

CnS

La Chimica nella Scuola

n. 3 anno 2022

- **Metodologie didattiche: un modo semplice per affrontare il concetto di periodicità; un aspetto ostico della termodinamica; cosa significa fare laboratorio**
- **Approccio storico-epistemologico: dai tubi di Crookes alla radioattività**
- **Percorsi laboratoriali: un percorso sulla spettroscopia**
- **Pagine di storia: un chimico palermitano rivoluzionario e irriverente**
- **In ricordo di un amico e maestro: ciao Antonio**

EDITORIALE

3 Anche quest'anno è arrivata l'estate!

Margherita Venturi

IN RICORDO DI FLORIANO

5 Ciao Antonio

Il Direttivo della DD-SCI

METODOLOGIE DIDATTICHE

6 Si può costruire il concetto di periodicità senza il modello atomico di Bohr?

Delia Chillura Martino, Renato Lombardo, Antonella Maggio, Matteo Rizzo, Gaspare Vivona

13 Il laboratorio nella didattica delle discipline tecnologiche (e scientifiche)

Leonardo Barsantini

18 Il lavoro di espansione in termodinamica

Guglielmo Monaco

L'APPROCCIO STORICO-EPISTEMOLOGICO PER LA SCUOLA SUPERIORE

23 Decifrare la chimica invisibile: un excursus storico-epistemologico dai tubi di Crookes alla radioattività

Teresa Celestino

PERCORSI LABORATORIALI

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

Maria Antonietta Carpentieri, Sandro Jurinovich, Valentina Domenici

MUSEI SCIENTIFICI E DIDATTICA

44 Un Museo Multipolare della Strumentazione Scientifica Storica

Luigi Campanella

PAGINE DI STORIA

45 Giuseppe Oddo: chimico "rivoluzionario" e "irriverente"

Renato Noto

DARE VOCE AGLI STUDENTI

50 La scuola di oggi e il mondo di domani. Insegnamento delle scienze, storia e studi della scienza (STS)

Giovanni Polisenà

KEYWORDS

56 Il legame chimico: dalla complessità quantistica alla modellizzazione didattica

Giovanni Villani

ESPERIENZE DI CHIMICA E DI VITA VISSUTA

61 La mia scoperta dell'America

Domenico Misiti

NEWS

69 Conclusa la Settima Edizione del Premio Asimov per l'Editoria Scientifica

Silvano Fuso

71 ChiMiCapisce? 2022

Riccardo Lucentini, Gianluigi Albano, Ottavia Bettucci, Chiara Corradi, Antonella Maria Maggio, Massimo Trotta, Stefano Cinti

72 La Divisione di Didattica dice la sua sul decreto-legge 36/2022 che norma la formazione iniziale degli insegnanti

Il Direttivo della DD-SCI



Società Chimica Italiana

DIRETTORE ONORARIO

Gaetano Guerra

COMITATO EDITORIALE

Direttore: Margherita Venturi • *Vice-direttori:* Eleonora Aquilini, Giovanni Villani

COMITATO DI REDAZIONE

Eleonora Aquilini, Luigi Campanella, Giorgio Cevasco, Marco Ciardi, Valentina Domenici, Maria Funicello, Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Elena Lenci, Anna Maria Madaio, Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni, Francesca Turco, Mariano Venanzi, Margherita Venturi, Giovanni Villani, Roberto Zingales

COMITATO SCIENTIFICO

Presidente: Luigi Campanella • Vincenzo Balzani, Agostino Casapullo, Carlo Fiorentini



ISSN: 0392-8942

REGISTRAZIONE: 03/05/1996 n. 219 presso il Tribunale di Roma.

PERIODICITÀ: Bimestrale

Margherita Venturi

Anche quest'anno è arrivata l'estate!



Cara/o lettrice/lettore, anche quest'anno, puntuale come sempre, è arrivata la tanto agognata estate e, dopo gli ultimi impegni scolastici (scrutini, esami, ecc.), finalmente potremo andare in vacanza; speriamo di poter godere di una vacanza "normale" come quella pre-pandemia, nonostante il COVID-19 ci stia ancora perseguitando e il conflitto Russia-Ucraina incomba inesorabile su tutti.

