspicuous representation, we mean one that represent explicitly the main direct connections, especially causal connections, of the components of the situation.” (Simon, Simon, 1978, p. 337)

Risulta che le strutture della conoscenza si possono studiare con metodi empirici e per via indiretta. Shavelson (1972; 1974) ha delineato tre metodi per investigare la struttura cognitiva (cognitive structure) in un certo ambito, ad esempio la conoscenza dei concetti chimici o dei concetti della fisica. Il metodo più usato è risultato il ‘word association test’. In questo contesto, per struttura si intende la conoscenza contenuta nel programma scolastico o nella comunicazione tra un insegnante e gli studenti. ““Cognitive structure” is a hypothetical construct referring to the organization (relationships) of concepts in memory.” (Shavelson, 1974, p. 232)

Risulta che le strutture cognitive (associazioni di parole) degli studenti vengono cambiate in modo significativo durante il corso e “key concepts in Newtonian mechanics were interrelated more closely at the end of instruction than at the beginning.” (Shavelson, 1972, p. 233) Thro (1978) ha trovato risultati simili: con l’aumentare della conoscenza le strutture cognitive dei novizi sono diventate simili a quelle dell’insegnante.

### **Intelligenza e risoluzione significativa dei problemi**

Problem solving e critical thinking sono abilità importanti e le acquisizioni significative in questi ambiti sono risultati desiderabili dell’insegnamento. L’abilità a risolvere problemi in modo originale è considerata ai vertici della struttura dei processi cognitivi. “Putting elements together to form a novel, coherent whole or make an original product.” (Krathwohl, 2002, p. 215) Secondo Jonassen (2011, pp. xvii-xviii) “... problem solving is the most authentic and therefore the most relevant learning activity that students can engage in. ... research has shown that knowledge constructed in the context of solving problems is better comprehended, retained, and therefore more transferable. ... problem solving requires intentional learning. ... Therefore, the primary purpose of education should be to engage and support learning to solve problems.” In un simposio pubblicato nel 1921 dal Journal of Educational Psychology 14 esperti hanno risposto a cosa si intende per intelligenza: il 57% ha scelto l’attributo importanti processi cognitivi (ragionamento, problem solving). Nel 1986 Sternberg e Detterman hanno posto la stessa domanda a 24 tra i maggiori psicologi. Il 50% di essi ha scelto lo stesso attributo. (Riportato in Mayer, 1992, p. 327).

Queste affermazioni evidenziano la connessione tra l’abilità nel problem solving e ciò che si intende con intelligenza. In letteratura non mancano le

definizioni di intelligenza. “Intelligence comprises the mental abilities necessary for adaptation to, as well as shaping and selection of, any environmental context.” (Sternberg, 1997, p. 1030) Ancora, “intelligence is defined as one’s ability to achieve success in life in terms of one’s personal standards, within one’s socio-cultural context.” (Sternberg, Grigorenko, 2004, p. 1428) “*One’s ability to achieve success depends on one’s capitalizing on one’s strengths and correcting or compensating for one’s weaknesses.*” (Sternberg, 2003, p. 141) In un contesto educativo, “Taking an educational perspective, let’s define academic intelligence as the ability to learn (e.g., performing a cognitive task) and let’s define academic achievement as what is learned (e.g., specific knowledge).” (Mayer, 2011, p. 740) Inoltre, “there is a reciprocal relation between intelligence and achievement, particularly within academic domains.” (Mayer, 2011, p. 744) L’intelligenza si manifesta attraverso un insieme di numerose abilità cognitive; altre definizioni e un elenco di abilità connesse con ciò che si intende per intelligenza si possono trovare in letteratura. (Nickerson, Perkins, Smith, 1985, Ch. 2).

Ma cosa si intende per problema, qualunque sia la sua natura?

È stata fatta una importante distinzione tra un esercizio e un problema: “A person is confronted with a *problem* when he wants something and does not know immediately what series of actions he can perform to get it.” (Newell, Simon 1972, p. 72) John Hayes nel suo volume sul problem solving propone una definizione molto simile: “Whenever there is a gap between where you are now and where you want to be, and you don’t know how to find a way to cross the gap, you have a problem.” (Hayes, 1989, p. xii) Un’altra definizione: “a problem exists when there is a goal to be achieved but the means of attaining the goal are not clear or one’s initial attempt fails to attain the desired goal.” (Dominowski, Dallob, 1995, p. 33) Questa definizione introduce un aspetto che rende poco piacevole la soluzione dei problemi, ovvero la possibilità di fallire. Inoltre, lo scopo dell’impegno deve avere un valore socialmente riconosciuto, magari soltanto dall’insegnante. “There are at least two critical attributes in my definition of a problem. First, a problem is an unknown entity in some context (the difference between a goal state and a current state). Second, finding or solving for the unknown must have some social, cultural, or intellectual value.” (Jonassen, 2004, p. 3).

Il ‘problema’ implica uno sforzo mentale autonomo, un impegno cognitivo, un coinvolgimento attivo da parte del solutore. Questo avviene indipendentemente dalla natura del problema, sia esso un problema di matematica, una versione di latino, un problema di logica o il preparare un pranzo, usando ciò che si trova nel frigo. Se lo sforzo mentale autonomo è minimo, ovvero consiste nell’applicare formule o in generale procedure e schemi già noti, i ‘problemi’ vengono con maggiore precisione considerati



esercizi. “In chemistry, we are already doing a fairly good job of teaching students to work exercises. We introduce them to certain classes of problems, such as the empirical formula calculations described earlier. We then lead them through enough similar questions until successful ones build an algorithm for doing these calculations. As a result of this instruction, we have produced good exercise solvers. We are much less successful, however, at teaching them to be good problem solvers.” (Bodner, 1991, pp. 27-28).

Un insegnante efficace calibra la difficoltà del compito e dei concetti da apprendere sulle abilità dei propri studenti. Questa lodevole propensione incontra però delle difficoltà quando si mette in pratica. Ricerche condotte sui contenuti dei programmi di scienze hanno evidenziato come in certe età la lunghezza della catena del ragionamento necessaria per spiegare concetti e fenomeni complessi sia superiore alla capacità della memoria di lavoro e questo non permetta di comprendere appieno il senso della frase. (Johnstone, Hogg, MacGuire, Raja, 1997) Infatti, “Science education research has battled for many decades in seeking solutions to the problems of learner difficulty which seem inherent in much of physics and chemistry as well as some areas of biology ... [There is] abundant evidence that one key factor causing the learner difficulties lies in the limitations of working memory capacity.” (Reid, 2009, p. 245) Inoltre, “Another important factor in problem solving ... is the availability of background knowledge of the domain of the problem, and knowledge of problem solving heuristic or algorithms. ... expertise in an area can enhance the efficiency with which a limited mental processing and temporary storage resource can function.” (Niaz, Logie, 1993, p. 520).

È anche difficile determinare la difficoltà del compito nel caso dei problemi di stechiometria. Ad esempio, è stato studiato il numero di step mentali per risolvere il problema: “Quale volume di acido cloridrico molare sarebbe esattamente neutralizzato da dieci grammi di carbonato di calcio?” (Johnstone, El-Banna, 1986; 1989). La catena del ragionamento necessaria ad uno studente per risolvere il problema consiste in 9 step, mentre un insegnante potrebbe risolvere lo stesso problema in quattro step, per via dei meccanismi di chunking che la maggior conoscenza della chimica permette di attivare.

Oltre a fattori oggettivi, come il numero di step, la difficoltà di un problema dipende da fattori soggettivi e uno stesso problema non necessariamente presenta la stessa difficoltà per tutti gli studenti, in quanto tra essi esistono delle differenze individuali. (Ronning, McCurdy, Ballinger, 1984). Certamente c'è del vero in quanto è stato affermato: “Status as a problem is not an innate characteristic of a question, it is a subtle interaction between the question and the individual trying to answer the question.” (Bodner, 1987, p. 513). Il ragionamento e i processi cognitivi avvengono

nella memoria di lavoro, che ha una capacità fissa di 4-7 unità, detti chunk. (Miller, 1956; Simon, 1974; Baddeley, 1994; Cowan, 2010) Differenti studiosi trovano differenti valori nel limite della memoria di lavoro e la variazione dipende dalla difficoltà di misurarla. (Engle, Kane, Tuholski, 1999; Baddeley, 2003) L'esercizio continuato e la pratica intenzionale permettono processi efficaci di chunking. (Ericsson, Chase, Faloan, 1980; Ericsson, Krampe, Tesch-Romer, 1993; Ericsson, 2006).

Il processo di chunking è connesso con il meccanismo di conoscenza compilata, proposto da John Anderson nella teoria ACT (Adaptive Control of Thought). "The ACT learning mechanisms of knowledge compilation, consisting of composition and proceduralization ... Composition operates by collapsing multiple productions into a single production that has the effect of the set. Proceduralization operates by building into productions information that previously had to be retrieved from long-term memory. ... In the general framework a learner is viewed as beginning with declarative information relevant to the execution of a skill. ... This information is stored in declarative form—that is, as facts about the domain. For this knowledge to be used, general interpretive procedures must be applied to it. Two types of interpretive procedures commonly observed in human subjects are general problem-solving procedures and general analogy procedures. Knowledge compilation operates on the traces of such procedures, creating more efficient procedures that are specific to the task domain." (Anderson, 1986, pp. 289-290).

### **Insegnare abilità cognitive**

Le ricerche sul problem solving e sulla cognizione hanno permesso di comprendere come le abilità cognitive si possano accrescere. L'intelligenza può essere concepita come lo sviluppo delle competenze e secondo Robert Sternberg può essere vista come avente tre componenti: analitica creativa e pratica. "Critical (analytical) thinking skills include analyzing, critiquing, judging, evaluating, comparing and contrasting, and assessing. Creative thinking skills include creating, discovering, inventing, imagining, supposing, and hypothesizing. Practical thinking skills include applying, using, utilizing, and practicing." (Sternberg, 1999, p. 363) Tutto questo si potrebbe riassumere nella capacità di saper ragionare e nell'abile uso della mente, infatti, "It is difficult to imagine a more important educational objective than the teaching and learning of how to think more effectively than we typically do." (Nickerson, Perkins, Smith, 1985, p. 323).

Sono stati proposti numerosi programmi e progetti con lo scopo di accrescere queste abilità cognitive. Tra questi progetti ricordiamo *The teaching of thinking*, finanziato dal National Institute of Education e da Petróleos de Venezuela, con l'ambizioso obiettivo di migliorare le abilità

della popolazione. Vengono indicati gli ingredienti per il successo, smorzando però gli eccessi di entusiasmo. Gli Autori affermano: “If you want your students to be better thinkers, do a, b, c. ... We are not able to do that. Nor, in our view, is anyone else. However, examination of programs and reflection on what it means to be able to think well have left us with several impressions, which we describe in the following.” (Nickerson, Perkins, Smith, 1985, p. 326) Viene fatto un elenco di 9 fattori; tra gli ingredienti importanti troviamo l’insegnante, l’ambiente favorevole e la creatività. (Nickerson, Perkins, Smith, 1985, pp. 326-340) Alex Johnstone si chiede: “Can problem solving be taught?” La risposta: “We **can** teach techniques that will help to organise the problem solving process. We **can** help students to store and organise their knowledge in such a way as to facilitate problem solving. We **cannot** teach insight, which is the ultimate key to real problem solving.” (Johnstone, 2001, p. 72).

In un ambiente favorevole all’apprendimento gli studenti hanno successo. Il successo che fa crescere l’autostima è quello che deriva dall’affrontare sfide reali. L’insegnante fa crescere le capacità degli studenti insegnando opportune strategie per studiare, risolvere problemi, argomentare, utilizzando il meglio della propria esperienza. (Gick, 1986; Alibali, Phillips, Fischer, 2009; Wery, Thomson, 2013). La ricerca ha individuato alcune componenti cognitive che facilitano il successo: “The most important intelligence components predicting problem-solving competence appear to be processing capacity/reasoning ability and learning potential.” (Wenke, Frensch, Funke, 2005, p. 170). Nel caso di problemi sulla mole e sui miscugli sono state individuate le variabili cognitive “*Concept Relatedness, Idea Association, Specific Knowledge and Problem Translating Skill (except for Non-Specific but Relevant Knowledge)*, are significant in determining the overall problem-solving performance in Mole Concept.” (Lee, Tang, Goh, Chia, 2001, p. 297). Ma anche nelle migliori situazioni si possono commettere errori.

### **Le cause di errore**

Risolvere problemi è un’attività che non tutti amano; la stessa parola è carica di connotati negativi perché evoca il “dubbio”, la “situazione da risolvere”, la “scelta tra possibili alternative”. I problemi quantitativi che si usano nelle materie scientifiche sono in generale poco amati perché richiedono uno sforzo mentale maggiore rispetto al ricordare dei concetti e l’uso appropriato del ragionamento. Ma la soluzione significativa di questi problemi fa crescere le abilità logiche dei nostri studenti e va incoraggiata. (Cohen et al., 2000) E vanno messi nel conto gli errori. “I have learned one major thing in my time as an Independent Thinking associate: mistakes are the way we learn; failure is when learning stops; success is when the lessons

of mistakes are first noticed, and, second, acted upon productively.” (Gray, 2006, p. 89).

In un ambiente scolastico che voglia favorire la creatività gli errori non vanno giudicati in modo negativo. “Everyone has to learn starting from his/her own actual repertoire. This is why errors are not bad, but good in the educational enterprise: They tell every learner about the biases in his/her own repertoire of schemes. For this reason teachers should avoid associating learners’ errors with negative feelings, emotions, or punishments.” (Cardellini, Pascual-Leone, 2004, p. 212). Suggestire di commentare, spiegare, illustrare, argomentare i passaggi (ragionamento vivibile) aiuta lo studente a comprendere gli errori. In alcuni casi è utile il suggerimento di Ernst von Glasersfeld: “When students make what the teacher considers to be an error, the teacher should try to find out what train of thought led the student to make that statement. Very often RETRACING the steps will suffice to let the student see that a different answer is required.” (Cardellini, 2006a, p. 182).

Richard Mayer riassume le cause generali e le forzature nel problem solving: 1. Sistematicamente il problema viene distorto per essere in accordo con la conoscenza esistente; 2. Ci si focalizza sugli aspetti non appropriati del problema; 3. Si cambia la rappresentazione del problema; 4. Si applicano procedure in modo rigido e non appropriato; 5. Le convinzioni personali guidano l’approccio al problem solving. (Mayer, 1989, pp. 45-54) Riguardo a questo ultimo punto, se uno studente è convinto che un problema è oltre le proprie capacità, difficilmente saprà mettere insieme il desiderio e l’impegno necessari per risolverlo. Il punto 2 viene illustrato con due problemi; uno difficile per la maggioranza dei solutori “A men bought a horse for \$60 and sold it for \$70. Then he bought back again for \$80 and sold it for \$90. How much did he make in the horse business?” In contrasto, tutti i solutori risolvono lo stesso problema in questa forma: “A men bought a white horse for \$60 and sold it for \$70. Then he bought a black horse for \$80 and sold it for \$90. How much did he make in the horse business?” (Mayer, 1989, p. 48).

Queste cause di errore riportate da Mayer rappresentano le grandi categorie, ma gli studenti possono incorrere in una miriade di errori. Se consideriamo il problema: 10,00 mL di una soluzione di  $\text{H}_2\text{SO}_4$  [98,09 g/mol] al 2,485% in peso (densità 1,015 g/mL) vengono diluiti a 100,0 mL. Calcolare quanti millilitri di NaOH [40,00 g/mol]  $1,000 \times 10^{-2}$  M sono necessari per neutralizzare 20,00 mL della soluzione di  $\text{H}_2\text{SO}_4$  prima preparata. In una valutazione parziale di numerose soluzioni accumulate negli anni sono stati individuati 10 tipi diversi di errori.

Com’è possibile? Se si insegna la semplice soluzione, oppure gli studenti imparano sui libri, questo fatto diventa probabile. “Textbook solutions to

problems and solutions presented by teachers in class are almost always efficient, well-organized paths to correct answers. They represent algorithms developed after repeated solutions of similar problems.” (Herron, 1986, p. 530) Ancora, “Textbook solutions to problems provide no indication of the false starts, dead ends, illogical attempts, and wrong solutions that characterize the efforts of students when they work in problem solving.” (Herron, 1990, p. 35).

Le cause di questi errori nei problemi con la densità sono molteplici, ma riconducibili alla conoscenza non sufficientemente approfondita dei concetti coinvolti: densità, diluizione, % in peso, rapporto stechiometrico. Inoltre gli studenti mancano di familiarità con il mettere insieme questi concetti. L’indecisione dell’uso e delle connessioni tra i concetti per sviluppare la soluzione impedisce i processi di chunking, che a loro volta causano il sovraccarico della memoria di lavoro, che origina dei ragionamenti inconsistenti.

### **L’insegnante**

Viviamo in tempi di rapidi cambiamenti e non è sempre agevole catturare l’interesse degli studenti. Come è stato osservato, “keeping students engaged is one of the most important considerations for the classroom teacher. ... this is becoming increasingly more difficult in a society of fast-paced media and video games.” (Marzano, 2007, p. 98). Nondimeno, dobbiamo fare in modo che la nostra materia sia più interessante del video gioco. Wilbert McKeachie offre una osservazione molto utile: “the lecturer’s own attitudes and enthusiasm have an important effect on student motivation. Research on student ratings of teaching as well as on student learning indicates that the enthusiasm of the lecturer is an important factor in affecting student learning and motivation.” (Svinicki, McKeachie, 2014, p. 59).

All’insegnante sono richieste molte abilità, oltre alla conoscenza necessaria della propria materia. In questi ultimi anni è stato riconosciuto che l’usuale modo di trasmettere la conoscenza attraverso la lezione non è sufficiente, perché non efficace: Il modello dell’insegnante che spiega e gli studenti che prendono appunti è superato, anche se ancora in voga. Per questo vengono proposti metodi più adatti per coinvolgere i nostri studenti. (King, 1993; Svinicki, McKeachie, 2014; Chiappetta, Koballa Jr., 2015; Felder, Brent, 2016) L’insegnante dovrebbe trovare e inventare modi utili per aiutare gli studenti a dare un senso e importanza a quanto viene imparato. (King, 1993) “teachers were challenged to change their teaching from a process of transmitting knowledge to a process of helping students to construct scientific knowledge through questioning and testing existing ideas, engaging in different activities and contexts for learning, and reflecting on learning.” (Simon, Campbell, 2012, p. 308).

L'insegnante è l'attore principale nella formazione e la qualità del suo lavoro fa la differenza. L'eccellente risultato dell'istruzione in Finlandia secondo quanto risulta dagli studi PISA (Programme for International Student Assessment) è dovuto alla qualità degli insegnanti: "Without excellent teachers Finland's current international success would have been impossible." (Sahlberg, 2010, p. 1). Dobbiamo aspettarci molto dai nostri studenti, sia dai migliori che da quelli che hanno difficoltà, perché tutti debbono poter migliorare e da questo miglioramento dipende il nostro successo come insegnanti. "the best teachers believe that learning involves both personal and intellectual development and that neither the ability to think nor the qualities of being a mature human are immutable." (Bain, 2004, p. 83).

L'insegnante dovrebbe essere il modello e l'esempio a cui gli studenti dovrebbero ispirarsi. Parlando di modelli Henry Bent conclude dicendo che "*the most important models in teaching chemistry are chemistry teachers themselves.*" (Bent, 1984, p. 777). Non è sempre possibile motivare tutti gli studenti, ma la mancanza di interesse verso la materia e l'apprendimento degli studenti trasforma l'insegnante in una barriera verso l'apprendimento. In un editoriale dal titolo molto eloquente, "Why Students Hate Chemistry", Tom Lippincott riporta alcuni commenti fatti da uno studente: "As a student, I hated chemistry. ... The teacher ... appeared to dislike chemistry as much as he disliked the students." (Lippincott, 1979, p. 1). Questo aspetto è legato alla dimensione etica della figura professionale e all'influenza morale che l'insegnante esercita sugli studenti: "the teacher as an individual is a powerful source of moral influence for her students even when she is not trying to be and whether she wants to be or not." (Jackson, 1999, p. 81).

Molti fattori contribuiscono alla formazione degli studenti eccezionali. Nello sviluppo cognitivo degli studenti *gifted* un compito importante lo svolge la famiglia: "One of the main findings of the project on early childhood and adolescent education of Nobel laureates is that family played the most important role in the development of their scientific and innovative talents." (Shavinina, 2013, p. 260). Gli studenti devono essere incoraggiati all'impegno e a vedere la scuola come una grande possibilità per migliorare le proprie capacità cognitive. La famiglia dovrebbe condividere e supportare gli scopi educativi della scuola. Evidenze risultanti dagli studi sulla formazione scolastica dei premi Nobel permettono di aggiungere alcune caratteristiche alla figura professionale degli insegnanti speciali.

1. "they were *teachers with love and curiosity for the subjects they were teaching.*" (Shavinina, 2013, p. 267). Entusiasmo, curiosità e passione per ciò che si insegna contagiano gli studenti e li stimola a dare il meglio.
2. Gli insegnanti "*were enthusiastic, inspiring, and challenging*

*teachers with a playful spirit.*” (Shavinina, 2013, p. 267) Certamente l’insegnante ha limiti e difetti, ma gli aspetti positivi conquistano e ispirano gli studenti. Come ha affermato Richard Zare ad una conferenza all’University of Michigan, “I think that the real role of a teacher is to motivate students to learn a topic. Inspiration is more important than information.” (Coppola, 1998, p. 2)

3. Gli insegnanti “*were gifted, excellent teachers*, especially when they introduced new subjects. (Shavinina, 2013, p. 268)
4. Gli insegnanti “*taught differently*. They deviated in their teaching from the accepted norm of the day.” (Shavinina, 2013, p. 268) Magari cercando modi per coinvolgere ciascuno studente, aiutando e facendo aiutare i meno capaci dai più capaci.
5. Gli insegnanti “*provided advanced, enriched, and accelerated instruction*. They went beyond the scope of prescribed curriculum: being initiative and creative, they taught what they thought was the best.” (Shavinina, 2013, p. 269) Volendo usare uno slogan, si potrebbe riassumere in: **si insegna al meglio, il meglio**, facendo passare il curriculum in secondo piano.
6. Gli insegnanti “*manifested interest in students and encouraged them to succeed.*” (Shavinina, 2013, p. 269)
7. Gli insegnanti “*went beyond the classroom practice*. They did many extra things for their students.” (Shavinina, 2013, p. 269) Il nostro interesse e impegno non è limitato al periodo della lezione. Certamente non si prendono sul serio eventuali considerazioni di colleghi quando commentano: “Ma chi te lo fa fare?” Va sottolineato che qui si sta parlando di insegnanti reali. Molte di queste caratteristiche e osservazioni hanno costituito il modo di insegnare di numerosi colleghi coinvolti nel progetto PROFILES. (Brianzoni, Cardellini, 2015).