Al mare sotto l'ombrellone o in montagna, magari di fronte ad un laghetto alpino, non ti dimenticare di leggere questo numero del CnS; ricordo che potrai farlo anche comodamente dal tuo cellulare collegandoti a questo link: <https://chimicanellascuola.it> Nel presente numero, infatti, troverai spunti interessanti da mettere nel cassetto e tirare fuori quando rientrai in classe; giusto per stuzzicare la tua curiosità riporto solo alcuni esempi: come parlare di periodicità in maniera semplice; come affrontare un aspetto ostico della termodinamica; come passare dalla scoperta dei raggi X alla radioattività, come "portare" gli studenti nel mondo della spettroscopia; e poi, ancora, come transitare dalla complessità quantistica del legame chimico alla modellizzazione didattica e cosa significa realmente "fare laboratorio".

Troverai anche letture piacevoli: la storia di un chimico palermitano rivoluzionario e irreverente della seconda metà del XIX secolo, i ricordi di chimica e di vita di un giovane ricercatore, ormai non più

tanto giovane, e le riflessioni di uno studente appena laureato sulla scuola di oggi e il mondo di domani. Ma c'è anche una nota profondamente dolorosa che leggerai in apertura di questo numero e che riguarda la scomparsa inaspettata del nostro amico e maestro (Michele) Antonio Floriano che tanto ha fatto per la didattica chimica e per la formazione dei docenti: una figura che non dimenticheremo mai e che lascia un vuoto incolmabile.

E a proposito della formazione insegnanti, fra le News, troverai il documento che la Divisione di Didattica ha elaborato e inviato al Ministero competente per evidenziare alcune perplessità sul Decreto-legge 36/2022.

Ci tengo, inoltre, a sottolineare che l'impegno della Divisione di Didattica non finisce qui, perché proprio durante l'estate, quando tutti si concedono il giusto riposo, lavorerò duramente per completare l'organizzazione di tre eventi che, spero, riscuoteranno il tuo interesse:

- la *VII Scuola Nazionale di Didattica della Chimica "Giuseppe Del Re"* che quest'anno si svolgerà, fondamentalmente in presenza, dal 6 al 9 ottobre presso il Centro Residenziale Universitario di Bertinoro (FC) e che verterà sul tema "*La Chimica per uno sviluppo sostenibile e l'educazione civica*"
- la *XIV Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre"* che, invece, sarà in modalità



on-line nella seconda metà di novembre e che affronterà il tema *“Osservabili e modelli: il caso dei fenomeni di trasferimento elettronico”*

- un Workshop, con l’obiettivo di *recensire i corsi di Didattica della Chimica* attivati all’interno di percorsi istituzionali di lauree triennali o magistrali, che si terrà in presenza dal 2 al 4 settembre sempre presso il Centro Residenziale Universitario di Bertinoro (FC)

Ovviamente tutte le informazioni dettagliate saranno presenti quanto prima nel sito della Divisione di Didattica (<https://www.soc.chim.it/en/divisioni/didattica/home>) e diffuse anche attraverso altri canali.

Chiudo con una notizia molto piacevole e, soprattutto, gratificante per la nostra disciplina.

In occasione delle Finali Nazionali dei Giochi della Chimica, svoltesi a Roma in maggio, con la partecipazione di 99 studenti, sono arrivati due messaggi che senz’altro resteranno scolpiti nelle pagine di questa iniziativa.

Il primo è stato inviato dal Presidente del Pontificio Consiglio della Cultura, il Cardinale Gianfranco Ravasi, per esprimere la sua vicinanza alle studentesse e agli studenti impegnati nella gara. Il secondo, invece, era a firma del Segretario di Stato, il Cardinale Pietro Parolin, che ricordando la passione del Santo Padre per la Chimica, studiata prima di entrare in

seminario, portava ai partecipanti l’affettuoso saluto e la Benedizione Apostolica di Papa Francesco. È sicuramente un grande stimolo per tutti gli studenti e, soprattutto, per i docenti che, con grande sforzo e notevole impegno, cercano di traghettare i nostri giovani nel mondo meraviglioso della Chimica. Che dire ancora? Buona lettura e buone vacanze! ■

POSTE ITALIANE S.P.A.
ZCZC RIF20220520-94A-18250601-001
ICGE CO IGRM 132
00100 CENTROGESTIONENAZIONALE 132 23 0805 NESSUNA NOTA AGGIUNTIVA