### **Un ambiente favorevole all’apprendimento**

Un buon insegnante dovrebbe avere cura di ciò che viene chiamato ambiente di apprendimento. Ovvero, l’atmosfera nella classe; l’amicizia e il rispetto tra gli studenti; il desiderio di apprendere, di impegnarsi; la presenza di studenti che fungono da esempio per gli altri; il senso di responsabilità; il rispetto delle scadenze nelle consegne; l’aiuto reciproco nello studio, anche fuori dell’aula, la dimensione etica. In un ambiente dove l’apprendimento viene positivamente supportato, l’insegnante “... engages students in some higher-order intellectual activity: encouraging them to compare, apply, evaluate, analyze, and synthesize, but never only to listen and remember.” (Bain, 2004, p. 102). In questo ambiente l’insegnante favorisce la collaborazione tra gli studenti offrendo loro la possibilità di interagire in alcune atti-

vità ad esempio utilizzando il metodo dell'apprendimento cooperativo. (Felder, Brent, 2007; Cardellini, 2014).

In un ambiente positivo, coinvolgente e stimolante, certamente l'insegnante mostra entusiasmo per la materia che insegna. Questa propensione aiuta a catturare l'attenzione e induce il coinvolgimento degli studenti, che più facilmente vengono motivati. "The motivation of people surrounding us is thought to affect our own motivation through a process known as contagion (motivational and emotional). In school settings, contagion implies that the motivation displayed by teachers can affect student motivation, behavior and achievement." (Moè, 2011, p. 368). In un ambiente in cui l'apprendimento è attivamente supportato, "The teachers were respectful, used humor, and were enthusiastic about learning. They also voiced expectations that all students would learn, and their procedures and management practices were based on respect." (Patrick et al., 2003, p. 1533).

La motivazione è probabilmente il costrutto psicologico più importante che ha permesso di raggiungere i processi mentali creativi riportati in questo articolo. La strategia utilizzata all'inizio del corso è quella di coinvolgere gli studenti anche con problemi di logica. L'idea è venuta partecipando al mini corso sul problem solving che Alex Johnstone svolgeva all'università di Glasgow. Questi problemi hanno il vantaggio di essere sfide interessanti, non richiedono conoscenze chimiche, che all'inizio del corso alcuni studenti potrebbero non avere, fanno riflettere, inoltre non si possono risolvere ricorrendo a delle formule. (Cardellini, 2006b) Esempi di tali problemi sono i seguenti.

*Problema 1.* In un mazzo di fiori, tutti sono rose eccetto tre, tutti sono tulipani eccetto quattro e tutti sono margherite fuorché cinque. Quanti fiori ci sono nel mazzo? (Adattato da Sternberg, 1988, p. 193).

*Problema 2.* Si consideri un termometro privo di scala e come Celsius ha stabilito la scala centigrada. Com'è stato possibile stabilire la scala Fahrenheit che parte da 32 e arriva a 212?

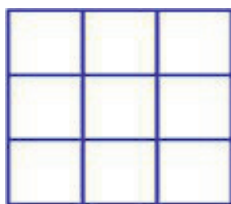
*Problema 3.* Si hanno 12 cubi apparentemente identici. Di questi 12, uno ha il peso differente dagli altri.



Si dispone anche di una bilancia a due piatti. Come è possibile trovare in 3 pesate il cubo che ha peso diverso e stabilire se esso pesa di più o di meno? (Adattato da Grossman, 1945).



*Problema 4.* Porre i numeri 1, 2, ..., 9 nelle 9 celle,



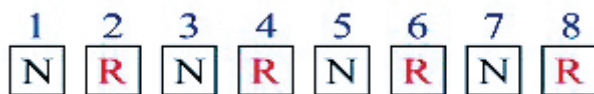
in modo tale che la somma dei tre numeri allineati sia la stessa in tutte le direzioni (orizzontali, verticali & diagonali) (Adattato da Schoenfeld, 1991, p. 330). Questo problema può convenientemente essere utilizzato per far comprendere ciò che si intende per analisi del problema.

*Problema 5.* Suppose five days after the day before yesterday is Friday. What day of the week is tomorrow? (Sweller, 1993, p. 4).

*Problema 6.* Si hanno quattro carte nere e quattro carte rosse, facenti parte di un ordinario mazzo di carte. Disporre le otto carte in un mazzo (faccia in basso) in modo che siano possibili le seguenti operazioni:

1. La carta in alto nel mazzo si gira sul tavolo: è nera.
2. La carta successiva (ora è la prima in alto) va posta in fondo al mazzo.
3. La prossima carta in alto nel mazzo si gira sul tavolo: è rossa.
4. La carta successiva in alto nel mazzo va spostata in fondo.

Si procede in questo modo – girando sul tavolo carte in modo alterno – fino a che tutte le carte siano state girate. Il problema è stato risolto se si ottiene la successione:



(Adattato da Hayes, 1989, p. 27). Questi, ed altri problemi, vengono proposti sia per coinvolgere gli studenti che per presentare delle strategie di soluzione. Ad esempio questo ultimo problema permette di spiegare la strategia ‘working backwards’. Se consideriamo le possibili disposizioni, 8 carte possono essere disposte in 70 successioni differenti, soltanto una delle quali però risolve il problema. Invece, partendo dal risultato e facendo le operazioni all’indietro, si ottiene un’unica disposizione. Questa strategia è parte della procedura per risolvere i problemi chimici denominata metodo Hansel e Gretel. (Cardellini, 1996a).

*Problema 7.* Si hanno 10 bicchieri come in figura:



Disporre i bicchieri in modo da formare una figura geometrica regolare, con lo stesso numero di bicchieri in ogni lato. Questo problema è uno di quelli usati da Alex Johnstone al mini corso sul problem solving all'università di Glasgow, Scozia. Veniva presentata la soluzione per far comprendere cosa si intendesse per 'pensiero laterale'. I miei studenti hanno trovato anche una seconda soluzione, naturalmente, senza considerare il cerchio.

Senza l'aiuto di algoritmi da poter applicare, gli studenti sono incoraggiati a ricorrere ai suggerimenti ricevuti: analizzare il problema, rappresentare il problema, se necessario con disegni o schemi, suddividere il problema complesso, ricorrere a schemi già conosciuti, diminuire la complessità del problema. I problemi 1 e 3 sono utili per illustrare quest'ultima strategia. Inoltre, le 'regole del gioco' richiedono di utilizzare il ragionamento; equazioni, sistemi di equazioni e altre 'stampelle' algebriche sono vietate.

Gli studenti vengono sfidati con questi problemi e invitati a consegnare le soluzioni entro una data stabilita; nei problemi più impegnativi viene assegnato un bonus, se la soluzione è corretta, spiegata e trovata secondo le 'regole del gioco'. Le soluzioni vengono corrette, gli errori spiegati e vengono assegnati i bonus. Col tempo, sempre più studenti partecipano a queste sfide. I problemi col bonus, essendo sfide reali, servono anche agli studenti per acquisire una reale autostima e confidenza e a far scoprire loro capacità che non sapevano di avere. (Dweck, 2007).

### **La creatività**

L'insegnante che ambisce a lasciare un segno nei propri studenti dovrebbe favorire e valutare comportamenti e modi di vedere magari non conformi alle proprie aspettative, per non inibire sprazzi di creatività nella classe. "there are economic, social and cultural arguments as to why creativity should be a prized asset. Creativity is becoming a key resource for individuals and societies. It will enable people to make the most of new opportunities, and to find the most productive responses to challenges as well as threats." (Zhou, 2017, pp. 5-6).

Si trovano diverse definizioni di creatività e la maggior parte di esse condividono alcune componenti. “Most definitions of *creative ideas* comprise three components. First, those ideas must represent something different, new, or innovative. Second, they need to be of high quality. Third, creative ideas must also be appropriate to the task at hand. Thus, a creative response to a problem is new, good, and relevant.” (Kaufman, Sternberg, 2007, p. 55).

La definizione più accettata dagli studiosi di creatività è quella di Richard Mayer. Mayer considera le peculiarità contenute nelle definizioni di altri sette autori dell’*Handbook of Creativity* e le riassume in questa affermazione: “creativity involves the creation of new and useful products including ideas as well as concrete objects” (Mayer, 1999, p. 450). La considerazione della creatività e della valorizzazione delle nuove idee spalanca grandi possibilità al mondo della scuola. Una teoria della creatività considera la distinzione tra little-c (everyday) creativity dalla Big C. (Kozbelt, Beghetto, Runco, 2010). Spesso ciò che fanno alcuni nostri studenti può essere considerato come appartenente alla prima categoria.

Il metodo di insegnamento può incoraggiare o scoraggiare la creatività. Tra le barriere della creatività nella classe viene riportato il tipo di insegnamento che si accontenta della risposta corretta e non valorizza le idee originali. “Given the prevalence of teacher-dominated, convergent teaching approaches, it should come as no surprise that researchers have found that many teachers come to view unexpected student ideas as disruptive.” (Beghetto, 2010, p. 450). Gli studenti si aspettano che i loro sforzi siano premiati e spesso durante il corso mi viene posta la domanda: “Professore, quanti bonus ho accumulato?” Le ricerche confermano la validità di questa procedura; infatti, “It’s not enough to talk about the value of creativity: You have to reward it. Students ... are exquisitely sensitive to what teachers value when it comes to the bottom line, namely, the grade or evaluation.” (Sternberg, Williams, 1996, p. 22).

Per facilitare lo sviluppo del pensiero creativo, l’insegnante dovrebbe superare la paura di trovarsi impreparato davanti a domande o procedimenti diversi da quanto solitamente ci si aspetta. Infatti, “One of the best ways to fulfill the creative potentials that are required for both creative performance and innovation is to insure that the educational system is supportive. And one way to insure the greatest impact is to identify the obstacles that plague efforts to support creativity in the classroom. Many of these obstacles reflect contradictions. Consider in this regard research showing that teachers typically value creativity but at the same time (and in opposition to their own values) they are unable to reward the divergent thinking, independence, autonomy, playfulness, and intrinsic motives of students.” (Runco, 2017, p. 75).

Con lo scopo di sviluppare il pensiero riflessivo, nella risoluzione dei problemi agli studenti viene richiesto di spiegare, illustrare, argomentare o giustificare i vari passaggi, in modo da avere una traccia della soluzione qualitativa, rendendo visibile il ragionamento. (Ritchhart, Perkins, 2008; Ritchhart, Church, Morrison, 2011). Gli studenti dovrebbero poi fare la verifica del risultato per controllare la correttezza di quanto fatto. In caso di errore, la riflessione sulla soluzione qualitativa dovrebbe aiutare a trovare l'errore. Importante è la definizione di Dewey, che considerava il pensiero riflessivo come lo scopo fondamentale dell'educazione, poiché ciò permette all'individuo di utilizzare e assumere la responsabilità del proprio pensiero per poter partecipare attivamente come cittadino della società democratica: "Active, persistent and careful consideration of any belief or supposed form of knowledge in the light of the grounds that support it and the further conclusions to which it tends constitutes reflective thought." (Come riportato in Moseley et al. 2005, p. 12).

Alcune attitudini, atteggiamenti e convinzioni, magari inconse, potrebbero inibire la propensione a pensare in modo creativo nei nostri studenti. Potrebbero risultare utile conoscere alcuni di questi atteggiamenti riportati da uno studioso della creatività in un articolo dal titolo eloquente: Come scoraggiare il pensiero creativo nella classe.

- "Perpetuate the idea that there is one correct way to do any particular task and that there is one and only one correct answer to every questions."
- "Cultivate an unquestioning submission to, and preferably a fear of, authority, especially the teacher's. Fear is recognized as a major determinant of conformity of behaviour, if not of thought."
- "Insist on adhering to the lesson plan at all costs. Let students work only on problems that are prescribed either by you or by their textbooks. Many researchers have stressed the importance of problem finding – as distinct from problem solving – as an aspect of creativity."
- "Disabuse students of the notion that they should aspire to have original thoughts. Such a notion is dangerous: *creativity* sometimes is defined as a tendency to have original and daring ideas."
- "Promote beliefs that are antithetical to the development of creative thinking. ... The beliefs that intelligence is a genetically determined and unchanging property of an individual, for example, can demotivate children from making an effort to excel at intellectually demanding tasks."
- "Above all, never permit learning or problem solving to be fun." (Nickerson, 2010, pp. 1-4).

Questo ultimo punto dovrebbe essere opportunamente ponderato: idealmente gli studenti dovrebbero essere scontenti quando per qualche motivo non possono andare a scuola, e la stessa situazione dovrebbe valere per gli insegnanti. Per sentirsi soddisfatti e avere il meglio dall'insegnamen-

to, la convinzione di essere professionalmente preparati non è abbastanza. (Moè, Pazzaglia, Ronconi, 2010). Si dovrebbe provare piacere nello svolgere il lavoro educativo.

Ci sono delle abilità cognitive particolarmente importanti che dovrebbero essere valorizzate: “Three intellectual skills are particularly important: (a) the synthetic skill to see problems in new ways and to escape the bounds of conventional thinking, (b) the analytic skill to recognize which of one’s ideas are worth pursuing and which are not, and (c) the practical–contextual skill to know how to persuade others of – to sell other people on – the value of one’s ideas. The confluence of these three skills is also important.” (Sternberg, 2006, p. 88). Favorire lo sviluppo di queste abilità cognitive dovrebbe rendere entusiasmante il lavoro degli insegnanti perché “Genius. Invention. Talent. And, of course, creativity. These words describe the highest levels of human performance. When we’re engaged in the act of being creative, we feel we are performing at the peak of our abilities. Creative works give us insight and enrich our lives.” (Sawyer, 2012, p. 3). Il successo dei nostri studenti è la prova più convincente del nostro impatto come insegnanti.

### **Un problema di criptoartmetica**

Un problema di criptoartmetica è un problema dove i numeri sono sostituiti da lettere e la prima lettera è diversa da zero. Consideriamo un problema di addizione, il problema DONALD + GERALD = ROBERT. (Bartlett, 1958, p. 51). Lo studio analitico di questo problema è riportato in tre capitoli del volume Human problem solving (Newell, Simon 1972, pp. 143-401). Il problema è composto da 10 lettere diverse alle quali vanno assegnati i numeri 0, 1, 2, ..., 9. È un problema complesso perché sono possibili 10! modi di assegnare la corrispondenza tra numeri e lettere, ciascuno dei quali è una potenziale soluzione. Ma la soluzione del problema è una e una soltanto. Nello studio citato, il solutore conosce l’informazione che alla lettera D è assegnato il numero 5. Per avere la sensazione della difficoltà, provi il lettore a risolvere ora il problema, non per tentativi successivi, ma con un ragionamento rigoroso.

Da diversi anni propongo agli studenti che frequentano i miei corsi questa sfida: risolvere il problema senza alcuna informazione sul valore delle lettere; in questo modo il problema risulta molto più difficile. Per far familiarizzare gli studenti con la logica e per imparare le regole della criptoartmetica suggerisco di risolvere prima altri quattro problemi a difficoltà crescente; inoltre vengono fornite alcune informazioni generali. Nei problemi di cripto-aritmetica ogni lettera rappresenta una singola, unica cifra; ogni lettera differente rappresenta un differente numero, mentre la stessa lettera rappresenta sempre lo stesso numero; il risultato, dopo aver

sostituito le lettere con i numeri, deve risultare una corretta addizione. Viene riportata la soluzione originale trovata da uno studente, primo tra molti a risolvere questo problema, secondo le regole. La rappresentazione del problema usata è riportata in Figura 1.

$$\begin{array}{r}
 \text{DONALD} + \\
 \text{GERALD} = \\
 \hline
 \text{ROBERT} \\
 \text{I II III IV V VI}
 \end{array}$$

**Figura 1.** Rappresentazione del problema DONALD + GERALD = ROBERT.

Analisi del problema: T deve essere necessariamente un numero pari perché somma di due numeri uguali. Lo studente inizia con la colonna II, probabilmente da quanto appreso risolvendo i problemi precedenti:  $O + E = O$ . Di conseguenza, E può assumere soltanto due valori, o 9 oppure 0. Lo studente suppone che E sia uguale a 9 e commenta: “se questa ipotesi è falsa, sarà il problema irrisolto a dimostrarlo.” Poiché E è uguale a 9, trova il valore da assegnare ad A osservando la colonna IV:  $2A$  è uguale a 9, se due condizioni sono verificate:

- 1) A è uguale a 4;
- 2) La colonna V deve avere un riporto (di 1).

Risolvendo i problemi di criptoaritmetica suggeriti, lo studente sa che la somma di due dei numeri possibili è sempre minore di 20, dunque il riporto non può essere che 1. Sposta la sua attenzione sulla colonna V, tenendo in mente che  $E = 9$ ;  $A = 4$  e la colonna V deve dare un riporto.  $L + L = R$ : affinché ci sia un riporto, i possibili valori che L può assumere sono 5, 6, 7 e 8. R potrebbe assumere un valore aumentato da un possibile riporto della colonna VI. Ciò non condizionerebbe la presenza o meno del riporto della colonna V ma aumenterebbe il valore di R di 1 unità. Viene provvisoriamente supposto che D sia inferiore a 5, in modo da non avere un riporto in colonna V.

$$\begin{array}{r}
 \text{1 1 1} \\
 \text{DON4LD} + \\
 \text{G9R4LD} = \\
 \hline
 \text{ROB9RT} \\
 \text{I II III IV V VI}
 \end{array}$$

**Figura 2.** Problema DONALD + GERALD = ROBERT, con  $E = 9$  e  $L = 4$ .

Lo studente procede con un ragionamento appropriato per trovare il giusto valore di  $L$ , operando un raffinamento di quelli già menzionati.  $L$  non può essere uguale a 5 perché se così fosse  $R$  sarebbe uguale a 0, questa cifra ( $R = 0$ ) risulterebbe anche come risultato della somma nella prima colonna. Ma questo condurrebbe ad una contraddizione logica.  $L$  non può essere uguale a 6 perché presupporrebbe  $R = 2$ . Viene notata un'altra volta la contraddizione pensando a tale numero come risultato della colonna I; infatti come può la somma  $(D + G) +$  un riporto (sicuramente presente per quanto detto sopra) essere uguale a 2?

Proseguendo nell'analisi, se la somma fosse effettivamente 2, ciò implicherebbe per ovvie considerazioni che i valori di  $(D, G)$  siano  $(1, 0)$  oppure  $(0, 1)$  in più ci sarebbe un riporto, il che seguirebbe dalla scelta di  $E = 9$ . Ma  $D$  non può essere uguale a zero poiché si evidenzerebbe una contraddizione dalla colonna VI dove  $D + D = T$ . Per di più  $D$  non può nemmeno essere uguale a 1 poiché in tal caso si avrebbe dalla colonna VI che  $T = 2$ , ossia lo stesso valore che assumerebbe  $R$  nella colonna V qualora si asserisca che  $L$  sia uguale a 6. Dunque  $L = 6$  non può essere accettato.  $L$  non può essere uguale a 7 poiché se così fosse  $R$  sarebbe necessariamente uguale a 4 dunque uguale al valore già assegnato ad  $A$ . (ricordiamo che è stata esclusa la possibilità di un riporto dalla colonna VI in quanto è stato posto  $D$  minore di 5).

Tali considerazioni porterebbero a concludere per esclusione che  $L$  sia uguale a 8 ma non è così. La spiegazione di questa deduzione viene dalla colonna I (dove ricordiamo che alla somma dei due addendi  $D$  e  $G$  contribuisce di sicuro con un riporto): infatti se  $L$  fosse uguale a 8 allora  $R$  sarebbe uguale a 6 (dalla colonna V). Ma ciò implica che la somma dei due addendi della colonna I sia uguale a 5 ossia  $(D + G) = 5$ . Questo non può verificarsi e di ciò ce se ne può accorgere escludendo tutte le possibili coppie di numeri la cui somma è 5 ossia:  $(D, G) = (2, 3)$ , ma  $D$  non può essere uguale a 2 perché dalla colonna VI si avrebbe  $2 + 2 = 4$  con  $T = 4$ , essendo il 4 è stato già assegnato ad  $A$ ;  $(D, G) = (3, 2)$ , ma  $D$  non può essere uguale a 3 perché dalla colonna VI si otterrebbe  $T = 6$  ma il 6 è stato già assegnato a  $R$  ponendo che  $L$  fosse uguale a 8.

Altre coppie di numeri la cui somma è 5 sono da scartare: per esempio  $(1, 4)$  e  $(4, 1)$  visto che tra le ipotesi abbiamo  $A = 4$ ; la coppia  $(0, 5)$  lo stesso è da scartare perché se si pone  $D = 0$  nella colonna VI risulterebbe una incongruenza:  $0 + 0 = T$ ; mentre la coppia  $(5, 0)$  non è da prendere in considerazione visto che  $D$  per le ipotesi sopra elencate è un numero minore di cinque. Arrivato a questo punto lo studente si è ritrovato in un vicolo cieco. Per andare avanti, è stata provata una diversa strategia per determinare un valore differente per  $D$ .

Viene considerata di nuovo la colonna V:  $L + L = R$  (ma con il riporto di





lore 0, in quanto già assegnato a T). Resta O = 2. In Figura. 5 è riportata la soluzione che è anche la verifica della correttezza del ragionamento fatto. Un esempio di capacità deduttiva e di rigore logico notevole. Difficile fare meglio!

$$\begin{array}{r}
 5\ 2\ 6\ 4\ 8\ 5\ + \\
 1\ 9\ 7\ 4\ 8\ 5\ = \\
 \hline
 7\ 2\ 3\ 9\ 7\ 0
 \end{array}$$

**Figura 5.** La soluzione del problema DONALD + GERALD = ROBERT.

Gli altri quattro problemi: CC + AB = ABC; MAM + DAD = MAMA; LETS + WAVE = LATER (Levine, 1994, p. 44); SEND + MORE = MONEY. Questo ultimo cripto-problema è apparso nel 1924 su The Strand Magazine, a cura del matematico Henry Ernest Dudeney.

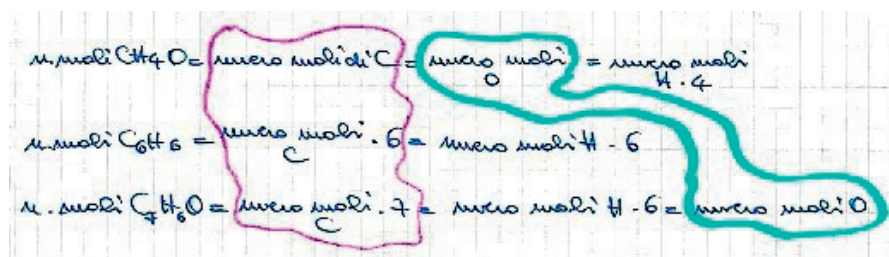
### Un problema di Chimica

Un miscuglio di  $\text{CH}_4\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  e  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$  del peso di 44,37 g dà all'analisi elementare: C = 68,74%; H = 8,905% ed il resto ossigeno. Calcolare i grammi di  $\text{C}_6\text{H}_6$  nel miscuglio. (Cardellini, 2016, p. 64) Per ottenere il bonus, gli studenti devono seguire le 'regole del gioco': è consentito usare soltanto il ragionamento. Algoritmi matematici quali equazioni lineari o sistemi di equazioni e altri tipi di "stampelle" non sono ammessi.