PREG.MO PROF. GIORGIO CEVASCO (686)
UNIV. DEGLI STUDI DI GENOVA DIP. CHIMICA
VIA DODECANESO, 31
16146 GENOVA

IN OCCASIONE DELLE FINALI NAZIONALI DEI GIOCHI DELLA CHIMICA, PAPA FRANCESCO E' LIETO DI INVIARE AI PARTECIPANTI IL SUO AFFETTUOSO SALUTO.
EGLI, EVOCANDO I SUOI STUDI E IL SUO IMPEGNO LAVORATIVO COME CHIMICO, RAMMENTA CHE, COME PER OGNI IMPORTANTE SCELTA ESISTENZIALE, BISOGNA ANZITUTTO SAPER DISCERNERE QUELLO CHE DIO VUOLE DA CIASCUNO E, AL TEMPO STESSO, AVERE IL CORAGGIO E L'AUDACIA DI SEGUIRLO NELLA DIREZIONE CHE LUI HA INDICATO.
IL SANTO PADRE INCORAGGIA PERTANTO I GIOVANI STUDENTI A TROVARE LA STRADA CHE IL SIGNORE HA IN MENTE PER OGNUNO, ALIMENTANDO SEMPRE LA PASSIONE PER LA RICERCA, PER LA VITA E PER LE OPERE BUONE.
CON TALI VOTI SUA SANTITA' ASSICURA IL RICORDO NELLA PREGHIERA E VOLENTIERI INVIA LA BENEDIZIONE APOSTOLICA.

DAL VATICANO, 20 MAGGIO 2022

CARDINALE PIETRO PAROLIN
SEGRETARIO DI STATO DI SUA SANTITA'

MITTENTE:
POSTE VATICANE
NR. TG. 200
00120 CITTADELVATICANO

Il Direttivo della DD-SCI

Ciao Antonio

Con profonda tristezza comuniciamo che il 15 aprile 2022 è scomparso tanto improvvisamente quanto inaspettatamente il prof. (Michele) Antonio Floriano, ordinario di chimica-fisica presso l'Università di Palermo.

Antonio è stato Vicepresidente della SCI negli anni 2008-2009 e Presidente della Divisione di Didattica (DD-SCI) nel triennio 2010-12.

La sua attività di ricerca, effettuata in collaborazione con molte università internazionali, ha riguardato lo studio delle proprietà termodinamiche e strutturali di fasi condensate quali liquidi, solidi amorfi, polimeri e soluzioni micellari mediante tecniche sperimentali e teoriche. In particolare, ha utilizzato teorie avanzate di meccanica statistica per calcolare i coefficienti di attività di soluzioni elettrolitiche concentrate, ha sfruttato le tecniche della radiolisi pulsata per misurare la conducibilità di idrocarburi liquidi, mediante lo scattering di neutroni ha contribuito alla prima determinazione della struttura di una nuova fase di ghiaccio amorfo ad alta densità, ha studiato le proprietà termodinamiche di acqua sottoraffreddata ed ha usato simulazioni Monte Carlo per interpretare le caratteristiche strutturali e di stabilità di fase di soluzioni di tensioattivi e miscele di polimeri.

Parte del suo lavoro ha anche riguardato lo sviluppo di metodologie didattiche innovative basate sul modello microscopico della materia. È stato, infatti, un convinto promotore della ricerca didattica ed epistemologica in campo chimico, oltre ad aver fortemente incoraggiato il dialogo tra mondo universitario e mondo della scuola. Il suo nome è legato a innumerevoli iniziative, prime tra tutte la Scuola Per-



manente per l'Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze Sperimentali (SPAIS) e la Scuola di Ricerca Educativa e Didattica Chimica "Ulderico Segre", già giunta alla sua XIV edizione.

Dapprima come presidente DD-SCI e poi come membro del direttivo DD-SCI si è speso nell'elaborazione di proposte per la formazione iniziale degli insegnanti di scienze.

Dal 2008 al 2014, all'interno di European Chemistry Thematic Network (ECTN) ha fatto parte

del gruppo di lavoro su "Innovative Methods in Chemistry Education" ed è stato coordinatore per due trienni successivi del gruppo di lavoro su "Image of Chemistry". È stato, inoltre, responsabile dell'agenzia SCI-ECTN per il conferimento dei titoli Eurobachelor e Euomaster ai corsi di studio attivati presso le università italiane e componente del gruppo di lavoro SCI-ConChimica, coordinato dal Prof. U. Segre, che ha redatto il primo documento che specifica i contenuti minimi dei Corsi di Studio in Chimica (core chemistry).

Nel 2020 ha ricevuto la medaglia "Gabriello Illuminati" della SCI, per lo sviluppo e l'applicazione di metodologie didattiche innovative, per i suoi impegni istituzionali, per la partecipazione a commissioni e comitati nazionali e internazionali con fini formativi/didattici, per il suo coinvolgimento in progetti nazionali e internazionali di tipo didattico e per la divulgazione della Chimica a diversi livelli.

Abbiamo perso un maestro, un collega e un amico che ricorderemo per il suo acume, il suo spirito battagliero, la sua capacità di farci riflettere e la sua franchezza. Ciao Antonio: sarai, comunque, sempre con noi. ■

Delia Chillura Martino, Renato Lombardo, Antonella Maggio

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

✉ antonella.maggio@unipa.it

Matteo Rizzo

Istituti Scolastici Associati – I.S.A. Srl, Palermo

Gaspere Vivona

Departamento de Didáctica y Organización Escolar, Facultad de Filosofía y Ciencias de la Educación, Universitat de Valencia

Si può costruire il concetto di periodicità senza il modello atomico di Bohr?

Dedicato alla memoria di (Michele) Antonio Floriano, ispiratore e guida della ricerca in didattica chimica all'Università di Palermo

RIASSUNTO I concetti di atomo, elemento e sostanza, pur costituendo concetti fondanti della Chimica, generalmente risultano difficili da comprendere. Questo ha come conseguenza l'uso non sempre appropriato di questi termini, l'associazione del concetto di periodicità quasi esclusivamente alla descrizione delle proprietà atomiche e l'impiego limitato della tavola periodica.

Basandoci su queste evidenze, ci siamo chiesti se fosse possibile presentare il concetto di periodicità, senza aver introdotto i modelli atomici e la configurazione elettronica, facendo esclusivamente riferimento ai criteri di classificazione degli elementi individuati da Mendeleev. È stato progettato un modulo di un percorso verticale mirato a sviluppare il concetto di periodicità, con attività basate sulle proprietà macroscopiche delle sostanze e della loro composizione, che hanno permesso di ricavare una prima semplice tavola periodica degli elementi.

Il progetto è stato proposto e svolto nell'ambito di una tesi Magistrale in Didattica della Chimica. In questo contributo si discuterà la scelta della metodologia, della strategia e degli strumenti per la realizzazione delle attività.

ABSTRACT The concepts of atom, element, and substance, while constituting fundamental chemical concepts, are generally tricky to understand. The not authentic comprehension of these concepts results in their not appropriate use, in the association of the idea of periodicity almost exclusively with the description of the atomic properties and the consequent limited use of the periodic table.

Based on this evidence, we investigated the possibility of presenting periodicity's concept without introducing atomic models and electronic configurations, while referring exclusively to the classification criteria of the elements identified by Mendeleev. As a result, a module of a vertical path aimed at developing the concept of periodicity was designed. Furthermore, we planned and realized activities based on the macroscopic properties and composition of substances, which made it possible to obtain a first simple Periodic Table of elements.

The project was proposed and carried out as part of a Master's thesis in Didactics of Chemistry. This contribution will discuss the choice of the methodology, the strategy, and the tools employed in these activities.

PAROLE CHIAVE periodicità, IBSE, sostanze, elementi

1. Il concetto di periodicità: difficoltà e concezioni alternative

Il concetto di periodicità è alla base non soltanto dell'organizzazione degli elementi nella Tavola Periodica, ma anche della razionalizzazione e previsione del comportamento delle sostanze. Esso viene spesso trattato con insufficiente approfondimento, per esempio non mettendo in evidenza che la Tavola Periodica è una sorta di catalogo costruito a strati, in cui sono riportate le proprietà di entità diverse che entrano nei tre diversi livelli concettuali della Chimica. Inoltre, non viene dedicato abbastanza tempo a far comprendere agli

studenti il significato della Legge di Periodicità, le sue implicazioni e il suo potere fortemente predittivo. Pertanto, data la vastità di argomenti che esso comprende, che vanno dal macroscopico al microscopico, riteniamo che dovrebbe essere affrontato nelle scuole superiori di secondo grado nel corso dei cinque anni curriculari attraverso un approccio a spirale che abbia come obiettivo quello di mostrare i contenuti in modo ricorsivo a livelli di complessità e completezza crescenti, in modo che possano essere assimilati gradualmente e diventino concetti strutturanti.