Segue una soluzione originale trovata da una studentessa parecchi anni or sono. Calcola la composizione percentuale del miscuglio:

$$C = 68,74\%; H = 8,805\% \text{ e } O = 22,335\%$$

Utilizza la seguente rappresentazione del problema:



**Figura 6.** La rappresentazione del problema.

Considera 100,0 g di miscuglio (msc)

$$\text{Moli di C totali} = (68,74 \text{ g C}) \times (1 \text{ mol C}/12,01 \text{ g C}) = 5,7236 \text{ mol C}$$

$$\text{Moli di O totali} = (22,335 \text{ g O}) \times (1 \text{ mol O}/16,00 \text{ g O}) = 1,3959 \text{ mol O}$$

$$\begin{aligned} \text{Moli di C totali} - \text{Moli di O totali} &= 5,7236 \text{ mol C} - 1,3959 \text{ mol O} = \\ &= 4,3277 \text{ mol H in } C_6H_6 \text{ e } C_7H_6O \end{aligned}$$

$$\text{Moli di H totali} = (8,805 \text{ g H})/(1,008 \text{ g H/mol H}) = 8,8343 \text{ mol H}$$

$$\begin{aligned} \text{Moli di H totali} - \text{mol H in } C_6H_6 \text{ e } C_7H_6O &= 8,8343 \text{ mol H} - 4,3277 \text{ mol} \\ \text{H} &= 4,5066 \text{ mol H in } CH_4O \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Numero moli } CH_4O &= (4,5066 \text{ mol H}) \times (1 \text{ mol } CH_4O/4 \text{ mol H}) = 1,1267 \\ \text{mol } CH_4O &\equiv 1,1267 \text{ mol O in } CH_4O \end{aligned}$$

$$\text{Numero moli di O totali} - \text{Numero moli O in } CH_4O = \text{moli di O in}$$

$$\begin{aligned} C_7H_6O \quad 1,3959 \text{ mol O} - 1,1267 \text{ mol O} &= 2,692 \times 10^{-1} \text{ mol O in } C_7H_6O \equiv \\ &\equiv 2,692 \times 10^{-1} \text{ mol } C_7H_6O \end{aligned}$$

Calcolo dei grammi:

$$\begin{aligned} \text{Grammi di } CH_4O &= (1,1267 \text{ mol } CH_4O) \times (32,042 \text{ g } CH_4O/\text{mol } CH_4O) = \\ &= 36,10 \text{ g } CH_4O \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Grammi di } C_7H_6O &= (2,692 \times 10^{-1} \text{ mol } C_7H_6O) \times (106,11 \text{ g } C_7H_6O/\text{mol} \\ C_7H_6O) &= 28,56 \text{ g } C_7H_6O \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Grammi di } C_6H_6 &= 100,0 \text{ g msc} - (36,10 \text{ g } CH_4O + 28,56 \text{ g } C_7H_6O) = \\ &= 35,334 \text{ g } C_6H_6 \text{ (in } 100,0 \text{ g msc)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dunque: } 35,334 \text{ g } C_6H_6 : 100,0 \text{ g msc} &= x \text{ g } C_6H_6 : 44,37 \text{ g msc; } x = \\ &= 15,67 \text{ g } C_6H_6 \end{aligned}$$

Ragionamento lineare che deriva da una potente rappresentazione del problema ottenuta dopo una riflessione molto profonda, difficile da intuire e comprendere per noi esperti insegnanti di Chimica. È stato necessario molto sforzo e mesi di tempo per comprendere la logica profonda del ragionamento sotto questa soluzione. Questo problema è stato proposto nella rubrica Problem Solving Forum di *La Chimica nella Scuola* e le soluzioni proposte da alcuni insegnanti sono state ottenute utilizzando un sistema di equazioni. (Cardellini, 1996b) Si potrebbe dire un caso in cui gli studenti superano gli esperti e questa non è una novità. (Adelson, 1984). Importanti studi hanno individuato ciò che è stato chiamato functional fixedness in problem solving. (Duncker, 1945; Isen, Daubman, Nowicki, 1987). Gli studenti avendo una mente plastica riescono ad intuire relazioni e possibilità logiche che fanno 'vedere' loro e percorrere catene del ragionamento in cui noi

esperti non osiamo avventurarci. In queste soluzioni, l'intuizione (insight) gioca un ruolo importante.

Ora segue un procedimento scoperto da uno studente in uno dei miei ultimi due corsi. Quando mi sono accorto dell'originalità del ragionamento ho chiesto delle spiegazioni allo studente. Riporto le spiegazioni per facilitare la comprensione della soluzione. Lo studente ha tentato delle soluzioni e via via si accorge che non erano corrette; poi passa del tempo a pensare guardando le formule dei tre composti:

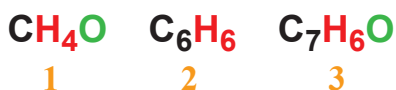


Figura 7. Le formule dei composti del miscuglio.

Si accorge che nel composto 2 il modulo della differenza tra il numero degli atomi di carbonio e il numero degli atomi di idrogeno fa zero. Si ottiene zero anche nel composto 3 se si fa la differenza tra il numero degli atomi di carbonio e il numero degli atomi di idrogeno più il numero di atomi di ossigeno. Invece, nel composto 1 la situazione è differente:

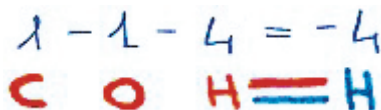


Figura 8. Differenza tra il numero degli atomi di C e il numero degli atomi di H + O.

Ecco ora la soluzione. Calcola i grammi di C, H ed O nei 44,37 grammi miscuglio.

$$\begin{aligned} \text{Grammi C} &= (44,37 \text{ g msc}) \times (68,74 \text{ g C}/100,0 \text{ g msc}) = 30,50 \text{ g C} \equiv \\ &= 2,540 \text{ mol C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Grammi H} &= (44,37 \text{ g msc}) \times (8,905 \text{ g H}/100,0 \text{ g msc}) = 3,951 \text{ g H} \equiv \\ &= 3,196 \text{ mol H} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Grammi O} &= (44,37 \text{ g msc}) \times (22,355 \text{ g O}/100,0 \text{ g msc}) = 9,920 \text{ g O} \equiv \\ &\equiv 6,199 \times 10^{-1} \text{ mol O} \end{aligned}$$

Pensando ad una mole di miscuglio come somma dei singoli composti si ha:  $\text{C}_{14}\text{H}_{16}\text{O}_2$

Considerando il modulo della sottrazione tra il numero di moli di carbonio e il numero di moli di H ed O, si ha:

$$|14 \text{ mol C} - 2 \text{ mol O} - 16 \text{ mol H}| = 4 \text{ mol H (che corrispondono alle 4 mol H in CH}_4\text{O)}$$

$$|2,540 \text{ mol C} - 3,196 \text{ mol H} - 6,2 \times 10^{-1} \text{ mol O}| = 2,000 \text{ mol H}$$

Calcolo delle moli di  $\text{CH}_4\text{O}$  (1 mol  $\text{CH}_4\text{O} \supset 4$  mol H):

$$(2,000 \text{ mol H}) / (4 \text{ mol H}/1 \text{ mol CH}_4\text{O}) = 5,000 \times 10^{-1} \text{ mol CH}_4\text{O} \equiv 16,02 \text{ g CH}_4\text{O}$$

Conoscendo le moli totali di ossigeno, ora è possibile calcolare le moli  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$

Fattore di conversione: 1 mol  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O} \supset 1$  mol O

$$\text{Mol C}_7\text{H}_6\text{O} = 6,199 \times 10^{-1} \text{ mol O} - 5,000 \times 10^{-1} \text{ mol CH}_4\text{O} = 1,199 \times 10^{-1} \text{ mol O} \equiv 12,724 \text{ g C}_7\text{H}_6\text{O}$$

$$100,0 \text{ g msc} - (16,02 \text{ g CH}_4\text{O} + 12,724 \text{ g C}_7\text{H}_6\text{O}) = 15,63 \text{ g C}_6\text{H}_6$$

Ci si potrebbe chiedere se il procedimento sia corretto e se sia anche generalizzabile. Questo problema l'ho inventato al tempo in cui lavoravo in laboratorio, mescolando benzene con benzaldeide e metanolo, ottenendo una soluzione omogenea. Ma se invece del metanolo usassimo l'etanolo, lo schema risolutivo funziona ancora?

Il miscuglio sarebbe così formato:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  e  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ . Ora la differenza tra il numero di atomi nel caso dell'etanolo porterebbe al numero 5:  $|2 \text{ atomi C} - 6 \text{ atomi H} - 1 \text{ atomo O}| = 5$ . Trovate le moli H dalla differenza tra le moli C e le moli H e le moli O, il numero va diviso per 5 (e non per 6, quanti sono gli atomi H in  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ). Nel caso dell'aldeide acetica, sarebbe necessario dividere il numero 1,091 per 3 per poter calcolare le moli  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ .

La prossima soluzione è stata escogitata da uno studente che ha frequentato l'altro corso. Per meglio comprendere la soluzione che verrà presentata, partiamo da come lo studente abbia risolto il problema bonus precedente: Un miscuglio contenente NaCl, NaClO e KClO dà all'analisi 16,64% di O e 21,52% di Na. Calcolare la percentuale di K nel miscuglio. (Cardellini, Johnstone, 2015, p. 46).

Lo studente risolve prima il problema con un sistema di equazioni (metodo delle 'stampelle matematiche'), poi dopo vari tentativi, ha trovato lo stesso risultato calcolando la 'mole media' tra NaCl e NaClO:

$$(21,52 \text{ g Na}) / (22,99 \text{ g Na/mol Na}) = 9,361 \times 10^{-1} \text{ mol Cl ('mole media' tra NaCl e NaClO)} \equiv 33,18 \text{ g Cl (in NaCl e NaClO)}$$

$$100,0 \text{ g msc} - (21,52 \text{ g Na} + 33,18 \text{ g Cl} + 16,64 \text{ g O}) = 28,66 \text{ g KCl (in KClO)}$$

$$(28,66 \text{ g KCl}) / (74,55 \text{ g KCl/mol KCl}) = 3,844 \times 10^{-1} \text{ mol KCl} \equiv \text{mol K} \equiv 15,03\% \text{ K}$$

Poi risolve il problema in parola, utilizzando l'idea della "mole media".

Lo studente calcola i grammi di C, H e O in 44,37 grammi di miscuglio:

$$\text{Grammi C} = (44,37 \text{ g msc}) \times (68,74 \text{ g C}/100,0 \text{ g msc}) = 30,50 \text{ g C}$$

$$\text{Grammi H} = (44,37 \text{ g msc}) \times (8,905 \text{ g H}/100,0 \text{ g msc}) = 3,951 \text{ g H}$$

$$\text{Grammi O} = (44,37 \text{ g msc}) \times (22,355 \text{ g O}/100,0 \text{ g msc}) = 9,920 \text{ g O}$$

Considera la parte del problema su cui ha iniziato a ragionare e lo rappresenta in questo modo:



E calcola la mole media di O:  $9,920 \text{ g O} \equiv 6,199 \times 10^{-1} \text{ mol O}$ . Utilizza questo dato insieme alle relazioni stechiometriche:  $1 \text{ mol CH}_4\text{O} \supset 1 \text{ mol O} \equiv 1 \text{ mol C}$  e  $1 \text{ mol CH}_4\text{O} \supset 4 \text{ mol H}$  e calcola i grammi di C e H.

$$6,199 \times 10^{-1} \text{ mol O} \equiv 6,199 \times 10^{-1} \text{ mol C}$$

$$(6,199 \times 10^{-1} \text{ mol C}) \times (12,01 \text{ g C/mol C}) = 7,439 \text{ g (g C} + \text{g C)}$$

$$(6,199 \times 10^{-1} \text{ mol C}) \times (1,008 \text{ g H/mol H}) \times (4 \text{ mol H/mol C}) = 2,497 \text{ g (g H}_4 + \text{g H}_4)$$

$$44,37 \text{ g msc} - (9,920 \text{ g O} + 2,497 \text{ g H} + 7,439 \text{ g C}) = 24,52 \text{ g (C}_6\text{H}_6 + \text{C}_6\text{H}_2)$$

Calcolo dei grammi di carbonio nel miscuglio  $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}_6\text{H}_2$ :

$$30,50 \text{ g C} - 7,439 \text{ g C} = 23,061 \text{ g C}$$

Calcolo della 'mole media' di carbonio nel miscuglio  $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{C}_6\text{H}_2$ :

$$(23,061 \text{ g C}) \times (1 \text{ mol C}/12,01 \text{ g C}) \times (1 \text{ mol C}_6/6 \text{ mol C}) = 3,200 \times 10^{-1} \text{ mol C}_6$$

Ora il problema si è ridotto di complessità: utilizza una nuova definizione del problema schematizzato nella nuova rappresentazione:



Da cui risulta,  $1 \text{ mol C}_6 \equiv 1 \text{ mol H}_2$ :

$$(3,200 \times 10^{-1} \text{ mol H}_2) \times (2,016 \text{ g H}_2/\text{mol H}_2) = 6,451 \times 10^{-1} \text{ g (H}_2 + \text{H}_2)$$

$$\text{g H}_4 \text{ (in C}_6\text{H}_6) = 3,951 \text{ g H} - (2,497 \text{ g H}_4 + 6,451 \times 10^{-1} \text{ g H}_2) =$$

$$= 8,089 \times 10^{-1} \text{ g H}_4$$

Risulta che:  $1 \text{ mol H}_4 \equiv 1 \text{ mol C}_6\text{H}_6$ . Calcolo delle moli  $\text{C}_6\text{H}_6$ :

$$(8,089 \times 10^{-1} \text{ g H}_4) \times (1 \text{ mol C}_6\text{H}_6/1 \text{ mol H}_4) \times (1 \text{ mol H}/1,008 \text{ g H}) \times$$

$$(1 \text{ mol H}_4/1 \text{ mol H}) = 2,006 \times 10^{-1} \text{ mol C}_6\text{H}_6$$

$(2,006 \times 10^{-1} \text{ mol } C_6H_6) \times (78,11 \text{ g } C_6H_6/\text{mol } C_6H_6) = 15,66 \text{ g } C_6H_6$  nel miscuglio

Si potrebbe considerare questa soluzione come un esempio di transfer, da un problema meno complesso ad uno più complesso, costruendo sulle intuizioni feconde acquisite. Il trasferimento di intuizioni e di abilità cognitive in letteratura è ritenuto molto difficile da ottenere, specialmente in assenza di suggerimenti. (Gick, Holyoak, 1980; Ross, 1987; Novick, Holyoak, 1991). “When the source and target analog share many salient surface properties, spontaneous transfer is quite likely to occur even in the absence of a hint ... . Transfer in the absence of a hint is much more difficult to obtain between isolated analogs drawn from different domains unless the situations have some salient surface similarity or unless critical features are emphasized in the comparison questions and target problems.” (Catrambone, Holyoak, 1989, p. 1154).

Lo studente è riuscito a vedere la profonda similitudine logica tra i due problemi è questo fatto può essere considerato una prova della fiducia nelle proprie capacità e un'evidenza di grande intelligenza. Secondo Campione e Brown, “capable students also prepare for transfer and engage in sophisticated reasoning aimed at accessing and using current knowledge. The prepare for transfer, for example, by regarding “new” problems, not as isolated ones, but as instances of a general class; they expect that what they learn may be relevant elsewhere and entertain hypotheses about where and when.” (Campione, Brown, 1984, p. 286).

### **Gli studenti diventano esperti**

Queste soluzioni originali e singolari rappresentano l'evidenza di processi creativi originati da studenti che partecipano ad un processo di crescita conoscitiva, scientifica e umana. Questa crescita è facilitata dalla motivazione a voler riuscire e raggiungere traguardi importanti. Certamente questi processi potenti del pensiero coinvolgono sia aspetti cognitivi che affettivi e quasi sempre sono momenti di grande sforzo mentale solitario. Ma da dove nasce l'intuizione, l'insight? Come succede che alcune persone trovano idee brillanti, inventano e risolvono problemi in modo inaspettato?

Richard Mayer nel capitolo introduttivo a *The Nature of insight* esplora le cinque idee della psicologia sull'insight: “Insight as completing a schema; insight as suddenly reorganizing visual information; insight as reformulation a problem; insight as removing mental blocks, insight as finding a problem analog” (Mayer, 1995, pp. 8-25). Ma la natura dell'intuizione resta un processo difficile da comprendere perché prodotta da meccanismi complessi e probabilmente mossa e sospinta da una forte motivazione a vincere la sfida. Vediamo come uno studente che chiameremo Alex ha escogitato una non comune soluzione significativa.

Alex ha ottenuto il massimo dei punteggi nei test GALT e Field Dependence/Field Independence; mentre nel test Convergent vs. divergent thinking ha ottenuto 59. (Danili, Reid, 2006) Risolve il problema del miscuglio di  $\text{CH}_4\text{O}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_6$  e  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$  utilizzando un sistema di equazioni. Propone una seconda soluzione attraverso una combinazione lineare di equazioni:

- a)  $4x + 6y + 6z = 3,92$  (H); b)  $x + 6y + 7z = 2,54$  (C); c)  $x + z = 6,2 \times 10^{-1}$  (O)  
 d)  $b - c = 6y + 6z = 1,92$ ;  $a - d = 4x = 2$ ;  $x = 5 \times 10^{-1}$ ;  $y = 2 \times 10^{-1}$ ;  $g \text{ C}_6\text{H}_6 = 15,62$

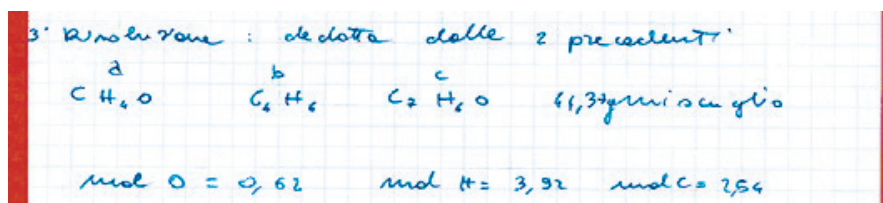


Figura 9. Rappresentazione del problema per la terza soluzione.

Le moli di O sono anche uguali alle moli di C in a e alle moli 1C in  $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ :

$$6,2 \times 10^{-1} (\text{mol C}) \times (12,01 \text{ g C/mol C}) = 7,446 \text{ g (grammi di C in a e di 1C in } \text{C}_7\text{H}_6\text{O)}$$

Ora sottraendo al miscuglio i grammi di ossigeno e i grammi del risultato precedente, si ottiene:

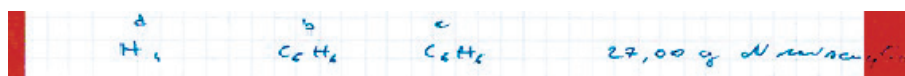


Figura 10. Nuova rappresentazione del problema.

Sottraendo al miscuglio (msc) le moli di C rimaste, divise per 6 e moltiplicate per il peso molecolare del  $\text{C}_6\text{H}_6$ , si ottengono i grammi di  $\text{H}_4$  in a.

$$2,54 \text{ mol C} - 6,2 \times 10^{-1} \text{ mol C} = 1,92 \text{ mol C}$$

$$(1,92 \text{ mol C}) / (6 \text{ mol C} / 1 \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_6) = 3,2 \times 10^{-1} \text{ mol } \text{C}_6\text{H}_6 \equiv 24,995 \text{ g } \text{C}_6\text{H}_6$$

$$27,005 \text{ g msc} - 24,995 \text{ g } \text{C}_6\text{H}_6 = 2,010 \text{ g H in a}$$

$$\text{Mol H} = (2,010 \text{ g H}) / (4 \text{ mol H}) \times (1,008 \text{ g H/mol H}) = 5,0 \times 10^{-1} \text{ mol H}$$

$$\text{Le moli del composto c si trovano facendo: mol O} - \text{mol a} = 1,2 \times 10^{-1}$$

E le  $b$  moli facendo:  $2,54 \text{ mol C} - 5,0 \times 10^{-1} \text{ mol C (in a)} - (1,2 \times 10^{-1} \text{ mol c}) \times (7 \text{ mol C/1 mol c}) = 1,20 \text{ mol C nel composto } b$

$(1,20 \text{ mol C}) / (6 \text{ mol C/1 mol } C_6H_6) = 2,0 \times 10^{-1} \text{ mol } C_6H_6 \equiv 15,62 \text{ g } C_6H_6$  (nel miscuglio)

Lo studente ha ‘costruito’ una soluzione originale utilizzando al meglio le informazioni delle soluzioni precedenti.

Cosa si può dire della seguente fantastica e potente soluzione? L’unica mancanza sono le spiegazioni e di come e in quanto tempo l’autrice sia giunta a scoprire questa maniera di risolvere il problema.

N° 145

$$2H_4O \quad C_6H_6 \quad C_7H_6O$$

44,37g  
 C 68,74%    H - 8,905 · 10<sup>-1</sup>%    O = 22,36%

moli di C =  $\frac{30,49 \text{ g di C}}{12,01 \text{ g/mol}} = 2,540 \text{ mol}$   
 moli di H =  $\frac{395 \text{ g}}{1,008 \text{ g/mol}} = 3,920 \text{ mol}$   
 moli di O =  $\frac{9,98 \text{ g}}{16,00 \text{ g/mol}} = 6,200 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$

moli tot =  $65,22 \cdot 10^{-1} \text{ mol}$   
 % di  $C_6H_6$  è noto 12 moli , in tutto 32 moli  
 $65,22 \cdot 10^{-1} : x = 32 : 12 \quad x = 0,20 \text{ mol}$   
 $PM(C_6H_6) = 78,10 \text{ g/mol} \quad g \text{ di } C_6H_6 = 78,10 \text{ g/mol} \cdot 0,20 \text{ mol} = 15,62 \text{ g}$

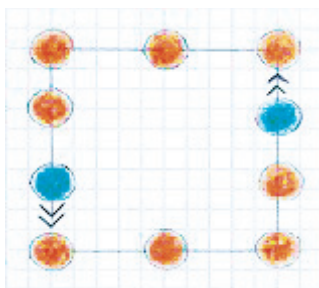
Potrebbe il lettore stabilire se la soluzione è generale oppure è stata trovata per caso?

L’intuizione, la comprensione profonda o insight, può essere ricercata e trovata, se il solutore è mosso da una forte motivazione e dal desiderio di vincere una sfida: l’attività deve essere fortemente motivante. “We define an activity as being intrinsically motivating if people engage in it for its own sake, rather than in order to receive some external reward or avoid some external punishment. We use the words fun, interesting, captivating, enjoyable, and intrinsically motivating all more or less interchangeably to describe such activities. We consider a particular instance of learning intrinsically motivated if the most narrowly defined activity in which the learning occurs is intrinsically motivated.” (Malone, Lepper, 1987, p. 229).