Secondo Talanquer [1] la Legge di Periodicità è, con il concetto di Atomicità, cui sono connessi il concetto di composizione della materia, dell'identità e struttura degli atomi, uno dei "threshold concepts" la cui reale comprensione coinvolge profonde trasformazioni nel modo in cui alcuni razionalizzano o interpretano sistemi rilevanti e fenomeni di una disciplina. La comprensione autentica di tali concetti permetterebbe di superare alcune difficoltà concettuali degli studenti dipendenti dalla non comprensione dei modelli submicroscopici della materia utilizzati per descrivere, predire, spiegare e controllare le proprietà e il comportamento delle sostanze.

Il lavoro pionieristico di Mendeleev fu fondato sulla teoria atomico-molecolare di Cannizzaro, riportata per la prima volta nel 1858 nel *Sunto*, e fu condotto dal 1869 al 1889, prima che Thomson (1897), Rutherford (1911), Bohr (1913) e Moseley (1913) gettassero le basi della moderna teoria atomica.

Fu Mendeleev [2] a correlare i pesi atomici e le valenze con le proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e dei composti:

The periodic law has shown that our chemical individuals [atoms] display a harmonic periodicity of properties, dependent on their masses [...]. An example will better illustrate this view. The atomic weights –

Ag = 108 - Cd = 112 - In = 113 - Sn = 118 - Sb = 120 - Te = 125 - I = 127

steadily increase, and their increase is accompanied by a modification of many properties which constitutes the essence of the periodic law. Thus, for example, the densities of the above elements decrease steadily, being respectively – 10.5 - 8.6 - 7.4 - 7.2 - 6.7 - 6.4 - 4.9

while their oxides contain an increasing quantity of oxygen –

Ag₂O - Cd₂O₂ - In₂O₃ - Sn₂O₄ - Sb₂O₅ - Te₂O₆ - I₂O₇

But to connect by a curve the summits of the ordinates expressing any of these properties would

involve the rejection of Dalton's law of multiple proportions. Not only are there no intermediate elements between silver, which gives AgCl, and cadmium which gives CdCl₂, but, according to the very essence of the periodic law there can be none; in fact a uniform curve would be inapplicable in such a case, as it would lead us to expect elements possessed of special properties at any point of the curve.

(D. I. Mendeleev, *Faraday Lecture*, 1889, pp. 640–641).

E ancora più avanti, in pieno clima positivista, egli rivendica anche il fatto che la Legge di Periodicità "sia fondata sul solido e sano terreno di ricerca sperimentale".

Nonostante ciò, l'approccio più comunemente adottato è quello proposto dai manuali scolastici e la Legge di Periodicità è trattata alla stregua di un criterio ordinatorio della materia che deriva dalla struttura atomica lasciando gli studenti all'oscuro di come fosse stato possibile elaborarla prima della descrizione degli atomi in chiave moderna.

L'approccio microscopico appare essere diffuso anche a livello internazionale. La recente celebrazione dell'Anno Internazionale della Tavola Periodica (*International Year of Periodic Table*, <https://www.iypt2019.org>) ha prodotto un rinnovato interesse riguardo a strategie e azioni mirate a migliorare la comprensione della Legge di Periodicità. Limitandoci agli ultimi due anni, alcuni contributi riguardano strategie basate sul *gaming* [3-8], altri riguardano lo sviluppo di algoritmi di *machine learning* [9, 10] altri ancora presentano attività che utilizzano la Legge di Periodicità come principio organizzatore al fine di migliorare la comprensione della Legge stessa e promuovere l'importanza della Chimica nei riguardi della sostenibilità e dell'economia circolare [11].