Un altro esempio di ‘costruzione’ della soluzione riguarda il problema dei 10 bicchieri (problema 7). Come si possono disporre 10 bicchieri in mo-



do da formare una figura geometrica regolare, con lo stesso numero di bicchieri in ogni lato? Lo studente inizia la disposizione pensando di formare un quadrato, ma scopre che sono sufficienti 8 bicchieri. Dispone i 10 bicchieri come in figura 11.



**Figura 11.** Disposizione ‘dinamica’ di 10 bicchieri.

Comprende che per risolvere il problema secondo le regole deve muovere i due bicchieri nei lati verticali in modo da avere lo stesso numero in ogni lato. L’unica possibilità è infilare i due bicchieri nei bicchieri posti nei due spigoli in modo da avere 4 bicchieri in ogni lato e avere una soluzione del problema. L’altra soluzione si ha con la figura del pentagono, con 3 bicchieri in ogni lato.

## **Conclusioni**

Gli insegnanti professionalmente preparati e con una passione per l’insegnamento possono fare molto nella direzione indicata in questo articolo. Tra i nostri studenti ci sono alcuni con capacità superiori alla media, i così detti studenti ‘gifted’. Chi sono questi studenti? Sono studenti che hanno delle abilità e che sono mossi dal desiderio di partecipare al processo educativo e alle proposte didattiche dell’insegnante. “the most able learners are not always exceptionally strong ‘across the board’ even within science, or within an individual science discipline such as chemistry. Ignoring this point can lead to both putting too much pressure on the nominated gifted students ... in areas where they are not especially strong, and also ignoring the potential of other learners to work at very high levels on certain types of tasks.” (Taber, 2007, p. 5).

Nel nostro paese manca un’attenzione per questi studenti che spesso vengono considerati come studenti che danno fastidio, in quanto spesso si annoiano ascoltando lezioni per loro prive di sfide, di mordente. Ma ci sono delle lodevoli eccezioni. Degno di menzione è il lavoro fatto nel progetto europeo PROFILES, che ha interessato molti insegnanti in progetti finalizzati a coinvolgere gli studenti in attività di apprendimento attivo, attraverso approcci basati sull’Inquiry Based Science Education (IBSE) mo-

tivazionale. (Brianzoni, Cardellini, 2015) Anche nelle classi normali con insegnanti non comuni, possono aver luogo esperienze di grande valore didattico. Siamo ora in una scuola elementare, con due maestre, una di italiano e l'altra di matematica che insegnano in classi diverse e collaborano condividendo una grande passione per l'insegnamento. Sono le animatrici del progetto "BIS ... cotti e mangiati!"

(<http://www.profiles.univpm.it/sites/www.profiles.univpm.it/files/profiles/MODULI/Biscotti%26Mangiati.pdf>). I bambini di quarta lavorano ogni tanto su problemi di logica e uno dei problemi proposti è il seguente.

Le caramelle di Carletto. Per il suo compleanno Carletto ha ricevuto una confezione con 28 caramelle. Carletto è un bambino molto goloso e ogni giorno mangia il doppio delle caramelle del giorno precedente; in tre giorni le caramelle sono finite. Quante caramelle Carletto mangia ogni giorno?

**2° IPOTESI**

1° giorno	2° giorno	3° giorno
1 <sup>a</sup> parte	2 <sup>a</sup> parte	3 <sup>a</sup> parte

in 3 giorni = 7 parti (cioè 28 caramelle)

1° giorno =  $28 : 7 = 4$   
 2° giorno =  $4 \times 2 = 8$   
 3° giorno =  $4 \times 4 = 16$

**Figura 12.** La soluzione del problema da parte di un bambino di 10 anni.

Possiamo osservare che alcuni passaggi logici avvenuti nella mente del bambino non sono stati riportati. Infatti, dopo aver stabilito le tre parti, è riportato che in tre giorni sono state mangiate 7 parti, ovvero il primo giorno 1 parte, il secondo 2 parti e il terzo giorno 4 parti, come viene evidenziato nella parte finale. Soluzione brillante e generale. Vale per tutte le quantità multiple di 7. Inoltre, questa soluzione è la seconda ipotesi; dunque, c'è stato un altro tentativo che non è andato a buon fine. In questo continuare a cercare la soluzione risiede gran parte dell'importanza di questa soluzione, perché "The hallmark of successful individuals is that they love learning, they seek challenges, they value effort, and they persist in the face of obstacles." (Dweck, 2000, p. 1).

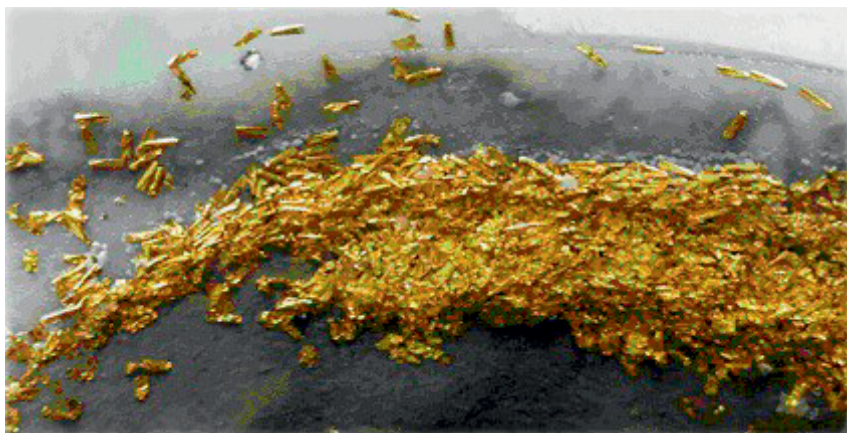
Al congresso di Paestum della divisione didattica della SCI sono state presentate diverse comunicazioni molto interessanti. Vorrei fare cenno ad un paio, che contengono elementi di creatività e di insegnamento significativo. La prima è un'esperienza di coinvolgimento attivo degli allievi in una scuola secondaria di I grado in provincia di Salerno. La collaborazione tra alcuni insegnanti ha permesso lo sviluppo di un progetto per il monitoraggio delle polveri sottili: gli studenti sono stati coinvolti nella progettazione e nella realizzazione di una centralina e nel controllo dei dati acquisiti.



**Figura 13.** La classe all'opera con l'insegnante per strada, fuori dalla classe.

Diversi aspetti rilevanti caratterizzano questo lavoro. Intanto, l'interesse e la motivazione degli studenti coinvolti in una specie di avventura cognitiva entusiasmante, non sempre facile e in alcuni ambienti sociali difficili potrebbe avere del miracoloso, come trovarsi per lavorare sul progetto nel pomeriggio. Se pensiamo al contesto sociale dobbiamo riconoscere il grande valore del lavoro educativo e formativo fatto dall'insegnante. Poi, l'acquisizione da parte degli allievi di conoscenze interdisciplinari che vanno oltre il programma, come per esempio l'utilizzo della legge di Ohm: ciò che Piaget chiamerebbe il *décalage* verticale.

Un altro esempio di creatività presentato al congresso è il recupero dell'oro dai rifiuti RAEE. I computer contengono piccole quantità diversi metalli preziosi; l'oro viene recuperato utilizzando l'acido nitrico e l'acqua regia, reagenti molto inquinanti. Facendo molte prove e utilizzando al meglio la conoscenza chimica, insegnante e studenti hanno messo a punto un processo che utilizza come sistema ossidante  $\text{FeCl}_3$  e  $\text{HCl}$ , e per filtrazione si recupera l'oro.



**Figura 14.** Una beuta contenente l'oro recuperato.

Queste e molte altre esperienze hanno avuto successo sia per lo spessore professionale e umano dell'insegnante che per la presenza di studenti desiderosi di utilizzare al meglio le loro capacità. La presenza di questi studenti, che quando va bene sono una minoranza, è preziosa e va valorizzata perché costituiscono un esempio per il resto della classe. Inoltre, tra questi studenti con maggiore probabilità si possono trovare coloro che hanno idee creative e geniali. Diventare esperti in qualcosa richiede un impegno serio e prolungato e questo è possibile soltanto se l'ambiente di apprendimento lo favorisce. Secondo Anders Ericsson, le prestazioni eccezionali sono il prodotto della pratica intenzionale (Deliberate practice) e del coaching. (Ericsson, Krampe, Tesch-Römer, 1993). La pratica intenzionale può essere definita come “goal-directed activities designed to improve specific aspects of performance through gradual improvements by repetition on the tasks with diagnostic feedback and opportunities for reflection.” (Ericsson, Moxley, 2014, p. 410).

Se consideriamo le molte soluzioni indipendenti trovate dagli studenti al problema di chimica, probabilmente impossibili da concepire per noi esperti, dobbiamo riconoscere le capacità e si potrebbe usare anche la parola genialità per descrivere il modo di ragionare di alcuni studenti. Forse un servizio importante che la scuola potrebbe fare alla società è quello di aiutare questi studenti a continuare a sviluppare le loro menti. Un suggerimento utile potrebbe essere di trasferire ai nostri studenti le numerose strategie che negli anni abbiamo accumulato e questo è possibile qualunque sia la materia che insegniamo. Probabilmente tutti gli insegnanti che hanno un impatto in qualche modo conquistano i loro studenti mettendo in pratica il suggerimento di Dudley Herron: “The real question is how one can get students interested in learning—more correctly, interested in learning

those things that adults deem worthwhile. Seduction, I think.” (Cardellini, 2002, p. 57).

### **Ringraziamenti**

Ringrazio Giovanna Paccazzocco e Cinzia Principi, Scuola elementare “Madre Teresa di Calcutta”, Osimo Stazione (AN); Luca Scalzullo, Scuola Secondaria di I grado “Solimena-De Lorenzo”, Nocera Inferiore (SA) e Teresa Cecchi, ITIS “G. e M. Montani”, Fermo, per avermi fatto conoscere da vicino i risultati del loro lavoro.

### **Bibliografia**

- B. Adelson, When novices surpass experts: The difficulty of a task may increase with expertise. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1984, **10** (3), 483-495.
- M. W. Alibali, K. M. O. Phillips, A. D. Fischer, Learning new problem-solving strategies leads to changes in problem representation. *Cognitive Development*, 2009, **24** (2), 89-101.
- J. R. Anderson, Knowledge compilation: The general learning mechanism. In R. S. Michalski, J. G. Carbonell, T. M. Mitchell (Eds.), *Machine learning: An artificial intelligence approach*, Vol. 2 (pp. 289-310) Morgan Kaufmann: Los Altos, CA, 1986.
- J. R. Anderson, *Cognitive psychology and its implications*, 4 Ed. W. H. Freeman, New York, 1995.
- A. Baddeley, The magical number seven: Still magic after all these years? *Psychological Review*, 1994, **101** (2), 353-356.
- A. Baddeley, Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 2003, **4** (10), 829-839.
- K. Bain, *What the best college teachers do*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2004.
- F. C. Bartlett, *Thinking*. Basic Books: New York, 1958.
- R. A. Beghetto, Creativity in the Classroom. In J. C. Kaufman, R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 447-463). Cambridge University Press, New York, 2010.
- H. A. Bent, Uses (and abuses) of models in teaching chemistry. *Journal of Chemical Education*, 1984, **61** (9), 774-777.
- G. M. Bodner, The role of algorithms in teaching problem solving. *Journal of Chemical Education*, 1987, **64** (6), 513-514.
- G. M. Bodner, A view from chemistry. In M. U. Smith (Ed.), *Toward a unified theory of problem solving* (pp. 21-33). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1991.
- G. M. Bodner, T. L. B. McMillen, Cognitive restructuring as an early stage in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 1986, **23** (8), 727-737.
- V. Brianzoni, L. Cardellini, Il progetto europeo PROFILES e il suo impatto in Italia. *La Chimica nella Scuola*, 2015, **37** (3), 39-60.
- J. C. Campione, A. L. Brown, Learning ability and transfer propensity as source of individual differences in intelligence. In P. H. Brooks, R. Sperber, C. McCauley, (Eds.), *Learning and cognition in the mentally retarded* (pp. 265-309). Erlbaum,

Hillsdale, NJ, 1984.

L. Cardellini, Il metodo Hansel e Gretel. *La Chimica nella Scuola*, 1996a, **18** (2), 58-59.

L. Cardellini, Calcoli stechiometrici. *La Chimica nella Scuola*, 1996b, **18** (4), 133-134.

L. Cardellini, An Interview with J. Dudley Herron, *Journal of Chemical Education*, 2002, **79** (1), 53-59.

L. Cardellini, The foundations of radical constructivism: An interview with E. von Glasersfeld. *Foundations of Chemistry*, 2006a, **8** (2), 177-187.

L. Cardellini, Fostering creative problem solving in chemistry through group work. *Chemistry Education Research and Practice*, 2006b, **7** (2), 131-140.

L. Cardellini, Problem solving through cooperative learning in the chemistry classroom. In I. Devetak, S. A. Glažar (Eds.), *Learning with Understanding in the Chemistry Classroom*, (pp. 149-163). Springer: Dordrecht, 2014.

L. Cardellini, Problem solving e creatività: How to get there. *La Chimica nella Scuola*, 2016, **38** (1), 49-74.

L. Cardellini, A. H. Johnstone, Abilità cognitive e creatività nel problem solving. *La Chimica nella Scuola*, 2015, **37** (4), 39-49.

L. Cardellini, J. Pascual-Leone, On mentors, cognitive development, education, and constructivism: An interview with Juan Pascual-Leone. *Journal of Cognitive Education and Psychology*, 2004, **4** (2), 199-219.

R. Catrambone, K. J. Holyoak, Overcoming contextual limitations on problem-solving transfer. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1989, **15** (6), 1147-1156.

M. T. H. Chi, R. Glaser, Overview. In M. T. H. Chi, R. Glaser, M. J. Farr (Eds.), *The nature of expertise* (pp. xv-xxviii). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1988.

M. T. H. Chi, P. J. Feltovich, R. Glaser, Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 1981, **5** (2), 121-152.

E. L. Chiappetta, T. R. Koballa Jr., *Science instruction in the middle and secondary schools. Developing fundamental knowledge and skills*, 8th Ed. Pearson: Boston, 2015.

J. Cohen, M. Kennedy-Justice, S. Pai, C. Torres, R. Toomey, E. DePierro, F. Garafalo, Encouraging meaningful quantitative problem solving. *Journal of Chemical Education*, 2000, **77** (9), 1166-1173.

B. P. Coppola, Progress in practice: Three plenaries I. Richard N. Zare, enhance, enable, and elucidate. *The Chemical Educator*, 1998, **3** (3), s00897980215a.

N. Cowan, The magical mystery four: How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 2010, **19** (1), 51-57.

E. Danili, N. Reid, Cognitive factors that can potentially affect pupils' test performance. *Chemistry Education Research and Practice*, 2006, **7** (2), 64-83.

R. L. Dominowski, P. Dallob, Insight and problem solving. In R. J. Sternberg, J. E. Davidson, (Eds.), *The nature of insight* (pp. 33-62). Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.

K. Duncker, On problem solving. *Psychological Monographs*, 1945, **58** (5), 1-113.

C. S. Dweck, *Self-theories: their role in motivation, personality and development*. Psychology Press: New York, 2000.

- C. S. Dweck, *Mindset: The new psychology of success*. Random House: New York, 2007.
- R. W. Engle, M. J. Kane, S. W. Tuholski, Individual differences in working memory capacity and what they tell us about controlled attention, general fluid intelligence, and functions of the prefrontal cortex. In A. Miyake, P. Shah (Eds.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (pp. 102-134). New York, NY: Cambridge University Press, 1999.
- K. A. Ericsson, The influence of experience and deliberate practice on the development of superior expert performance. In K. A. Ericsson, N. Charness, P. J. Feltovich, R. R. Hoffman (Eds.), *The Cambridge handbook of expertise and expert performance* (pp. 683-703). Cambridge University Press: New York, 2006.
- K. A. Ericsson, J. H. Moxley, Experts' superior memory: From accumulation of chunks to building memory skills that mediate improved performance and learning. In T. J. Perfect, D. S. Lindsay (Eds.), *The SAGE handbook of applied memory* (pp. 404-420). SAGE: London, 2014.
- K. A. Ericsson, W. G. Chase, S. Faloon, Acquisition of a memory skill. *Science*, 1980, **208** (4448), 1181-1182.
- K. A. Ericsson, R. T. Krampe, C. Tesch-Romer, The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 1993, **100** (3), 363-406.
- R. M. Felder, R. Brent, Cooperative Learning. In P.A. Mabrouk (Ed.), *Active learning: Models from the analytical sciences* (pp. 34-53). American Chemical Society: Washington, DC, 2007.
- R. M. Felder, R. Brent, *Teaching and learning STEM: A practical guide*. Jossey-Bass: San Francisco, CA, 2016.
- M. L. Gick, Problem-solving strategies. *Educational Psychologist*, 1986, **21** (1-2), 99-120.
- M. L. Gick, K. J. Holyoak, Analogical problem solving. *Cognitive Psychology*, 1980, **12** (3), 306-355.
- M. Gray, Lo mejor es enemigo de lo bueno. In I. Gilbert (Ed.), *The big book of independent thinking. Do things no one does or do things everyone does in a way no one does* (pp. 77-95). Crown House Publishing Ltd: Norwalk, CT, 2006.
- H. D. Grossman, The twelve-coin problem. *Scripta Mathematica*, 1945, **11**, 360-363.
- J. R. Hayes, *The complete problem solver*, 2nd Ed. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1989.
- J. D. Herron, T. J. Greenbowe, What can we do about sue: A case study of competence. *Journal of Chemical Education*, 1986, **63** (6), 528-531.
- J. D. Herron, Research in chemical education: results and directions. In M. Gardner, J. G. Greeno, F. Reif, A. H. Schoenfeld, A. Disessa, E. Stage (Eds.), *Toward a scientific practice of science education* (pp. 31-54). Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1990.
- A. M. Isen, K. A. Daubman, G. P. Nowicki, Positive affect facilitates creative problem solving. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1987, **52** (6), 1122-1131.
- P. W. Jackson, Teaching as a moral enterprise. In M. Lang, J. Olson, H. Hansen, W. Bünder (Eds.), *Changing schools/changing practices: Perspectives on educational reform and teacher professionalism* (pp. 81-89). Garant: Louvain, 1999.
- A. H. Johnstone, Can problem solving be taught? *University Chemistry Education*, 2001, **5** (2), 69-73.

- A. H. Johnstone, H. El-Banna, Capacities, demands and processes - a predictive model for science education. *Education in Chemistry*, 1986, **23** (3), pp. 80-84.
- A. H. Johnstone, H. El-Banna, Understanding learning difficulties - A predictive research model. *Studies in Higher Education*, 1989, **14** (2), 159-168.
- A. H. Johnstone, W. R. Hogg, P. R. P. MacGuire, S. H. Raja, How long is a chain? Reasoning in science. *School Science Review*, 1997, **78** (285), 73-77.
- D. H. Jonassen, *Learning to solve problems: An instructional design guide*. San Francisco, CA: Pfeiffer, 2004.
- D. H. Jonassen, *Learning to solve problems. A handbook for designing problem-solving learning environments*. New York: Routledge, 2011.
- J. C. Kaufman, R. J. Sternberg, Resource review: Creativity. *Change*, 2007, **39** (July/August), 55-58.
- A. King, From sage on the stage to guide on the side. *College Teaching*, 1993, **41** (1), 30-35.
- A. Kozbelt, R. A. Beghetto, M. A. Runco, Theories of creativity. In J. C. Kaufman, R. J. Sternberg (Eds.), *The Cambridge handbook of creativity* (pp. 20-47). Cambridge University Press: New York, 2010.
- D. R. Krathwohl, A revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory into Practice*, 2002, **41** (4), 212-218.
- J. Larkin, J. McDermott, D. P. Simon, H. A. Simon, Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*, 1980, **208** (4450), 1335-1342.
- K.-W. L. Lee, W.-U. Tang, N.-K. Goh, L.-S. Chia, The predicting role of cognitive variables in problem solving in mole concept. *Chemistry Education Research and Practice*, 2001, **2**, (3), 285-301.
- M. Levine, *Effective problem solving*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, NJ, 1994.
- W. T. Lippincott, Why students hate chemistry. *Journal of Chemical Education*, 1979, **56** (1), 1-1.
- T. W. Malone, M. R. Lepper, (1987) Making learning fun: A taxonomy of intrinsic motivations for learning. In R. E. Snow, M. J. Farr (Eds.), *Aptitude, learning and instruction. Vol. 3: Conative and affective process analyses* (pp. 223-253). Erlbaum: Hillsdale, NJ, 1987.
- R. J. Marzano, *The art and science of teaching: a comprehensive framework for effective instruction*. Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD): Alexandria, VA, 2007.
- R. E. Mayer, *Thinking, problem solving, cognition*, 2nd Ed., W. H. Freeman: New York, 1992.
- R. E. Mayer, Human nonadversary problem solving. In K. J. Gilhooly, (Ed.), *Human and machine problem solving* (p. 39-56). Plenum Press: New York, 1989.
- R. E. Mayer, The search for insight: Grappling with Gestalt Psychology's unanswered questions. In R. J. Sternberg, J. E. Davidson, (Eds.), *The nature of insight* (pp. 3-32). Cambridge, MA: The MIT Press, 1995.
- R. E. Mayer, Fifty years of creativity research. In R. J. Sternberg (Ed.), *Handbook of Creativity* (pp. 449-460). Cambridge University Press: New York, 1999.
- R. E. Mayer, Intelligence and achievement. In R. J. Sternberg, S. B. Kaufman (Eds), *The Cambridge handbook of intelligence* (pp. 738-747). Cambridge University Press, New York, 2011.



- G. A. Miller, The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 1956, **101** (2), 343-352.
- A. Moè, Emotional contagion in the classroom: How much can a teacher's enthusiasm increase students' achievement motivation? In J. P. Henderson, & A. D. Lawrence (Eds.), *Teaching strategies* (pp. 367-376). New York: Nova, 2011.
- A. Moè, F. Pazzaglia, L. Ronconi, When being able is not enough. The combined value of positive affect and self-efficacy for job satisfaction in teaching. *Teaching and Teacher Education*, 2010, **26** (5), 1145-1153.
- D. Moseley, V. Baumfield, J. Elliott, M. Gregson, S. Higgins, J. Miller, D. Newton, *Frameworks for thinking. A handbook for teaching and learning*. Cambridge University Press: New York, 2005.
- A. Newell, H. A. Simon, *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1972.
- M. Niaz, R. H. Logie, Working memory, mental capacity and science education: toward an understanding of the 'Working memory overload hypothesis'. *Oxford Review of Education*, 1993, **19** (4), 511-525.
- R. S. Nickerson, D. N. Perkins, E. E. Smith, *The teaching of thinking*. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1985.
- R. S. Nickerson, How to discourage creative thinking in the classroom. In R. A. Beghetto, J. C. Kaufman (Eds.), *Nurturing creativity in the classroom* (pp. 1-5). Cambridge University Press: New York, 2010.
- L. R. Novick, K. J. Holyoak, Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1991, **17** (3), 398-415.
- H. Patrick, J. C. Turner, D. K. Meyer, C. Midgley, How teachers establish psychological environments during the first days of school: Associations with avoidance in mathematics. *Teachers College Record*, 2003, **105** (8), 1521-1558.
- A. G. Priest, R. O. Lindsay, New light on novice-expert differences in physics problem solving. *British Journal of Psychology*, 1992, **83** (3), 389-405.
- N. Reid, Working memory and science education: conclusions and implications. *Research in Science & Technological Education*, 2009, **27** (2), 245-250.
- R. Reif, Teaching problem solving - A scientific approach. *Physics Teacher*, 1981, **19** (5), 310-316.
- R. Ritchhart, D. Perkins, Making thinking visible. *Educational Leadership*, 2008, **65** (5), 57-61.
- R. Ritchhart, M. Church, K. Morrison, *Making thinking visible: How to promote engagement, understanding, and independence for all learners*. Jossey-Bass: San Francisco, CA, 2011.
- R. R. Ronning, D. McCurdy, R. Ballinger, Individual differences: A third component in problem-solving instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 1984, **21** (1), 71-82.
- B. H. Ross, This is like that: the use of earlier problems and the separation of similarity effects. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1987, **13** (4), 629-639.
- M. A. Runco, Creative interpretations of educational contradictions. In R. A. Beghetto, B. Sriraman (Eds.), *Creative contradictions in education. Cross disciplinary paradoxes and perspectives* (pp. 75-87). Springer: Switzerland, 2017.

- R. K. Sawyer, *Explaining creativity. The science of human innovation*, 2nd ed. Oxford University Press: New York, 2012.
- P. Sahlberg, The secret to Finland's success: Educating teachers. *SCOPE*, September 2010. Retrieved 10/03/2017, from <https://edpolicy.stanford.edu/publications/pubs/290>.
- R. J. Shavelson, Some aspects of the correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction. *Journal of Educational Psychology*, 1972, **63** (3), 225-234.
- R. J. Shavelson, Methods for examining representations of subject matter structure in a student's memory. *Journal of Research in Science Teaching*, 1974, **11** (3), 231-249.
- A. H. Schoenfeld, On mathematics as sense-making: An informal attack on the unfortunate divorce of formal and informal mathematics. In J. F. Voss, D. N. Perkins, J. W. Segal (Eds.), *Informal reasoning and education* (pp. 311-343). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1991.
- L. V. Shavinina, Where did all the great innovator come from? Lessons from early childhood and adolescent education of Nobel laureates in science. In L. V. Shavinina (Ed.), *The Routledge international handbook of innovation education* (pp. 258-272). Routledge: New York, 2013.
- H. A. Simon, How big is a chunk? *Science*, 1974, **183** (4124), 482-488.
- S. Simon, S. Campbell, Teacher learning and professional development in science education. In B. J. Fraser, K. Tobin, C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education*, Vol. 1 (pp. 307-321). Springer: Dordrecht, Heidelberg, 2012.
- D. P. Simon, H. A. Simon, Individual differences in solving physics problems. In R. S. Siegler (Ed.), *Children's thinking: What develops?* (pp. 325-348). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1978.
- R. J. Sternberg, *The triarchic mind. A new theory of human intelligence*. Viking. New York, 1988.
- R. J. Sternberg, The concept of intelligence and its role in lifelong learning and success. *American Psychologist*, 1997, **52** (10), 1030-1037.
- R. J. Sternberg, Intelligence as developing expertise. *Contemporary Educational Psychology*, 1999, **24** (4), 359-375.
- R. J. Sternberg, A broad view of intelligence. The theory of successful intelligence. *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, 2003, **55** (3), 139-154.
- R. J. Sternberg, The nature of creativity. *Creativity Research Journal*, 2006, **18** (1), 87-98.
- R. J. Sternberg, W. M. Williams, *How to develop student creativity*. Association for Supervision and Curriculum Development: Alexandria, VA, 1996.
- R. J. Sternberg, E. L. Grigorenko, Intelligence and culture: How culture shapes what intelligence means, and the implications for a science of well-being. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, 2004, **359** (1449), 1427-1434.
- M. D. Svinicki, W. J. McKeachie, *McKeachie's teaching tips. Strategies, research, and theory for college and university teachers*, 14 ed. Wadsworth, Cengage Learning: Belmont, CA, 2014.
- J. Sweller, Some cognitive processes and their consequences for the organisation and presentation of information. *Australian Journal of Psychology*, 1993, **45**, (1), 1-8

- K. S. Taber, Science education for gifted learners? In K. S. Taber (Ed.), *Science education for gifted learners* (pp. 1-14). Routledge, New York, 2007.
- M. P. Thro, Relationships between associative and content structure of physics concepts. *Journal of Educational Psychology*, 1978, **70** (6), 971-978.
- D. Wenke, P. A. Frensch, J. Funke, Complex problem solving and intelligence: Empirical relation and causal direction. In R. J. Sternberg, J. E. Pretz, (Eds.), *Cognition and intelligence. Identifying the mechanisms of the mind* (pp. 160-187). Cambridge University Press: New York, 2005.
- J. Wery, M. M. Thomson, Motivational strategies to enhance effective learning in teaching struggling students. *Support for Learning*, 2013, **28** (3), 103-108.
- C. Zhou, Fostering creative problem solvers in higher education: A response to complexity of societies. In C. Zhou (Ed.), *Handbook of research on creative problem-solving skill development in higher education* (pp. 1-23). IGI Global: Hershey, PA, 2017.



# **“Fare Chimica con la Luce”: attività didattiche di introduzione alla spettroscopia**

**Giada Silvi,<sup>1</sup> Leonardo Sentieri,<sup>1</sup> Alessandro Lenzi,<sup>1,2</sup>  
Valentina Domenici <sup>\*1,2,3</sup>**

1. Chema srl, Via dell'Energia, Le Morelline 2, Rosignano Solvay (LI).
2. Museo di Storia Naturale di Rosignano, Villa Pertusati, via E. De Filippo, Rosignano Marittimo (LI).
3. Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa, via Moruzzi 13, 56124 Pisa.  
E-mail: valentina.domenici@unipi.it

## **Sommario**

*Parlare di spettroscopia ai ragazzi delle scuole secondarie può sembrare un obiettivo difficile, ma scegliendo opportunamente il linguaggio e il livello di approfondimento, la spettroscopia è un argomento accessibile anche a questo livello scolastico, ed è utile per comprendere alcuni aspetti fondamentali della chimica sia dal punto di vista concettuale che applicativo. Dopo diversi anni di attività didattiche legate alla spettroscopia, sia in ambito formale che non formale, riportiamo qui gli aspetti più significativi della nostra attività rivolta principalmente a studenti delle scuole secondarie di secondo grado (età: 16-18 anni). Alcuni elementi principali dell'approccio didattico da noi utilizzato, sia che l'intervento didattico si svolga all'interno della classe, in un contesto più strutturato, sia all'interno del contesto non formale, come quello del museo o di un festival della scienza, sono il carattere interattivo, l'alto livello di partecipazione attiva da parte dei ragazzi e la presenza di attività laboratoriali, più o meno strutturate.*

*In questo contributo, verranno descritte schematicamente alcune attività didattiche sperimentate sia con piccoli gruppi di studenti nell'ambito dell'alternanza scuola-lavoro e dell'orientamento PLS, sia con classi che hanno partecipato a laboratori didattici ideati ad hoc all'interno di un contesto museale o nell'ambito del Festival della Scienza di Genova. Le attività di cui tratteremo in questo articolo riguardano principalmente la spettroscopia di assorbimento molecolare nella regione della luce visibile. Da un punto di vista didattico, infatti, la spettroscopia di assorbimento nel visibile è più semplice da spiegare rispetto ad altre spettroscopie, proprio per l'associazione dei diversi colori alle diverse lunghezze d'onda.*

*Nell'ultima parte dell'articolo commenteremo vantaggi e svantaggi di questo approccio didattico sulla base dell'esperienza maturata negli anni, evidenziando anche gli aspetti multidisciplinari e le riflessioni sul rapporto tra la chimica e la vita di tutti i giorni, emersi dai lavori svolti con gli studenti.*

**Parole Chiave:** *didattica laboratoriale, alternanza scuola-lavoro, PLS, inquiry-based learning, project-based learning, ambito non formale, scuola secondaria di secondo grado.*

**Abstract:**

*Spectroscopy is considered a difficult topic, since it requires a high level of interdisciplinarity and a solid knowledge in chemistry, physics and mathematics. However, it is possible to introduce high school students to spectroscopy, by choosing the appropriate languages and concepts' deepening. Atomic and molecular spectroscopy, on the other hand, allows the teacher to treat several fundamental concepts in chemistry as well as several applications in everyday life, which usually stimulate students' curiosity and interest. In this paper, we report our experiences about didactic activities on spectroscopy with students of high school level (16-18 years old), either in formal environments (i.e. in the class) or in informal contexts (i.e. science museums and science festivals). Our didactic approach is based on the active participation of students who interact with us, perform several laboratory activities in small groups by themselves or with us during demonstration activities. Despite of the different level of organization of the activities (more or less structured ones depending on the context) one of the key-points of our approach is the balance between active participation, interactivity and links with real and everyday life problems.*

*In this paper, the general scheme of the activities, with a certain level of flexibility, is described, mainly focusing on visible light absorption spectroscopy. This type of spectroscopy is indeed the most accessible to high school students and, in general, to people who does not know what spectroscopy means. From the educational point of view, visible light spectroscopy is not so difficult to be introduced to beginners, due to the direct relationship between wavelengths and colours. In the last part of the paper, we will discuss advantages and disadvantages of our didactic approach, based on more than ten years of experience in the schools and in informal contexts. Multidisciplinary aspects and the relationship between spectroscopy and everyday life will close our considerations.*

**Key-words:** *laboratory activities, inquiry-based learning, project-based learning, non formal context, museum, festival of science, high school.*

## Introduzione

La spettroscopia molecolare viene introdotta in alcune scuole secondarie di II grado, ed è un argomento con molti aspetti multidisciplinari tanto che viene affrontato sia negli insegnamenti di chimica che in quelli di fisica (ad esempio, nei licei scientifici). Anche se la comprensione approfondita della spettroscopia molecolare richiederebbe di conoscere alcuni principi di base della meccanica e della chimica quantistica, è possibile parlare di spettroscopia anche ad un livello meno rigoroso e dettagliato, ricorrendo ad alcuni concetti più semplici e intuitivi, adottando un metodo più sperimentale e meno teorico, rispetto a come viene generalmente spiegata la spettroscopia a livello universitario.

L'esperienza di alcuni degli autori (V.D. e A.L.), maturata in tale campo sia a livello di ricerca scientifica che di insegnamento di questa disciplina in ambito universitario e in centri di ricerca nazionali e internazionali, ha rappresentato l'occasione per sviluppare dei percorsi didattici di introduzione alla spettroscopia adatti agli studenti delle scuole secondarie di secondo grado sia in un contesto formale, come quello scolastico, che in un contesto non formale, come quello museale. In particolare, uno degli autori (V.D.) ha affrontato da un punto di vista didattico il tema della spettroscopia molecolare e delle sue applicazioni nella vita di ogni giorno nell'ambito di un progetto del Consiglio della Regione Toscana per la divulgazione scientifica, «**Pianeta Galileo**» (<http://www.consiglio.regione.toscana.it/pianeta-galileo/>), calibrando una serie di incontri con gli studenti, principalmente delle classi 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> delle scuole secondarie di II grado (i.e. istituti tecnici di vari indirizzi, licei scientifici, licei scientifici opzione scienze applicate, licei classici).

Questi interventi nelle scuole, che si intitolano “*Fare Chimica con la luce: la Spettroscopia*” [1], sono iniziati nel 2012 e continuano ancora oggi in varie scuole secondarie della regione Toscana. A fianco di questa attività di introduzione alla spettroscopia, che rientrano spesso nei programmi di “orientamento” delle scuole e che hanno anche l'obiettivo di avvicinare gli studenti alla chimica, negli ultimi dieci anni, il nostro gruppo di lavoro è stato coinvolto nella progettazione di una serie di attività, che includono laboratori didattici, video didattici per alcuni portali [2-4], progetti di alternanza scuola-lavoro (ASL) e laboratori dimostrativi in contesti non formali (come in occasione di varie edizioni della *Notte europea dei ricercatori* (<http://www.nottedeiricercatori.it/>) [5] e dell'edizione 2017 del *Festival della Scienza di Genova* ([https://people.unipi.it/valentina\\_domenici/due-laboratori-didattici-sulla-chimica-al-festival-della-scienza-di-genova/](https://people.unipi.it/valentina_domenici/due-laboratori-didattici-sulla-chimica-al-festival-della-scienza-di-genova/)) (Figura 1) [6].



**Figura 1.** Laboratorio didattico dimostrativo “*Fare Chimica con la luce*” presso il Festival della Scienza di Genova del 2017. (nella foto da sinistra a destra: Giada Silvi - coautore, Gianluca Fazio - animatore del festival, e Leonardo Sentieri - coautore).

Negli ultimi anni, questa attività si è estesa alla progettazione di laboratori didattici nell’ambito dei laboratori PLS (Piano Lauree Scientifiche) organizzati presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell’Università di Pisa. Inoltre, gli autori di questo articolo sono attivamente impegnati nella progettazione e nello sviluppo di strumenti spettroscopici portatili, anche ad uso didattico, con lo *spin-off* dell’Università di Pisa *Chema* [6].

In questo articolo focalizzeremo l’attenzione sulla spettroscopia di assorbimento nella regione della luce visibile, che rappresenta di gran lunga la spettroscopia più accessibile per i ragazzi delle scuole secondarie di II grado, in quanto, ad un primo livello, non necessita la conoscenza di principi quantomeccanici. Presenteremo e commenteremo uno schema di attività didattiche, suddiviso in moduli, ognuno con obiettivi specifici, che, nella forma più completa possono rappresentare un vero e proprio percorso didattico sulla spettroscopia di assorbimento nel visibile da realizzare anche a scuola dagli insegnanti. Parte di questi moduli sono stati sperimentati e riadattati in funzione del contesto (scuola o museo, ad esempio) e sono stati tutti testati e sperimentati direttamente con gli studenti nel corso degli anni. In questo articolo affronteremo alcuni aspetti concettuali, rimandando ad altri testi per i necessari approfondimenti, e descriveremo gli aspetti metodologici, gli obiettivi e le competenze che gli studenti dovrebbero acquisire alla fine delle varie attività.

Un primo obiettivo generale di questo percorso è legato agli **aspetti chimici**. Gli studenti, infatti, scoprono, nel corso delle esperienze, che non tutte le sostanze assorbono le onde elettromagnetiche nel visibile, ma che, al contrario, le molecole, così come gli atomi, sono molto selettivi nei confronti della luce. In alcune attività laboratoriali è previsto l’utilizzo di uno spettrofotometro (da banco o portatile) per la registrazione dello spettro di assorbimento di varie soluzioni, preparate in laboratorio dagli stessi ra-



gazzi, di sostanze coloranti, ovvero pigmenti, sia sintetici che naturali, e di campioni molto più complessi, come oli di varia origine botanica o miscele di pigmenti sintetici.

Queste esperienze consentono di scoprire che il colore delle sostanze corrisponde alla loro capacità di assorbire particolari lunghezze d'onda e riflette, quindi, la loro particolare struttura molecolare. E' così possibile associare a diverse sostanze uno spettro di assorbimento con una forma specifica, talvolta piuttosto complessa, distintiva per ogni tipo di sostanza chimica. Uno dei moduli del percorso didattico prevede anche una attività di laboratorio di tipo investigativo per consentire agli allievi di apprendere in modo efficace una delle leggi empiriche più importanti su cui si basa l'utilizzo quantitativo della spettroscopia di assorbimento nella regione del visibile: la legge di *Lambert-Beer*.

Un secondo obiettivo generale è legato alla comprensione degli **aspetti fisici** associati al funzionamento della strumentazione usata nei laboratori. Nell'insegnamento di fisica di alcune scuole superiori, gli studenti affrontano, infatti, alcuni argomenti, come il concetto di onda, i fenomeni ottici della rifrazione e della riflessione, e in alcuni casi anche dell'interferenza e della diffrazione.

Questi argomenti relativi all'ottica geometrica possono essere appresi dagli studenti attraverso sia un approccio sperimentale che matematico-formale, proprio studiando la luce visibile. Esistono tra l'altro esempi di fenomeni molto affascinanti che tutti i ragazzi sperimentano nella loro vita, come l'arcobaleno, che possono essere spiegati in modo molto efficace con entrambi gli approcci [7]. In alcune attività, proposte nell'ambito del Festival della Scienza [8] e di alcuni laboratori svolti presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano [9] abbiamo potuto sperimentare quanto i ragazzi siano incuriositi dai fenomeni luminosi e quanto l'approccio laboratoriale sia efficace per la loro comprensione dei fenomeni (Figura 2).

Un terzo obiettivo generale che questo percorso si pone riguarda gli **aspetti multidisciplinari** e più **applicativi** della spettroscopia di assorbimento nella regione del visibile. Attraverso alcune esperienze gli studenti possono comprendere come la chimica entri quotidianamente nella nostra vita e quanto la spettroscopia, in particolare, sia utile per risolvere alcuni problemi pratici. Sia gli esseri umani che gli animali mostrano una specifica sensibilità ai vari colori, che hanno un ruolo spesso cruciale nelle emozioni e in generale nelle reazioni che gli individui hanno alla vista di un colore piuttosto che un altro. Anche nel mondo vegetale molti sono gli esempi che possono essere fatti ai ragazzi sul ruolo dei colori. La presenza dei pigmenti naturali nella frutta e nella verdura, ad esempio, e le loro proprietà nutrizionali associati ad una corretta alimentazione sono altrettanti argomenti di interesse a cui poter attingere [10].



**Figura 2.** Alcuni studenti delle scuole superiori, sotto la nostra supervisione, utilizzano un monocromatore per scomporre la luce bianca in luce monocromatica ruotando, come avviene all'interno di uno strumento reale, vari elementi ottici (alcuni specchi e il reticolo di diffrazione). Foto scattata al Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay durante una mostra didattica (2011) [9].

Applicazioni concrete dell'importanza della spettroscopia nella regione del visibile sono l'oggetto di alcune esperienze proposte nella parte finale del percorso didattico e in alcuni laboratori proposti con successo in ambito museale. Uno di questi riguarda l'utilizzo della spettroscopia di assorbimento nel visibile per individuare adulterazioni e sofisticazioni nell'olio di oliva extra-vergine [11]. Gli studenti utilizzando uno spettrofotometro (da banco o portatile) possono fare alcune analisi su campioni reali, come, ad esempio, oli di oliva di varia qualità o miscele di oli di oliva e oli di girasole o di arachidi, e osservare le caratteristiche qualitative degli spettri. Grazie ad un *software* creato *ad hoc* per l'analisi quantitativa degli spettri di assorbimento dell'olio [12], inoltre, i ragazzi possono facilmente identificare e quantificare alcuni dei principali pigmenti naturali presenti nell'olio, come il beta-carotene, la luteina e i derivati delle clorofille. L'utilizzo di questo strumento permette di apprezzare immediatamente l'importanza della spettroscopia ed è certamente un'attività molto stimolante.

### **Schema del percorso didattico suddiviso in moduli**

In questa parte dell'articolo riportiamo una possibile sequenza di attività suddivise in moduli e caratterizzate per tipologia di approccio didattico, obiettivi didattici e principali aspetti concettuali affrontati.

#### **1) Introduzione alla spettroscopia**

*Lezione introduttiva sulla spettroscopia molecolare.* Indipendentemente

dal contesto (formale o informale) gli studenti devono essere introdotti ai principi di base della spettroscopia o quantomeno all'argomento che stanno per affrontare. Nell'ambito dei laboratori del PLS, ad esempio, l'introduzione può durare da 10 a 20 minuti, ed ha lo scopo di introdurre o richiamare alcuni concetti fondamentali, come quello di spettro elettromagnetico e della duplice natura delle onde elettromagnetiche. L'insegnante potrà fare associazioni con argomenti già affrontati con gli allievi anche in altre discipline (come l'ottica fisica o l'astronomia [1]). La spettroscopia può essere infatti occasione per alcuni approfondimenti storici, in quanto la nascita della spettroscopia atomica può essere associata all'astronomia e allo studio delle stelle (argomento affrontato a scienze - geografia astronomica nei licei scientifici).

*Metodologie.* Questo primo 'incontro' con la spettroscopia può seguire una metodologia tradizionale (lezione frontale) o più interattiva, con l'utilizzo di filmati o alcune slides.

*Argomenti fondamentali.* Cosa è la spettroscopia molecolare. Alcune note storiche. Principio di base delle onde elettromagnetiche: natura ondulatoria e corpuscolare. Concetto di fotone (quanto di energia). Concetto di interazione tra luce e materia.

## 2) Elementi ottici e proprietà delle onde elettromagnetiche (luce visibile).

*Funzionamento di uno spettrofotometro per l'assorbimento della luce visibile.* Durante questa fase dell'attività didattica è utile richiamare alcuni concetti di ottica geometrica che sono alla base del funzionamento di uno spettrofotometro convenzionale, come quello che generalmente si trova nei laboratori delle scuole, ma anche nei laboratori di analisi chimiche convenzionali.



**Figura 3.** Uno degli autori (Alessandro Lenzi) spiega ai ragazzi il fenomeno della rifrazione della luce, con una dimostrazione utilizzando un laser, un recipiente con una soluzione di acqua e zucchero e altro materiale comune.

Soprattutto nel caso in cui gli studenti non abbiano già affrontato questi argomenti nel loro percorso scolastico, occorre che questa fase dell'attività preveda un buon bilanciamento tra la spiegazione dei principi fisico-teorici di base e l'attività interattiva-laboratoriale. In base alla nostra esperienza con le classi in visita presso i nostri laboratori, è molto utile introdurre i vari elementi ottici che costituiscono uno spettrofotometro e le proprietà ottiche che li caratterizzano, con semplici attività laboratoriali, anche di tipo dimostrativo (Figura 3).

E' utile che gli studenti possano toccare con mano gli elementi ottici, utilizzandoli, sotto la supervisione di un esperto, con varie sorgenti di luce, per comprendere meglio alcune delle proprietà fisiche fondamentali, come la diffrazione e la rifrazione. Il valore didattico degli strumenti di spettroscopia, soprattutto i meno moderni è indubbio, come ben documentato in letteratura [13-15]. Qui di seguito sono suggerite alcune semplici attività dimostrative utilizzando vari elementi ottici (Figura 4):



**Figura 4.** Alcuni elementi ottici utilizzati nelle dimostrazioni didattiche: reticolo di diffrazione (in alto a sinistra), prismi (al centro), specchi concavi, chopper e fenditure (a destra).

- *Sorgente luminosa.* Le sorgenti degli spettrofotometri possono essere di vario tipo (lampade al deuterio, lampade allo xenon, lampade a tungsteno, ...). E' possibile utilizzare una normale lampadina per osservare la natura policromatica della luce emessa.

- *Specchi e lenti: piane, concave e convesse.* Gli spettrofotometri contengono questi elementi ottici per focalizzare la sorgente luminosa in una direzione del cammino ottico, massimizzare l'intensità della luce, evitare la dispersione della luce nel percorso dalla sorgente al detector. Questi elementi ottici si prestano a molteplici attività dimostrative [7].