Le numerose proposte di attività sopra riportate mescolano i piani concettuali o sono focalizzate sul piano simbolico o microscopico. Soltanto in un caso è stata riportata un'attività che correla, in maniera esplicita, il piano macroscopico con quello simbolico [12].

L'approccio alla Legge di Periodicità prevalentemente sub-microscopico può favorire il radicamento di concezioni alternative [13, 14] come evidenziato da alcuni autori [15]. Gli stessi autori attribuiscono la presenza di tali concezioni alternative alla precoce introduzione dei livelli concettuali sub-microscopico e simbolico. Citando Johnstone [16]:

Chemistry should be presented in a way that capitalizes on what students are familiar with and for which they already have anchorages in long-term memory. This might require a complete re-ordering of what is taught, with the possibility of an applications-led structure to maintain interest, beginning with organic chemistry. Some content may have to go; some might have to be postponed even for years, and some rescheduled. Nothing should be so sacrosanct as to escape this scrutiny. Concepts must be built from the macroscopic and gradually be enriched with sub-microscopic and representational aspects.

In questo panorama emerge con chiarezza la necessità di riappropriarsi del profondo significato implicito nella definizione “la Chimica è la scienza che studia la materia e le sue trasformazioni” proponendo un approccio macroscopico alla disciplina.

L'analisi della letteratura evidenzia la proposizione di nuove strategie didattiche che mettono al centro lo studente e lo rendono elemento attivo nei propri processi di apprendimento [17].

Fra queste, le metodologie didattiche di tipo problematico [18-22], proposte a livello internazionale, anche mediante percorsi *Inquiry Based Science Education* (IBSE), sono quelle che hanno maggiormente attratto l'attenzione della comunità di ricerca in didattica delle discipline scientifiche. Esse sono considerate una strategia didattica che, partendo da situazioni e problemi reali, possono stimolare la motivazione, la curiosità e l'interesse degli studenti. La didattica delle discipline scientifiche basata sulla IBSE ha prodotto risultati molto incoraggianti sul potenziamento dei progressi cognitivi e comportamentali degli studenti nell'ambito delle discipline STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*) [23]. Tutto ciò perché nella IBSE gli studenti imparano la scienza in un modo che riflette come essa stessa effettivamente funzioni.

Nonostante i numerosi vantaggi che si possono riscontrare nella IBSE, tale approccio è stato talvolta criticato per una serie di ragioni. Prima di tutto, esso necessita di un'attenta pianificazione, misurazione e valutazione del carico cognitivo senza il quale risulta spesso essere meno efficace rispetto ad un approccio tradizionale [24, 25]. In secondo luogo, vi sono dei limiti intrinseci alla tipologia di argomenti che possono essere affrontati con questa metodologia.

Una delle applicazioni più diffuse della metodologia IBSE è basata sul modello delle 5E (Figura 1) che prevede un ciclo di apprendimento caratterizzato



Fig. 1 Il ciclo delle 5E nella metodologia IBSE

da cinque fasi, denominate *Engage*, *Explore*, *Explain*, *Elaborate* (o *Extend*) ed *Evaluate*.

Uno degli aspetti più importanti del modello delle 5E è sicuramente il fatto che le varie fasi sono collegate tra loro procedendo con scioltezza e continuità. Pertanto, ciò che viene fatto in una fase costituisce la base per ciò che può/deve essere fatto nella fase successiva. Queste connessioni tra le fasi sono fondamentali per fornire una progressione coerente alle lezioni.