- *Fenditure.* Le fenditure sono elementi importantissimi negli spettrofotometri in quanto contribuiscono a rendere la radiazione luminosa approssimabile ad un raggio lineare.
- *Monocromatori.* I principali monocromatori usati negli spettrofotometri nel campo del visibile sono i prismi di quarzo (che sfruttano il fenomeno ottico della rifrazione) e i reticoli a diffrazione (che sfruttano il fenomeno della diffrazione della luce). Entrambi sono facilmente reperibili a costi contenuti. Nel caso del reticolo a diffrazione, è possibile utilizzare un semplice CD per far vedere agli studenti il fenomeno della diffrazione della luce e l'effetto disperdente da luce policromatica a luce colorata e monocromatica.
- *Chopper.* Questo elemento ottico è presente solo negli spettrofotometri a doppio raggio e la sua funzione è facilmente comprensibile quando gli studenti lo possono osservare ed utilizzare dal vivo, ad esempio con un laser. E' possibile anche costruire un chopper con cartoncino sagomato rivestito da una pellicola di alluminio.
- *Sistema di ricezione del segnale.* Si tratta della parte finale dello strumento, detta anche detector, che ha la funzione di raccogliere il segnale e trasformarlo da intensità di luce a segnale elettrico.
- *Porta campioni.* Si tratta per lo più di celle di varie dimensioni e materiali, generalmente quarzo, che servono ad inserire il campione da analizzare (per lo più soluzioni o sostanze allo stato liquido).

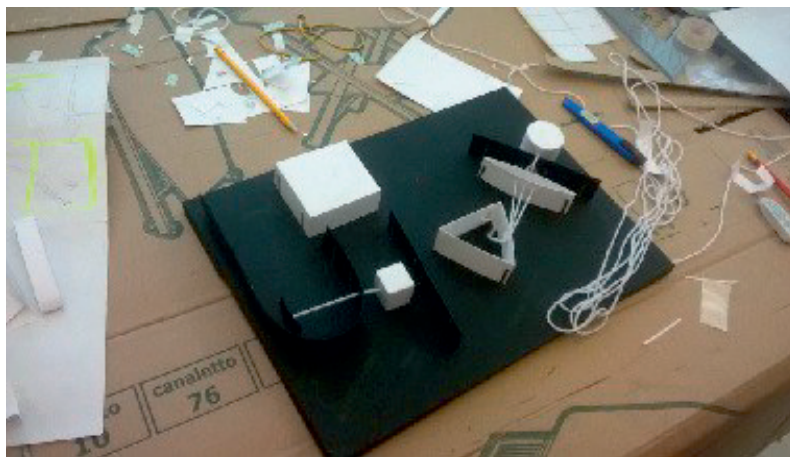
*Metodologie.* Queste attività interattive possono essere effettuate come attività laboratoriali dimostrative o, con una maggiore partecipazione dei ragazzi, come esperienze laboratoriali investigative (*inquiry-based learning*).

*Argomenti fondamentali.* Elementi di uno spettrofotometro da banco: lampada di emissione, specchi e lenti concavi, chopper, monocromatore, fenditura, rivelatore, cella porta campione. Fenomeni ottici di base: riflessione, rifrazione e diffrazione.

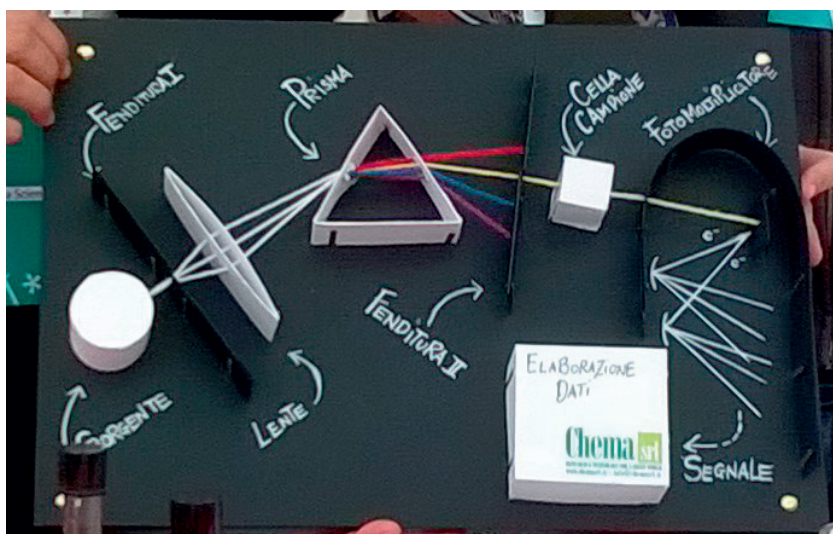
### **3) Un modellino di spettrofotometro.**

*Costruzione di un modellino di uno spettrofotometro aperto, dimostrativo, con materiale semplice (carta, cartone, fili, ...).* Una volta compresa la funzione dei diversi elementi ottici di uno spettrofotometro, a meno di non avere la possibilità di osservarne uno aperto, la comprensione del funzionamento dello strumento può non essere immediata. In alcuni casi si possono usare degli schemi, disponibili anche in rete, per far capire agli studenti il significato del cammino ottico. Alternativamente si possono costruire prototipi di spettrofotometri con materiali semplici [16, 17] oppure dei modellini esplicativi. Nei nostri laboratori didattici abbiamo optato per questa seconda attività. Questa fase inizia con la suddivisione degli studenti

in gruppi di 4 studenti ai quali vengono forniti dei materiali (ad esempio: fogli, cartoncini colorati, forbici, lapis, fil di ferro, fili di lana colorati, elastici, grappette, ...). L'obiettivo del lavoro di gruppo consiste nel realizzare un modellino che mostri il cammino ottico della luce all'interno di uno spettrofotometro, dalla lampada al campione da studiare fino al rivelatore. Lo scopo di questa attività è quello di consolidare quanto appreso nelle attività precedenti e mettere in pratica i concetti fondamentali. Questa attività può costituire un vero e proprio laboratorio (anche in ambito museale) della durata di 2-3 ore. Il lavoro in classe può essere suddiviso in più fasi strutturate secondo questa sequenza: i) progettazione del modellino da parte dei singoli gruppi, ii) discussione dei progetti con l'insegnante ed eventuale modifica dei progetti, iii) realizzazione dei modellini da parte dei vari gruppi. Alternativamente, la fase di discussione collettiva dei vari progetti (ii) può portare la classe o il gruppo di studenti a scegliere un solo modellino da realizzare insieme (lavoro collettivo). Il modellino costruito dai ragazzi può essere utilizzato dagli stessi per spiegare ad altri ragazzi i principi di funzionamento di uno spettrofotometro (attività di *peer education*) oppure può essere mostrato in occasione di attività *open day*. Un esempio di modellino costruito in un laboratorio didattico in occasione del Festival della Scienza di Genova [8] è riportato in Figura 5 (fase di montaggio) e Figura 6 (modellino finale). In questo caso, l'uso di fili di lana colorata in corrispondenza del monocromatore si è dimostrato molto efficace per la comprensione di quello che accade all'interno di uno spettrofotometro reale.



**Figura 5.** Fase di costruzione di un modellino di spettrofotometro con materiali semplici.



**Figura 6.** Modellino di spettrofotometro realizzato con materiali semplici in occasione del Festival della Scienza di Genova (2017).

*Metodologie.* Questa attività segue un approccio laboratoriale e può essere strutturato in modo cooperativo (*cooperative learning*). Inoltre, visto che l'attività dei vari gruppi prevede una fase progettuale, un'altra metodologia didattica a cui si fa riferimento è quella del *project-based learning* [18]. Questa attività ha molteplici obiettivi, che riguardano sia la sfera cognitiva che metacognitiva, sia abilità pratiche che competenze tecniche più scientifiche. Ad esempio, gli studenti devono dimostrare di saper lavorare in gruppo, discutere una strategia operativa, risolvere semplici problemi pratici, mettere a frutto le conoscenze acquisite nelle fasi precedenti, utilizzare un po' della loro creatività per realizzare il modellino.

*Argomenti fondamentali.* Concetto di cammino ottico, luce policromatica e luce monocromatica, elementi ottici, fenomeno dell'assorbimento della luce, funzionamento di uno spettrofotometro.

#### **4) Laboratori alla scoperta dei pigmenti.**

*Laboratori di spettroscopia per lo studio di alcune sostanze colorate e del legame tra assorbanza e concentrazione.*

In questa parte indicheremo una serie di attività laboratoriali che possono essere proposte alle classi o ai gruppi di studenti e che sono state sperimentate sia nell'ambito di laboratori PLS e di ASL sia in ambito museale. Questa attività prevede la preparazione di una serie di soluzioni a diversa concentrazione di alcuni pigmenti sintetici sia con il metodo della pesata che con il metodo della diluizione. Si possono scegliere varie sostan-

ze che di solito sono presenti in un laboratorio di chimica o che possono comunque essere acquistate per questo scopo. Alcuni esempi di sostanze colorate sono: permanganato di potassio, metilarancio, solfato di rame, rodamina B, bicromato di potassio, malachite green, blu di bromotimolo. Questi pigmenti sono di origine sintetica e sono sia di tipo organico che inorganico. L'insegnante può approfondire questo aspetto in funzione delle conoscenze dei ragazzi e degli argomenti affrontati durante il percorso di studi. In questi laboratori si affrontano più da vicino gli aspetti chimici e chimico-fisici dell'assorbimento della luce da parte delle sostanze. Non tutte le sostanze chimiche infatti assorbono luce nel visibile, in quanto l'assorbimento è associato alla struttura elettronica delle molecole e, in particolare, alla differenza di energia tra livello elettronico fondamentale e primo livello elettronico eccitato. Avendo introdotto la quantizzazione dell'energia (concetto di fotone), fondamentale nella spettroscopia, non è necessario addentrarsi sulla struttura elettronico-vibrazionale, ma è sufficiente parlare di livelli elettronici, argomento che in molti casi gli studenti hanno già affrontato a scuola. E' importante a questo livello di approfondimento, presentare agli studenti le caratteristiche generali della struttura molecolare delle sostanze che assorbono luce nel visibile. Questo è particolarmente utile nel caso dei composti organici, perché permette agli studenti di individuare delle analogie tra le strutture molecolari dei pigmenti organici e associare quindi l'assorbimento della luce alla presenza di gruppi funzionali o elementi strutturali ben precisi (come i doppi legami coniugati). L'attività di laboratorio prevede la preparazione delle soluzioni da parte degli studenti (Figura 7) e questo consente ai ragazzi di acquisire competenze e abilità pratiche che difficilmente potrebbero essere raggiunte.



**Figura 7.** Un gruppo di studenti di una scuola secondari di II grado durante un laboratorio di “*Fare chimica con la luce*” nell’ambito del PLS dell’Università di Pisa. Gli studenti stanno preparando delle soluzioni a diversa concentrazione di rodamina B con il metodo della diluizione.



Dopo aver preparato le soluzioni gli allievi acquisiscono gli spettri di assorbimento utilizzando uno strumento da banco o uno strumento portatile, ed osservano le caratteristiche qualitative e quantitative (annotandosi la posizione dei picchi di assorbimento e i valori dell'assorbanza). Usare pigmenti diversi consente loro di confrontare le caratteristiche degli spettri acquisiti e le caratteristiche delle strutture molecolari dei vari pigmenti.

Un ulteriore step dei laboratori consiste nell'elaborazione degli spettri di assorbimento e, in particolare, la costruzione da parte degli studenti di grafici su cui riporteranno i valori di assorbanza dei picchi di massimo assorbimento in funzione della concentrazione delle soluzioni preparate per ogni tipo di pigmento. Questi grafici consentono agli studenti di ricavare empiricamente la *legge di Lambert-Beer* e verificare a livello quantitativo la correlazione diretta tra concentrazione, valore dell'assorbanza e intensità del colore delle soluzioni (Figura 8). Per approfondimenti su questi laboratori didattici si rimanda al riferimento [18]. Un aspetto che può essere verificato con gli studenti riguarda il valore predittivo delle curve da loro costruite.



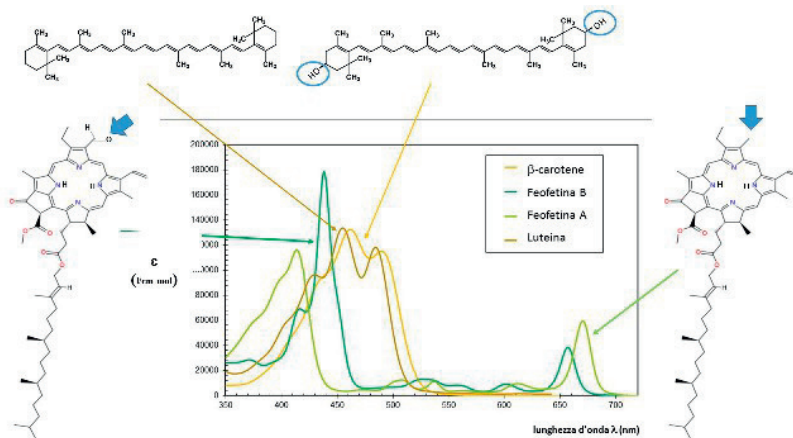
**Figura 8.** Soluzioni acquose di rodamina B a concentrazioni diverse dalla più concentrata a destra ( $C=0.004$  M) alla più diluita a sinistra ( $C=0.00004$  M). (foto presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale - Università di Pisa).

*Metodologie.* La metodologia principale di queste attività è la didattica laboratoriale. Nelle attività gli studenti seguono un approccio investigativo guidato, ma in certi casi anche un approccio esplorativo [18]. Inoltre, gli studenti vengono suddivisi in gruppi e, dove possibile, si possono applicare i principi della divisione in ruoli, come nel metodo cooperativo.

*Argomenti fondamentali.* Pigmenti. Cromofori. Assorbanza. Trasmissanza. Assorbimento della luce. Struttura molecolare dei pigmenti. Concentrazione di una soluzione. *Legge di Lambert-Beer*. Uso della spettroscopia nel visibile per identificare le sostanze chimiche e per quantificarle (analisi chimica).

### 5) Laboratorio sulle applicazioni della spettroscopia in campo agro-alimentare.

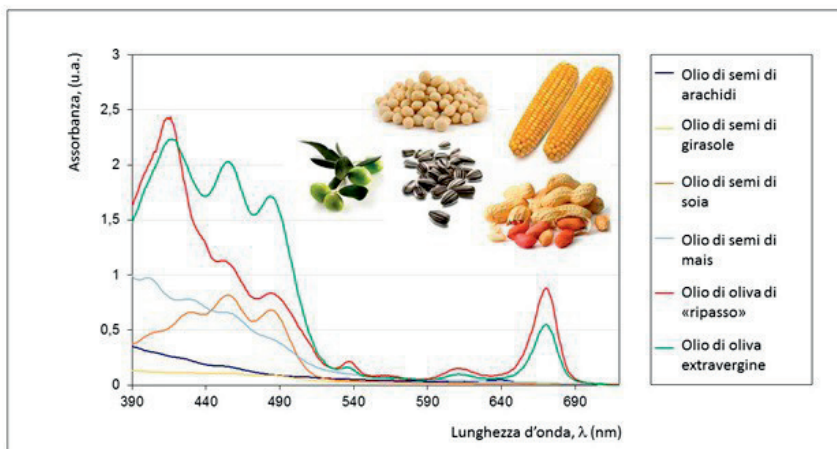
*Laboratorio per lo studio di pigmenti naturali in matrici alimentari (il caso dell'olio di oliva).* Questo laboratorio riguarda l'acquisizione e l'analisi di spettri di assorbimento nel visibile di campioni reali di oli di origine vegetale (olio di oliva, olio di arachidi, olio di soia, olio di riso, ...), come esempio di matrice alimentare. Gli studenti possono notare che rispetto alle soluzioni preparate in laboratorio i campioni reali sono più complessi in quanto sono presenti molte sostanze chimiche diverse e nel caso degli oli, ci sono vari pigmenti diversi nella stessa matrice. L'osservazione delle caratteristiche qualitative degli spettri degli oli di oliva riflettono, infatti, la presenza di concentrazioni diverse di alcuni pigmenti che appartengono alla classe dei carotenoidi e alla classe delle clorofille. Come mostrato in Figura 9, i principali pigmenti di un olio di oliva extravergine sono quattro: beta-carotene e luteina (due carotenoidi), feofitina a e feofitina b (due derivati delle clorofille). Ulteriori informazioni su questo argomenti si trovano nei riferimenti [11,12]. Le caratteristiche degli spettri di assorbimento di questi pigmenti presi singolarmente riflettono le differenze strutturali, come si evince dalla Figura 9.



**Figura 9.** Spettri di assorbimento (espressi come coefficiente di estinzione molare,  $\epsilon$ ) dei quattro pigmenti (beta-carotene, luteina, feofitina a e feofitina b) ottenuti sciogliendo i singoli pigmenti in trioleina (una sostanza che “assomiglia” alla matrice della frazione saponificabile dell’olio di oliva extra-vergine). Le differenze nelle strutture molecolari dei due carotenoidi e dei due derivati delle clorofille sono evidenziate in celeste.

L’analisi qualitativa degli spettri dell’olio di varie origini botaniche (oliva, girasole, arachidi, soia, colza, ...) è molto istruttiva in quanto gli studenti vedono immediatamente che gli spettri di assorbimento sono molto diversi

in funzione del tipo di olio (Figura 10). L'insegnante può entrare nel dettaglio, ad esempio, dopo aver affrontato alcuni elementi di chimica organica, facendo vedere che oli diversi contengono miscele di pigmenti diversi e in diverse concentrazioni.



**Figura 10.** Esempi di spettri di assorbimento nella luce visibile di alcuni campioni reali di oli di diversa origine botanica, come indicato in legenda.

Il laboratorio didattico prosegue con una analisi quantitativa degli spettri. Il nostro gruppo ha infatti sviluppato un software [12], che in versione semplificata può essere utilizzato a scopo didattico, per quantificare i pigmenti naturali principali presenti negli oli di oliva. La durata dell'attività dipende anche dal numero di campioni che si intende analizzare e anche in questo caso sono gli stessi studenti che effettuano le misure allo spettrofotometro e che, con una relativa autonomia, analizzano gli spettri. Questo ultimo laboratorio e le attività di approfondimento correlate sono state oggetto di progetti di *alternanza scuola-lavoro* con il ricorso a pratiche di *peer education* per affrontare temi legati all'educazione alimentare e al ruolo della chimica nell'autenticazione dei prodotti agro-alimentari [19]. Un progetto analogo ancora in corso, avviato nell'anno scolastico 2017-2018, rivolto alle classi 4<sup>a</sup> e 5<sup>a</sup> di istituti professionali e tecnici della Provincia di Livorno [20], è focalizzato proprio sulla sensibilizzazione degli studenti al tema delle contraffazioni alimentari, prendendo come caso di studio quello dell'olio di oliva.

Un tema che può essere affrontato nel corso di queste attività riguarda le sostanze di sintesi e le sostanze di origine naturale. Su questo argomento, infatti, esistono molti misconcetti, che purtroppo si riflettono anche sull'immagine e sulla percezione della chimica nella società, e che dovreb-

bero essere dipanati prima di tutto a scuola, ma dove anche le attività museali possono dare un importante contributo [21-25].

*Metodologie.* Si tratta di un laboratorio didattico investigativo guidato che può essere svolto con modalità cooperativa. Approcci didattici di riferimento: didattica laboratoriale, *inquiry-based learning*, *cooperative learning*.

*Argomenti fondamentali.* Caratteristiche di uno spettro ottenuto da una matrice complessa (come quella di un olio). Pigmenti naturali e pigmenti sintetici. Aspetti qualitativi e quantitativi degli spettri di assorbimento. Utilità della spettroscopia di assorbimento del visibile per lo studio degli alimenti e delle contraffazioni nel campo agro-alimentare.

*Obiettivi specifici.* Anche in questo modulo di attività, oltre alla comprensione di alcuni concetti chiave, ci sono obiettivi che riguardano abilità pratiche da consolidare e competenze da acquisire, analogamente al precedente punto. Inoltre, in questa ultima parte del percorso didattico gli allievi dovrebbero comprendere l'utilità pratica della spettroscopia di assorbimento nel visibile nella risoluzione di problemi concreti che riguardano la nostra società.

Il percorso didattico si conclude generalmente con attività di approfondimento da parte dei ragazzi. Nel caso dei laboratori PLS o di ASL, spesso gli insegnanti continuano a lavorare sulle tematiche affrontate nei laboratori per consolidare e verificare le conoscenze e le competenze acquisite dagli allievi. In alcuni casi, gli studenti rielaborano quanto hanno sperimentato durante il percorso producendo dei lavori originali, ad esempio, documentandosi su altre applicazioni della spettroscopia di assorbimento nel visibile, in campo ambientale, per l'analisi degli inquinanti, per lo studio dei prodotti di un'industria. Esistono moltissimi esempi a cui gli insegnanti stessi possono attingere come tutte le analisi cosiddette colorimetriche in campo ambientale [26,27]. La produzione di elaborati, presentazioni o video sull'argomento da parte degli studenti, può rappresentare un ulteriore lavoro conclusivo, molto utile agli studenti per rielaborare e commentare insieme i principali risultati ottenuti durante il questo percorso e le conoscenze acquisite.

### **Conclusioni**

Il percorso qui descritto è frutto di esperienze didattiche effettuate con studenti delle scuole secondarie di II grado alla scoperta di una delle spettroscopie più semplici da introdurre a livello didattico: la spettroscopia di assorbimento nella regione del visibile. Il percorso ha un forte carattere interdisciplinare in quanto coinvolge svariati aspetti fondamentali dell'ottica geometrica (fisica), conoscenze di base di chimica - fisica (come la struttura elettronica delle molecole e i livelli energetici elettronici) e conoscenze di chimica organica (relazione tra struttura molecolare, proprietà delle sostanze

L'ultima parte, più applicativa, rappresenta inoltre un modo di affrontare la chimica attraverso le sue implicazioni nella vita di tutti i giorni con esempi concreti e reali. Questo aiuta a favorire nei ragazzi la consapevolezza dell'utilità di ciò che stanno studiando. Gli aspetti interdisciplinari posso infatti allargarsi alla sfera delle scienze della nutrizione, dell'agricoltura e della biologia (come con lo studio degli oli di origine vegetale), fino a toccare argomenti affrontati nelle scienze geologiche e nello studio dell'ambiente (analisi degli inquinanti o analisi delle acque).