2. Obiettivo

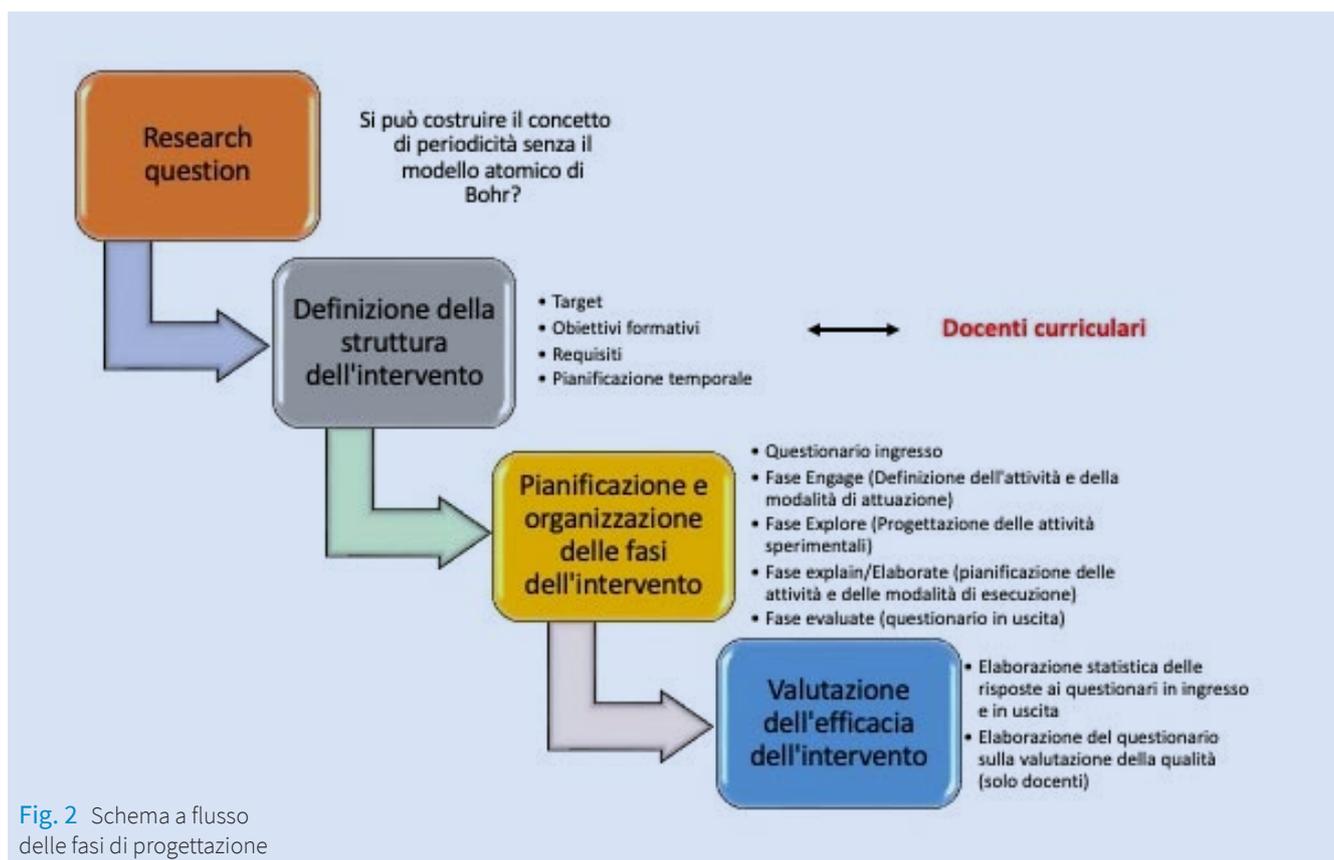
Sulla base di tali premesse, ci siamo chiesti se fosse possibile presentare il concetto di periodicità fin dal primo biennio di istituti secondari di secondo grado, senza aver introdotto i modelli atomici e la configurazione elettronica, facendo esclusivamente riferimento ai criteri di classificazione degli elementi individuati da Mendeleev.

Il percorso, basato sulla metodologia IBSE, partendo dagli aspetti macroscopici può completarsi con la razionalizzazione delle proprietà submicroscopiche al terzo anno quando sarà stata sufficientemente approfondita la descrizione dei modelli atomici. In questo contributo saranno descritte le fasi di progettazione delle attività di un modulo da sperimentare nelle classi del primo biennio.

3. Progettazione

Le fasi della progettazione sono schematizzate in figura 2.

L'individuazione degli adeguati contenuti disciplinari e la pianificazione temporale costituisce un aspetto rilevante da definire con i docenti curricolari, che sono stati coinvolti già dalla fase preliminare di progettazione. Sono state coinvolte alcune docenti di Scienze di una scuola secondaria di II grado, che si sono mostrate interessate al lavoro e, anche grazie al loro contributo, il progetto è stato arricchito e perfezionato.