Il percorso didattico è piuttosto articolato e, anche per praticità, è stato suddiviso in cinque moduli principali. Per poterlo svolgere in modo completo il percorso richiede un discreto numero di ore, che può variare da 10 a 20 ore (come nel caso dell'alternanza scuola-lavoro), ma che, se incluso in un percorso da svolgersi a scuola, può richiedere molte più ore, prevedendo ad esempio alla fine di ogni modulo attività di verifica delle competenze e attività di discussione collettiva. In ambito museale, vengono di solito selezionate solo alcune attività, prevalentemente laboratoriali, in modo che possano essere affrontati alcuni temi specifici (ad esempio, la parte relativa agli elementi ottici e i principi fisici, oppure quella dell'analisi dei pigmenti negli oli di origine vegetale) in sessioni separate. Nei laboratori museali i tempi possono variare da 1 ora (come nel caso del Festival della Scienza di Genova) a 3 ore (come nei laboratori didattici organizzati presso il Museo di Storia Naturale di Rosignano).

Una possibile limitazione di questo percorso è che necessita, almeno in alcuni sue parti, la disponibilità di uno o più strumenti. Gli spettrofotometri da banco sono generalmente disponibili nelle scuole che dispongono di laboratori di scienze. In alternativa esistono anche strumenti portatili, a costi non eccessivi, con minori prestazioni, ma pur sempre utili a scopo didattico. In generale, gli spettrofotometri nel campo della luce visibile (e dell'ultravioletto) sono quelli meno costosi rispetto a tutti gli altri spettrometri (come gli spettrometri nell'infrarosso o gli spettrometri Raman).

Le metodologie utilizzate in questo percorso sono di tipo attivo, in quanto la partecipazione diretta degli allievi, sia nella parte laboratoriale, principalmente investigativa, sia nelle altre attività, è un aspetto che, in base alla nostra esperienza, ma anche sulla base di molti lavori di letteratura, facilita l'apprendimento, motiva gli studenti allo studio della chimica e aumenta la consapevolezza del ruolo della chimica nella risoluzione di problemi reali legati alla quotidianità e alla società in cui viviamo.

## **Bibliografia**

[1] V. Domenici, "Fare Chimica con la Luce: la Spettroscopia", *Atti di Pianeta Galileo*, 2012, vol. 1, 57. (<http://studylibit.com/doc/5256046/fare-chimica-con-la-luce---consiglio-regionale-della-toscana>)

- [2] V. Domenici, “Fare Chimica con la Luce”, *Linx Magazine*, **2012**, vol. **4**, 6. ([https://issuu.com/linxedizioni/docs/linx\\_magazine\\_12](https://issuu.com/linxedizioni/docs/linx_magazine_12))
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=PZyO9kO1mds>
- [4] <https://www.youtube.com/watch?v=1UgxbO3PaVQ>
- [5] V. Domenici, “Activity for kids about "food chemistry" at Bright 2015 (night of researchers)”, *La Chimica nella Scuola*, **2016**, vol. **4**, 49.
- [6] <http://www.chemasrl.it/index.php/blog/109-fare-chimica-con-la-luce>
- [7] A. Lenzi, “*Arcobaleno. Breve saggio sulla storia della conoscenza del fenomeno. Trattazione divulgativa secondo l’ottica geometrica*”. Aracne, Roma, **2016**.
- [8] V. Domenici, I. Dierking, “Science for the small and the tall, for the young and the old”, *Liquid Crystal Today*, 2018, Vol. 27 (1), pp. 2.
- [9] E. Parri, V. Domenici, A. Lenzi, ‘Mostra Didattica “Le pratiche della Chimica ieri e oggi” al Museo di Storia Naturale di Rosignano Solvay’, in “*I musei di chimica e la chimica nei musei della scienza*” (Campanella e Domenici, curatori), Sapienza Università Editrice, Roma, **2014**.
- [10] V. Domenici, “Progetto peer education sulla “scienza dell’alimentazione”, *La Chimica nella Scuola*, **2015**, vol. **2**, 73.
- [11] C. Lazzerini, M. Cifelli, V. Domenici, Determinazione dei pigmenti e loro legame con parametri di qualità e autenticità dell’olio di oliva extravergine, *Quaderni dell’Accademia dei Georgofili*, **2017**, vol. **3**, 25.
- [12] V. Domenici, D. Ancora, M. Cifelli, A. Serani, C. A. Veracini, M. Zandomeneghi, Extraction of pigment information from near-UV vis absorption spectra of extra virgin olive oils, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **2014**, vol. **62**, pp. 9317.
- [13] W. Erhardt, Instrumental Analysis in the High School Classroom: UV–Vis Spectroscopy, *Journal of Chemical Education*, **2007**, vol. **84**, pp. 1024.
- [14] I. Klotz, Ultraviolet absorption spectroscopy, *Journal of Chemical Education*, **1945**, vol. **22**, pp. 328.
- [15] N. Thomas, The early history of spectroscopy, *Journal of Chemical Education*, **1991**, vol. **68**, pp. 631.
- [16] M. V. Wilson, E. Wilson, Authentic performance in the instrumental analysis laboratory: building a visible spectrophotometer prototype, *Journal of Chemical Education*, **2017**, vol. **94**, pp. 44.
- [17] <https://www.youtube.com/watch?v=M2bR8fmEUjE>
- [18] V. Domenici, *Insegnare e apprendere chimica*, Mondadori Education, Firenze, 2018.
- [19] <http://www.comune.rosignano.livorno.it/site5/pages/home.php?idpadre=29164>
- [20] V. Domenici, Un progetto di alternanza scuola-lavoro sull’antisofisticazione agro-alimentare, *La Chimica nella Scuola*, in revisione.
- [21] V. Domenici, “*L’immagine della Chimica e il Ruolo dei Musei della Scienza*”, *Tesi di Master, SISSA, Trieste*: **2006**.

- [22] V. Domenici, “The role of chemistry museums in chemical education for students and the general public - A case study from Italy”, *Journal of Chemical Education*, **2008**, vol. **85**, 1365.
- [23] V. Domenici, “I musei di Chimica in Italia e l'immagine della chimica”, *La Chimica nella Scuola*, **2008**, vol. 3, 164.
- [24] L. Campanella e V. Domenici, *I musei di chimica e la chimica nei musei della scienza*, Sapienza Università Editrice, Roma, **2014**.
- [25] G. Silberman Robert, “Problems with chemistry problems: student perception and suggestions”, *Journal of Chemical Education*, **1981**, vol. **58**, 1036.
- [26] R. Cozzi, P. Protti, T. Ruaro, *Elementi di analisi chimica strumentale. Analisi chimica ambientale. Per le Scuole superiori*. Zanichelli, Bologna, **2013**.
- [27] K. A. Rubinson, J. F. Rubinson, *Chimica analitica strumentale*, Zanichelli, Bologna, **2002**.





# Formazione di complessi di inclusione della $\beta$ -ciclodestrina. Una dimostrazione colorimetrica

Marco Russo, Paolo Lo Meo, Michele A. Floriano

Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche Chimiche e Farmaceutiche,  
Università degli Studi di Palermo

marco.russo07@unipa.it; paolo.lomeo@unipa.it; michele.floriano@unipa.it

## **Riassunto**

*La chimica supramolecolare è uno dei settori della ricerca scientifica più attivi e fruttuosi, come testimoniato dal recente premio Nobel assegnato nel 2016 per gli studi su tale tematica. Tuttavia, non è sempre facile tradurre in termini didattici i concetti della chimica supramolecolare o, ancora di più, dare una prova evidente dell'instaurarsi di interazioni supramolecolari. Nel presente lavoro è proposta una procedura sperimentale che consente, in maniera semplice e diretta, di osservare la formazione e la successiva dissociazione di un complesso di inclusione supramolecolare tra la  $\beta$ -ciclodestrina, un'oligosaccaride ciclico con una struttura troncoconica che gli consente di includere al suo interno numerose molecole organiche, e la fenolftaleina, un indicatore acido base caratterizzato da una marcata variazione cromatica. In particolare, si propone una procedura sperimentale suddivisa in due fasi che prevede: i) la formazione del complesso di inclusione tra  $\beta$ -ciclodestrina e fenolftaleina che, sfruttando la caratteristica variazione di colore della fenolftaleina libera e complessata evidenzia la formazione del complesso; ii) il processo inverso, ovvero lo spiazzamento della fenolftaleina ad opera di un'altra molecola organica, l'adamantato di potassio, che compete con la fenolftaleina per la cavità della ciclodestrina.*

**Parole chiave:** chimica supramolecolare, complesso di inclusione,  $\beta$ -ciclodestrina, fenolftaleina, adamantato di potassio.

## **Abstract**

*Supramolecular chemistry is one of the most exploited and fruitful research areas as demonstrated by the recent Nobel Prize awarded in 2016 for studies on this topic. However, it is not easy to translate supramolecular chemistry concepts into educational material or to provide clear evidence of supramolecular interactions. In this work an experimental procedure allowing, in a straightforward way, to observe the formation and subsequent dissociation of a supramolecular inclusion complex is proposed.*

*In particular, the complex between  $\beta$ -cyclodextrin, a cyclic oligosaccharide with a conical structure, and phenolphthalein, an acid-base indicator characterized by a marked chromatic change is considered. The experimental procedure consists of two phases: i) the formation of the inclusion complex is clearly shown by the characteristic colour variation of the free and complexed phenolphthalein; ii) the opposite process, i.e. the displacement of phenolphthalein from the cyclodextrin cavity by potassium adamantane-1-carboxylate is demonstrated by similar colour changes.*

**Key words:** supramolecular chemistry, inclusion complex,  $\beta$ -cyclodextrin, phenolphthalein, potassium adamantane-1-carboxylate.

### **Introduzione**

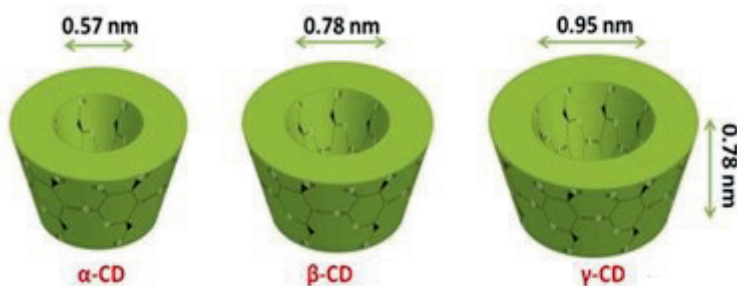
“La chimica delle interazioni deboli”, “la chimica delle interazioni non covalenti” o ancora “la chimica oltre la molecola” sono i modi più comuni con cui viene definita la chimica supramolecolare, il cui obiettivo è lo studio della formazione, delle proprietà e delle applicazioni degli aggregati plurimolecolari. La teorizzazione di uno dei primi concetti fondamentali della chimica supramolecolare risale a più di un secolo fa, quando nel 1894 Emil Fischer propose il principio “chiave-serratura” per spiegare l’interazione enzima substrato nella catalisi enzimatica [1]. Tuttavia soltanto negli ultimi decenni, ovvero da quando Cram, Lehn e Pedersen vinsero nel 1987 il premio Nobel per i loro studi sui carcerandi (molecole che per la loro struttura danno luogo ad interazioni altamente selettive) [2-4], la chimica supramolecolare ha avuto un’enorme diffusione nella ricerca scientifica. La chimica supramolecolare ha quindi conosciuto un enorme sviluppo considerando anche il fatto che la gran parte dei processi biochimici sono il frutto di interazioni deboli tra macromolecole; basti pensare al *foldig* delle proteine o degli acidi nucleici, alle interazioni tra i domini costituenti gli enzimi, al *self-assembly* delle pareti cellulari, fino ad arrivare al complesso ATP sintasi che rappresenta a tutti gli effetti un esempio di “macchina molecolare”, che di fatto costituisce la massima espressione della chimica supramolecolare come testimoniato dal Nobel assegnato nel 2016 a Feringa, Sauvage e Stoddart proprio per i loro studi sulle macchine molecolari [5-7].

Storicamente, gli aggregati macromolecolari più rappresentativi e studiati sono stati i complessi di inclusione, o “cavitati”: questi sono il prodotto dell’interazione tra una molecola definita *host*, in cui è presente un sito recettoriale, e una molecola definita *guest* in grado di adattarsi a tale sito. Indipendentemente dalla natura delle interazioni coinvolte, come le interazioni elettrostatiche, legami a idrogeno, interazioni  $\pi$ - $\pi$  e così via, l’*host* viene generalmente identificato come una molecola fornita di una ca-

vità o sito recettoriale con siti di legame convergenti mentre il *guest* è una molecola caratterizzata da siti leganti divergenti.

### Le Ciclodestrine

Tra le numerose molecole di *host* fino ad oggi studiate, le *ciclodestrine* sono probabilmente le più rappresentative. Queste sono oligosaccaridi ciclici idrosolubili ottenuti dalla degradazione enzimatica dell'amido, costituiti da unità di glucopiranosio legate da ponti  $\alpha$ -1,4 glicosidici e caratterizzate da una complessiva struttura tridimensionale a tronco di cono cavo [8,9]. Tra le ciclodestrine più comuni si annoverano la  $\alpha$ -, la  $\beta$ - e la  $\gamma$ -ciclodestrina, che differiscono per il numero di unità glucosidiche che le costituiscono, rispettivamente 6, 7 o 8 (Figura 1). I bordi del tronco di cono sono caratterizzati dalla presenza di gruppi ossidrilici secondari legati ai C(2) e C(3) presenti sul bordo di diametro maggiore e primari legati ai C(6) presenti sul bordo di diametro minore. Le ciclodestrine presentano un certo grado di flessibilità (dinamismo conformazionale) da attribuire alla possibilità di una parziale rotazione intorno ai legami semplici che costituiscono i ponti  $\alpha$ -1,4-glicosidici [10].



**Figura 1.** Strutture tridimensionali delle ciclodestrine più comuni.

La cavità interna (le cui dimensioni dipendono dal numero di unità glucosidiche che la costituiscono) ha un carattere idrofobico, in quanto sulla sua superficie sono presenti gli atomi di ossigeno dei ponti glicosidici oltre agli atomi di idrogeno legati ai C(3) e ai C(5). Inoltre il confinamento degli elettroni di non legame degli ossigeni glicosidi, all'interno della cavità, causa l'instaurarsi di un campo elettrico permanente che conferisce alla ciclodestrina un caratteristico momento dipolare avente il polo negativo diretto verso il bordo secondario (largo) e quello positivo diretto verso il bordo primario (stretto) [11].

Grazie alle loro caratteristiche strutturali, le ciclodestrine possono formare complessi di inclusione con molecole organiche di dimensioni e struttura

opportune [12,13]. Il processo di inclusione può essere considerato come una reazione di sostituzione delle molecole d'acqua (il tipico solvente per la formazione di complessi di inclusione ciclo-destrina-*guest*) incluse nella cavità della ciclodestrina da parte della molecola di *guest* che, a sua volta, si trasferisce dal mezzo acquoso in un ambiente idrofobico [14]. Tale trasferimento ha fondamentale importanza nella termodinamica del processo, tuttavia le forze che guidano la formazione del complesso sono date anche dalle interazioni non-covalenti tra la ciclodestrina e il *guest* quali interazioni di van der Waals, interazioni elettrostatiche o legami ad idrogeno [15]. La formazione di un complesso di inclusione con la ciclodestrina consente di veicolare agevolmente la molecola idrofobica nel mezzo acquoso. Tale caratteristica, insieme alla loro biocompatibilità e atossicità, rende le ciclodestrine dei composti estremamente interessanti da un punto di vista tecnologico/applicativo in svariati settori [16].

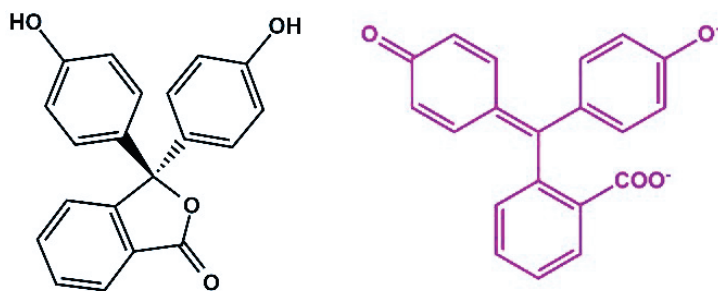
La formazione di un complesso di inclusione è normalmente accompagnata dalla variazione di una proprietà chimico-fisica specifica che consente di rilevarne e studiarne la formazione. Tra le proprietà comunemente rilevate si possono citare: variazioni calorimetriche, spostamento o variazione di intensità di segnali NMR, cambiamenti del potere ottico rotatorio e variazione degli spettri di fluorescenza o UV-vis. In quest'ultimo caso, se la variazione rientra nell'intervallo dello spettro visibile e quindi in una variazione cromatica, è possibile rilevare la formazione di un complesso ciclodestrina-*guest* anche ad occhio nudo. Di conseguenza, la realizzazione di un semplice esperimento che consenta di evidenziare la formazione di un complesso di inclusione, in seguito ad una evidente variazione di colore, assume un'indubbia valenza didattica.

Nel presente lavoro viene proposto un semplice esperimento che consente di verificare qualitativamente la formazione di un complesso di inclusione tra la  $\beta$ -ciclodestrina ( $\beta$ CD) e la fenoltaleina (PHP), sfruttando la variazione di colore della PHP libera che in soluzioni basiche è di colore rosso-violetto e la PHP complessata nella  $\beta$ CD che è incolore. Inoltre sfruttando un *guest* in grado di competere con la PHP per la cavità della  $\beta$ CD, nel caso specifico l'adamantato di potassio (Ada), è anche possibile mettere in evidenza l'equilibrio competitivo collegato alla differente affinità dei *guest* per la cavità della  $\beta$ CD in funzione della loro struttura e delle interazioni che entrano in gioco.

### **Complessi della $\beta$ -ciclodestrina con la fenoltaleina e sostituzione con adamantato di potassio**

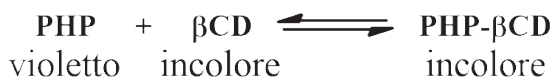
Come è noto la PHP (3,3-*bis*(4-idrossifenil)-2-benzofuran-1(3*H*)-one) è un classico indicatore acido base con un intervallo di viraggio compreso tra 8.2 e 9.8. La sua forma acida (Figura 2) è incolore mentre in soluzione basi-

ca si forma un dianione (Figura 2) dal caratteristico colore rosso-violetto. La caratteristica colorazione è dovuta al fatto che gli ossidrilici fenolici deprotonati in ambiente basico promuovono l'apertura dell'anello lattonico formando un sistema  $\pi$ -coniugato con una maggiore estensione che assorbe nel visibile.



**Figura 2.** Struttura della PHP; a sinistra la forma incolore, a destra la forma colorata

La PHP forma un complesso di inclusione di stechiometria 1:1 con la  $\beta$ CD secondo la reazione:



Per la costante di complessazione sono stati riportati valori compresi nell'intervallo  $(2.1 \sim 3.1) \cdot 10^4$  a 25 °C [17,18]. Una costante di complessazione così alta implica che all'equilibrio la quantità di PHP libera sia trascurabile rispetto a quella complessata per sufficiente aggiunta di ciclodestrina. Inoltre il complesso in soluzione basica è incolore in quanto l'inclusione della PHP nella cavità della  $\beta$ CD blocca l'apertura dell'anello lattonico conseguente alla deprotonazione degli ossidrilici fenolici, interrompendo la coniugazione del sistema- $\pi$  che è presente nella forma anionica libera dell'indicatore. Quindi, se viene aggiunta una quantità crescente di  $\beta$ CD ad una soluzione basica (pH  $\sim$ 11) contenente PHP, si osserverà un progressivo sbiadimento della caratteristica colorazione rosso-violetto fino alla sua quasi totale scomparsa.

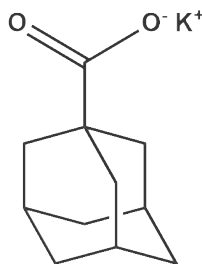
Se a questo punto nel processo interviene un altro *guest*, anch'esso in grado di formare un complesso di inclusione con la  $\beta$ CD, secondo il principio di Le Châtelier l'equilibrio si sposterà nel verso che consente di minimizzare la perturbazione.

Anche l'Ada (adamantato di potassio, Figura 3) è in grado di formare un

complesso di inclusione stabile con la  $\beta$ CD secondo l'equilibrio:



Per la costante di complessazione sono stati riportati valori compresi nell'intervallo  $(1.0 \sim 4.0) \cdot 10^4$  a 25 °C [13]. In questo caso tutte le specie presenti in soluzione sono incolori. Aggiungendo quindi una soluzione di Ada ad una contenente il complesso PHP- $\beta$ CD, si osserverà un aumento della colorazione rosso-violetto della soluzione risultante, dovuto all'aumento della PHP libera che deriva dalla dissociazione del complesso PHP- $\beta$ CD a causa della competizione dell'Ada con la PHP per la cavità della ciclodestrina.



**Figura 3.** Struttura dell'adamantato di potassio.

Di seguito viene descritta un'attività sperimentale in cui, tramite l'osservazione di cambiamenti di colore della soluzione, che sono il risultato della variazione di concentrazione della PHP libera, è possibile illustrare sia il processo di complessazione della PHP da parte della  $\beta$ CD sia la sua sostituzione da parte dell'Ada. Come già citato nell'introduzione i processi appena descritti possono simulare tra l'altro il rilascio controllato di farmaci.

### Parte Sperimentale

La procedura sperimentale per dimostrare quanto esposto sopra può essere suddivisa in due parti. Nella prima parte dell'esperimento vengono preparate soluzioni a concentrazione costante di PHP a ciascuna delle quali viene aggiunta una quantità crescente di  $\beta$ CD. Nella seconda parte vengono preparate soluzioni con la stessa composizione della soluzione della serie precedente in cui è stata aggiunta la massima concentrazione di  $\beta$ CD, a ciascuna delle quali viene aggiunta una quantità crescente di Ada. Per effettuare tale procedura occorrono:

### Reattivi

- Carbonato di sodio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; PM: 105.99);
- Bicarbonato di Sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ; PM: 84.01);
- soluzione 0.1 M di NaOH;
- $\beta$ -ciclodestrina ( $\text{C}_{42}\text{H}_{70}\text{O}_{35}$ ; PM: 1134.98);
- Fenoltaleina ( $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$ ; PM: 318.32 - N.B. questa sostanza ha destato nel passato preoccupazioni riguardo i suoi potenziali effetti mutageni e cancerogeni se ingerita. Tuttavia, le minime quantità utilizzate e l'uso delle normali precauzioni di sicurezza in laboratorio minimizzano i potenziali rischi);
- Adamantato di potassio ( $\text{C}_{11}\text{H}_{15}\text{KO}_2$ ; PM: 218.33). Questo può essere sintetizzato in anticipo a partire da ~1g di acido adamantilico ( $\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}_2$ ; PM: 180.24) solubilizzato nella minima quantità di etanolo e trattato con 60 mg di KOH (PM: 56.11), anch'esso solubilizzato nella minima quantità di etanolo. Il precipitato bianco ottenuto viene quindi filtrato e lasciato asciugare inizialmente all'aria, fino a completa secchezza, e poi in stufa per una notte.

### Vetreteria

- cilindro graduato da 500 mL
- 3 matracci tarati da 20 mL
- matraccio tarato da 50 mL
- 10 beute da 25 mL
- pipetta tarata o graduata da 1 mL
- pipetta graduata da 10 mL

### Preparazione delle soluzioni

- a) tampone carbonato 0.05 M pH ~11: trasferire 2.210g di  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e 350 mg di  $\text{NaHCO}_3$  in un cilindro graduato da 500 mL e portare a volume con acqua distillata. Verificare il pH della soluzione con un pH-metro o con cartina al tornasole e, se necessario, correggere fino al valore voluto per aggiunta di NaOH o HCl.
- b) soluzione madre di PHP  $1.25 \cdot 10^{-3}$  M: trasferire 8 mg di PHP in un matraccio tarato da 20 mL e solubilizzare con 1.5 mL di NaOH 0.1 M, quindi portare a volume con acqua distillata.
- c) soluzione madre di  $\beta$ CD  $2.5 \cdot 10^{-3}$  M: trasferire 142 mg di  $\beta$ CD in un matraccio tarato da 50 mL e portare a volume con il tampone carbonato.
- d) soluzione madre 1 Ada  $1.26 \cdot 10^{-2}$  M: trasferire 55 mg di Ada in un matraccio tarato da 20 mL e portare a volume con il tampone carbonato.

e) soluzione madre 2 Ada  $6.3 \cdot 10^{-4}$  M: diluire 1 mL della soluzione madre 1 Ada in un matraccio tarato da 20 mL con il tampone carbonato.

### Esperimento 1

Aggiungere in cinque beute, contrassegnate con le lettere da A ad E, 1 mL di soluzione madre di PHP e i volumi delle altre soluzioni riportati in tabella 1. Le ultime due colonne della tabella riportano le concentrazioni totali di PHP e  $\beta$ CD.

**Tabella 1.** Volumi delle soluzioni da usare per l'esperimento 1 e concentrazioni risultanti.

Beute	$\beta$ CD (mL)	Tampone (mL)	[PHP] ( $10^{-5}$ M)	[ $\beta$ CD] ( $10^{-4}$ M)
A	0	24	5.0	0
B	1	23	5.0	1
C	2	22	5.0	2
D	4	20	5.0	4
E	6	18	5.0	6

Come è possibile osservare nella figura 4, si ha una progressiva riduzione della colorazione rosso-violetto al crescere della concentrazione totale di  $\beta$ CD presente che indica la progressiva complessazione della PHP e quindi la diminuzione di quella libera.<sup>1</sup>



**Figura 4.** Progressiva complessazione della PHP da parte della  $\beta$ CD.

N.B.: le soluzioni preparate nelle beute devono essere chiuse con del parafilm perché, anche se tamponate, l'assorbimento di anidride carbonica potrebbe diminuirne il pH causandone lo schiarimento.

### Esperimento 2

Aggiungere in cinque beute, contrassegnate con le lettere da A' ad E', 1 mL di soluzione madre di PHP, 6 mL di soluzione madre di  $\beta$ CD e i volumi



delle altre soluzioni riportati in tabella 2. Le ultime tre colonne della tabella riportano le concentrazioni totali di PHP,  $\beta$ CD e Ada.

**Tabella 2.** Volumi delle soluzioni da usare per l'esperimento 2 e concentrazioni risultanti.

Beute	Ada (mL)	Tampone (mL)	[PHP] ( $10^{-5}$ M)	[ $\beta$ CD] ( $10^{-4}$ M)	[Ada] ( $10^{-3}$ M)
A'	10 <sup>1</sup>	8	5.0	6	5
B'	1 <sup>1</sup>	17	5.0	6	0.5
C'	10 <sup>2</sup>	8	5.0	6	0.25
D'	1 <sup>2</sup>	17	5.0	6	0.025
E'	0	18	5.0	6	0

1: Soluzione madre 1Ada

2: Soluzione madre 2Ada

Come mostrato in figura 5, al crescere della concentrazione di Ada si osserva un progressivo aumento di intensità della colorazione rosso-violetto che indica il progressivo aumento della concentrazione di PHP libera spiazzata dal complesso PHP- $\beta$ CD. Si può osservare che il cambiamento di colore segue un andamento inverso rispetto alle soluzioni ottenute nel primo esperimento come è possibile verificare mettendo a confronto le coppie di soluzioni con la stessa denominazione di base che presentano circa la stessa intensità di colore.<sup>1</sup>



**Figura 5.** Progressiva sostituzione della PHP, nel complesso con la  $\beta$ CD, da parte di Ada.

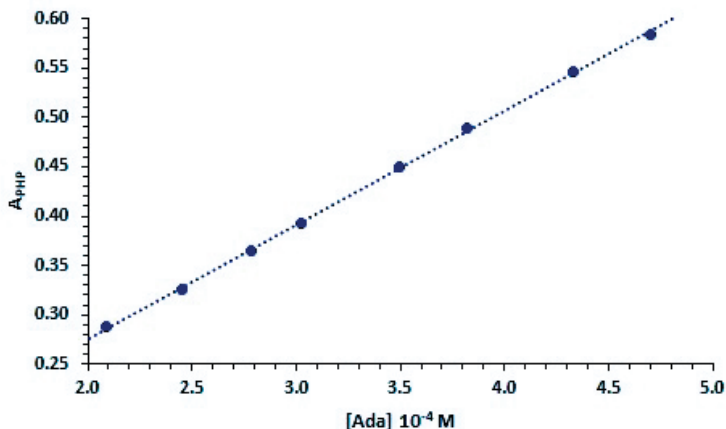
## Appendice

Una versione quantitativa dell'esperimento [19] appena descritto può essere realizzata nel caso in cui si abbia a disposizione uno spettrofotometro UV-vis che consenta di misurare l'assorbanza  $A$  della soluzione che, come è noto, è legata alla concentrazione della specie cromofora (in questo caso la PHP) dalla relazione di Lambert-Beer:  $A = \epsilon[\text{PHP}]l$ . La lunghezza d'onda del

massimo di assorbimento della PHP è  $\sim 550 \pm 2$  nm.

Come si può osservare in figura 6, la variazione di assorbanza in funzione della concentrazione di Ada, di una soluzione contenente il complesso PHP- $\beta$ CD, è lineare almeno nelle seguenti condizioni:

[PHP]  $\sim (4-5) \cdot 10^{-5}$  M; [ $\beta$ CD]  $\sim (3-4) \cdot 10^{-4}$  M; [Ada]  $\sim (2-5) \cdot 10^{-4}$  M



**Figura 6.** Assorbanza  $A_{\text{PHP}}$  di soluzioni a concentrazione fissa di [PHP]:  $4.3 \cdot 10^{-5}$  M e [ $\beta$ CD]:  $3.4 \cdot 10^{-4}$  M a concentrazione variabile di Ada.

In queste condizioni infatti la concentrazione della PHP spiazzata dal complesso è direttamente proporzionale a quella di Ada aggiunto. Dalla retta ottenuta riportando i valori di assorbanza di soluzioni a concentrazioni note di Ada aggiunto, è possibile ricavare la concentrazione incognita di Ada di una ulteriore soluzione (purché questa ricada all'interno dell'intervallo predetto) misurandone l'assorbanza e ricavandone la concentrazione dalla retta.

## Bibliografia

- [1] Fischer, E., Einfluss der Configuration auf die Wirkung der Enzyme. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, **1894**, 27, 2985.
- [2] Cram, D.J., The Design of Molecular Hosts, Guests, and Their Complexes (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition in English*, **1988**, 27, 1009.
- [3] Lehn, J.-M., Supramolecular Chemistry—Scope and Perspectives Molecules, Supermolecules, and Molecular Devices (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition in English*, **1988**, 27, 89.

- [4] Pedersen, C.J., The Discovery of Crown Ethers (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition in English*, **1988**, 27, 1021.
- [5] Feringa, B.L., The Art of Building Small: From Molecular Switches to Motors (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, **2017**, 56, 11060.
- [6] Sauvage, J.-P., From Chemical Topology to Molecular Machines (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, **2017**, 56, 11080.
- [7] Stoddart, J.F., Mechanically Interlocked Molecules (MIMs)—Molecular Shuttles, Switches, and Machines (Nobel Lecture). *Angewandte Chemie International Edition*, **2017**, 56, 11094.
- [8] Szejtli, J., Introduction and General Overview of Cyclodextrin Chemistry. *Chemical Reviews*, **1998**, 98, 1743.
- [9] Saenger, W., et al., Structures of the Common Cyclodextrins and Their Larger Analogues Beyond the Doughnut. *Chemical Reviews*, **1998**, 98, 1787.
- [10] Rees, D.A., Thom, D., Polysaccharide conformation. Part 10. Solvent and temperature effects on the optical rotation and conformation of model carbohydrates. *Journal of the Chemical Society, Perkin Transactions 2*, **1977**, 191.
- [11] Lichtenthaler, F.W., Immel, S., Molecular Modelling of Saccharides, 9!! On the Hydrophobic Characteristics of Cyclodextrins: Computer-Aided Visualization of Molecular Lipophilicity Patterns. *Liebigs Annalen*, **1996**, 1996, 27.
- [12] Connors, K.A., The Stability of Cyclodextrin Complexes in Solution. *Chemical Reviews*, **1997**, 97, 1325.



**Le imprese di biotecnologie in Italia – Facts&Figures**

A fine 2017 sono oltre 570 le imprese **biotech** attive in Italia. Un comparto fortemente innovativo, molto focalizzato sulla ricerca e in fase di consolidamento attorno alle sue realtà più solide e competitive, potenzialmente pronto ad accogliere le sfide e le opportunità che il settore offre a livello internazionale. E' questa, in estrema sintesi la fotografia scattata nel Rapporto 2018 "Le imprese di biotecnologie in Italia – Facts&Figures" che Assobiotech, Associazione nazionale per lo sviluppo delle biotecnologie che fa parte di Federchimica, ha realizzato in collaborazione con ENEA e che è stato presentato oggi a Roma in occasione dell'Assemblea Nazionale 2018 dell'associazione industriale.

La grande maggioranza delle imprese biotech italiane (76%) è costituita da aziende di dimensione micro o piccola. Il comparto della salute genera quasi tre quarti del fatturato biotech totale, che supera gli 11,5 miliardi di euro con un incremento del 12% tra il 2014 e il 2016. Il 68% di questo fatturato è generato dalle imprese a capitale estero, che rappresentano solo il 13% delle imprese censite.

Il numero degli addetti sfiora le 13.000 unità registrando un + 17% nelle imprese dedicate alla R&S biotech a capitale italiano; gli investimenti in R&S biotech superano i 760 milioni, con una crescita del 22% tra il 2014 e il 2016.

Nel corso del 2016, il 72% delle imprese si è autofinanziata, oltre il 40% ha avuto accesso a grants, il 22% ha fatto ricorso al capitale di debito, mentre soltanto il 6% ha potuto accedere a finanziamenti di Venture Capital.

Il Rapporto evidenzia inoltre che il biotech nazionale è un settore con un'elevata proiezione sui mercati esteri. La quota di imprese esportatrici (38% nel 2015) risulta in tendenziale aumento negli ultimi anni rilevati ed è pari mediamente a più di una volta e mezza quella del comparto manifatturiero (23% delle imprese nel 2015) e sette volte quella relativa all'industria italiana nel suo complesso, sostanzialmente ferma a poco meno del 5%.

La Lombardia si conferma la prima regione in Italia per numero di imprese (162 pari al 28% del totale), investimenti in R&S (23% del totale) e fatturato biotech (32% del totale). Seguono Lazio (58) ed Emilia Romagna (57) per numero di imprese. Guardando invece agli investimenti in R&S, dopo la Lombardia è la Toscana la regione che più investe nel biotech, seguita dal Lazio, delineando in questo modo una mappatura chiara delle aree trainanti del biotech in Italia.

*"Le imprese biotech che operano in Italia rappresentano un comparto di indiscussa eccellenza, sia scientifica sia tecnologica in tutti i settori di applicazione delle biotecnologie. I dati emersi confermano una fotografia fatta di luci e ombre: una buona produzione scientifica di base, ma dimensioni troppo piccole e che stentano a crescere, un trend positivo che dimostra la vitalità del settore, ma su valori assoluti di investimenti in ricerca non competitivi. Il settore, quindi, sembra pronto ad offrire grandi opportunità al Paese, ma al tempo stesso ha urgente bisogno di una strategia nazionale di medio-lungo periodo a favore di innovazione e ricerca, un piano fatto di misure stabili nel tempo e che preveda una governance certa, efficace e centralizzata: misure che permetterebbero alle imprese di superare il limite di una dimensione spesso troppo piccola, ma anche di rendere più attrattivo il Paese per gli investimenti sia di capitale che industriali, garantendo ricadute potenzialmente importanti in termini di sviluppo economico, occupazione e, in ultima analisi, crescita e competitività"* – commenta Luca Benatti, componente del Comitato di Presidenza di Assobiotec.

*"Grazie alla ricchezza e alla completezza dei dati presentati nel Rapporto 2018, siamo riusciti a delineare un quadro che vede il settore delle biotecnologie come trainante in un'economia avanzata come quella italiana, con ulteriori e ampie potenzialità di sviluppo. Il suo ruolo strategico è confermato dalla robusta crescita di tutti i principali indicatori economici in mercati dove la competizione è prevalentemente tecnologica. Ora, il consolidamento della collaborazione con Assobiotec offre all'ENEA la possibilità di ampliare lo scambio di conoscenze e di competenze con le imprese che operano in questo settore ad alto contenuto tecnologico"* - sottolinea Federico Testa, Presidente dell'ENEA.

## **Responsible Care**

Imprese chimiche responsabili sul territorio, in grado di garantire la crescita economica nel rispetto delle persone e dell'ambiente: la 16<sup>a</sup> Conferenza dei Coordinatori di Responsible Care, tenutasi oggi a Brindisi, ha evidenziato ancora una volta il ruolo fondamentale dell'industria chimica per lo sviluppo sostenibile, anche a livello locale.

Responsible Care è il Programma volontario per la tutela di salute sicurezza e ambiente, coordinato in Italia da Federchimica la Federazione nazionale dell'industria chimica.

*"Responsible Care è un'eccellenza nel panorama industriale; perché è un modo unico, etico e sostenibile di lavorare e creare nel contempo cultura d'impresa"* ha commentato Gerardo Stillo, Presidente del Programma Responsible Care. *"Grazie al Programma, fin dal 1992 abbiamo intrapreso un percorso che ci ha permesso di diventare un settore d'eccellenza nella*

*responsabilità sociale d'impresa".*

La conferenza, promossa da Federchimica in collaborazione con Confindustria Brindisi, è stata l'occasione per parlare di sostenibilità e sviluppo del territorio; la chimica a Brindisi conferma la sua volontà di guardare avanti in maniera responsabile perseguendo lo sviluppo sostenibile.

"Lo sviluppo economico, sociale ed ambientale è una priorità per le imprese chimiche brindisine; infatti imprese, lavoratori e loro rappresentanti sono uniti e seriamente impegnati nella responsabilità sociale anche attraverso la promozione del Programma Responsible Care. I risultati sono evidenti: a fronte di oltre 10,5 milioni di ore lavorate, negli ultimi 5 anni si possono contare 6 infortuni ai dipendenti diretti e indiretti delle imprese del Polo Chimico. Un dato concreto che testimonia la nostra massima attenzione alla sicurezza dei lavoratori ai quali annualmente vengono mediamente erogate oltre 7.000 ore di formazione su Sicurezza e Salute" ha concluso Gerardo Stillo.

Con un fatturato di circa 1.557 milioni di euro, l'industria chimica a Brindisi svolge un ruolo fondamentale per lo sviluppo del territorio, impiegando 1.779 persone di cui 1.125 direttamente.

*"Nel territorio locale, la nostra organizzazione imprenditoriale ha da tempo assunto l'impegno di promuovere la diffusione della cultura e dei valori etici d'impresa all'interno del sistema, e di valorizzare gli stessi nei confronti degli interlocutori esterni - ha concluso Giuseppe Marinò Presidente di Confindustria Brindisi.*

*"Occorre fornire un ulteriore impulso alla incentivazione di programmi aziendali per l'adozione di sistemi di responsabilità sociale, prevedendo non solo sostegni ai progetti, ma concreti riconoscimenti alle aziende certificate, che comprendano l'ambito delle semplificazioni amministrative e quello delle agevolazioni fiscali".*

Qualificato il panel dei relatori intervenuti tra i quali Domenico Laforgia, Direttore Dipartimento Sviluppo Economico, Innovazione, Istruzione e Lavoro, Regione Puglia, Alfredo Pini, Direttore dell'Area Normazione Tecnica e Ambientale di ISPRA, Federico Pirro, Professore di Storia Industriale dell'Università di Bari, Giuseppe Marinò Presidente Confindustria Brindisi, Marcello Perra Vice – Presidente Confindustria Brindisi e Domenico Marcucci Responsabile Nazionale Sicurezza e Salute FILCTEM-CGIL in rappresentanza delle Organizzazioni Sindacali.

## **Il Programma Responsible Care:**

### **Risultati concreti in continuo miglioramento**

- La chimica è un settore sicuro, tra i migliori in quanto a prestazioni su sicurezza e salute tra quelli manifatturieri e con risultati in continuo miglioramento.

- La chimica ha ridotto il suo impatto sull'ambiente in maniera significativa: -55% di gas serra, -96% di altre emissioni in atmosfera e -81% di sostanze inquinanti negli scarichi idrici rispetto al 1990.
- Il settore è efficiente nell'utilizzo delle risorse a parità di produzione: -25% di petrolio utilizzato per la trasformazione in prodotti chimici; +57% di efficienza energetica (risultato già abbondantemente in linea con gli obiettivi indicati dall'Unione europea per il 2020 e per il 2030).
- L'industria chimica è già orientata allo sviluppo dell'economia circolare: il 23% dei rifiuti prodotti viene riciclato e un ulteriore 39% destinato a ripristino ambientale.
- Importanti gli investimenti della chimica nella sostenibilità: ogni anno spende oltre il 2% del proprio fatturato e dedica circa il 20% dei propri investimenti a sicurezza, salute e ambiente.

### **Se lo ami, lo curi – Federchimica**

Si è tenuto a Roma, il 16 maggio presso il Grand hotel Plaza di Via del Corso, l'evento " **Se lo ami lo curi**" Sostenibilità delle cure per gli animali da compagnia e responsabilità sociale nell'adozione di cani e gatti

*"60 milioni di animali domestici sono una realtà sociale da valorizzare, visti i riflessi positivi della loro presenza nelle nostre case: la Pet therapy è ormai riconosciuta come valore globale, in quanto fattore migliorativo del nostro benessere psicofisico, delle nostre relazioni sociali, del ruolo importantissimo che svolge soprattutto per i bambini e gli anziani".* Così Arianna Bolla, Presidente di AISA, l'Associazione di Federchimica che rappresenta le imprese della salute animale a livello nazionale, nel corso dell'evento "**Se lo ami, lo curi**", dedicato al ruolo e alla salute degli animali da compagnia.

Un fenomeno che riguarda il 58% delle famiglie italiane, che possiedono almeno un Pet (il 20% ne possiede due). Si tratta soprattutto di cani e gatti: circa 14 milioni e mezzo di esemplari.

Scelgono la compagnia di un animale soprattutto le donne (68,5%), quasi il 70% dei proprietari ha più di 44 anni. Quasi l'80% dei possessori di cani e gatti reputa di grande importanza la cura dei propri amici a quattro zampe e il veterinario è per il 61% il riferimento principale.

*"Una corretta prevenzione, associata a cure specifiche e mirate, ad una buona alimentazione e ad alcune semplici regole, aiutano a contenere le spese veterinarie: la sostenibilità sociale delle cure è un tema che AISA intende seguire da vicino"* ha confermato Bolla.

*"In questo senso l'Associazione si affianca all' iniziativa di Senior Italia FederAnziani: si tratta di un lavoro lungo e complesso che si svilupperà nei prossimi mesi, ma che oggi vogliamo anticipare".*

La collaborazione tra Aisa e Senior Italia FederAnziani nasce con l'obiet-



tivo di mappare e censire i canili e i gattili sul territorio nazionale e proporre alle istituzioni di avviare iniziative che possano sostenere e promuovere, da parte degli anziani, l'adozione di Pet da queste strutture".

I canili rifugio, infatti, svolgono un'opera socialmente importante ma, a volte, rappresentano un problema relativamente alla qualità della vita offerta agli animali, oltre ai costi di gestione che si riversano sulle Amministrazioni locali e, di riflesso, sulla collettività.

Ogni anno lo Stato spende oltre 160 milioni di Euro per i soli cani (pari a circa 1.277 Euro di costo medio anno per un cane in un canile).

La proposta di Senior Italia FederAnziani e Aisa è promuovere l'adozione da strutture per animali abbandonati, ad esempio mettendo a disposizione incentivi per chi adotta sotto forma di detrazioni/deduzioni di spese veterinarie, riduzione dell'IVA sui farmaci veterinari e sulle prestazioni obbligatorie.

Secondo le stime disponibili, infatti, 3 milioni di over 65 spendono per il proprio Pet più di 2 miliardi di euro l'anno, ovvero più di 55 euro al mese: cifre importanti, che potrebbero nel tempo, indurre le fasce più deboli a rinunciare alla compagnia di un animale domestico, con conseguente danno per la qualità della loro vita.

*"Con questa iniziativa - ha concluso Roberto Messina, Presidente Senior Italia FederAnziani - i quasi 13 milioni di senior italiani potrebbero essere aiutati non solo nel miglioramento qualitativo della loro vita, ma anche attraverso un contributo sostanziale dal punto di vista economico, di cui beneficerebbe tutta la comunità".*

All'evento hanno partecipato anche la Senatrice Caterina Biti; l'On. Michela Vittoria Brambilla (in collegamento skype), Presidente Lega Italiana per la difesa degli animali e dell'ambiente; Silvio Borrello della Direzione generale della sanità animale e dei farmaci veterinari del Ministero della Salute e Marco Melosi, Presidente Anmvi, Associazione nazionale medici veterinari italiani.



AREE SCIENTIFICO–DISCIPLINARI

AREA 01 – Scienze matematiche e informatiche

AREA 02 – Scienze fisiche

AREA 03 – **Scienze chimiche**

AREA 04 – Scienze della terra

AREA 05 – Scienze biologiche

AREA 06 – Scienze mediche

AREA 07 – Scienze agrarie e veterinarie

AREA 08 – Ingegneria civile e architettura

AREA 09 – Ingegneria industriale e dell’informazione

AREA 10 – Scienze dell’antichità, filologico–letterarie e storico–artistiche

AREA 11 – Scienze storiche, filosofiche, pedagogiche e psicologiche

AREA 12 – Scienze giuridiche

AREA 13 – Scienze economiche e statistiche

AREA 14 – Scienze politiche e sociali

AREA 15 – Scienze teologico–religiose

*Il catalogo delle pubblicazioni di Aracne editrice è su*

[www.aracneeditrice.it](http://www.aracneeditrice.it)

Finito di stampare nel mese di luglio del 2018  
dalla tipografia «System Graphic S.r.l.»  
00134 Roma – via di Torre Sant’Anastasia, 61  
per conto della «Giacchino Onorati editore S.r.l. – unipersonale» di Canterano (RM)