Insieme a loro, è stata svolta un'approfondita analisi di tipo disciplinare al fine di inserire i moduli sperimentali all'interno della tradizionale programmazione curricolare delle classi. In questa fase è stato individuato prima di tutto il target del progetto: classi prime, che appartenevano sia a corsi normali che sperimentali, e gli obiettivi formativi che si volevano raggiungere, cioè la comprensione del concetto generale di periodicità a partire dal comportamento macroscopico della materia e saper distinguere una sostanza semplice da un elemento.

I requisiti, ovvero, quelle conoscenze preliminari e necessarie che dovrebbero possedere gli studenti al fine di poter comprendere al meglio gli argomenti trattati nel corso dell'intervento didattico, sono stati identificati in collaborazione con le docenti curricolari. In particolare, si sono considerati imprescindibili le seguenti conoscenze ed abilità:

- conoscere gli stati fisici della materia
- saper distinguere una sostanza semplice da una sostanza composta
- conoscere e saper applicare le leggi ponderali
- conoscere i rapporti di combinazione fra le sostanze semplici per ottenere le corrispondenti sostanze composte
- saper definire il peso atomico e i metodi per la sua determinazione

L'identificazione di tali requisiti ha contribuito all'elaborazione del questionario in ingresso. Non essendo disponibile in letteratura un questionario validato adeguato agli obiettivi formativi del modulo didattico, è stato messo a punto un questionario che permettesse di valutare le conoscenze degli studenti relativamente ai requisiti individuati, ma anche di stimolare, come richiesto dal modello IBSE, la curiosità sugli argomenti che sarebbero stati trattati in dettaglio nel corso dell'intervento didattico.

Il questionario, non valutativo, è stato articolato in 15 quesiti di diversa tipologia:

- a risposta multipla, per i quali viene chiesto anche di motivare la risposta
- a risposta aperta
- risoluzione di esercizi tramite semplici calcoli
- completamento di tabelle

Alcuni quesiti sono stati predisposti utilizzando immagini e filmati per stimolare la curiosità e l'attenzione degli studenti.

Il questionario è stato sottoposto a un preliminare processo di validazione basato principalmente sulla comprensione del testo piuttosto che sui contenuti, al fine di verificare se i quesiti erano posti in maniera tale che gli studenti riuscissero a comprendere correttamente le domande. I suggerimenti indicati da

TIPOLOGIA	DOMANDA																																																	
Risposta multipla, con la richiesta di motivare la risposta	Dopo aver visto il seguente filmato (link al filmato), è possibile affermare che: a. l'anidride carbonica si trasforma in una sostanza diversa b. l'anidride carbonica cambia il suo stato fisico Motiva la risposta																																																	
Risposta aperta	Sulla base delle risposte date al quesito 4 e 5, prova a dare una definizione di sostanza semplice e sostanza composta																																																	
Risoluzione di esercizi tramite semplici calcoli	Se 2 g di idrogeno reagiscono completamente con 70,8 g di cloro per formare acido cloridrico, calcola: a. quanti grammi di acido cloridrico si ottengono b. il rapporto di combinazione tra gli elementi idrogeno e cloro																																																	
Completare ...	Nella seguente tabella, indica con una X le proprietà delle sostanze semplici. <table border="1" data-bbox="323 678 1013 869"> <thead> <tr> <th></th> <th>Conduce il calore</th> <th>Non conduce il calore</th> <th>Fragile</th> <th>Duttile e malleabile</th> <th>Forma con l'ossigeno ossidi acidi</th> <th>Forma con l'ossigeno ossidi basici</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ferro</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Argento</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fosforo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rame</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Carbonio</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zolfo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Conduce il calore	Non conduce il calore	Fragile	Duttile e malleabile	Forma con l'ossigeno ossidi acidi	Forma con l'ossigeno ossidi basici	Ferro							Argento							Fosforo							Rame							Carbonio							Zolfo						
	Conduce il calore	Non conduce il calore	Fragile	Duttile e malleabile	Forma con l'ossigeno ossidi acidi	Forma con l'ossigeno ossidi basici																																												
Ferro																																																		
Argento																																																		
Fosforo																																																		
Rame																																																		
Carbonio																																																		
Zolfo																																																		

Tab. 1 Alcune domande tipo del questionario in ingresso

due docenti universitari e quattro docenti di scuola sono stati accolti e alcune domande tipo del questionario definitivo sono riportate in Tabella 1.

Fase di Engage

La fase di *Engage* è, probabilmente, la più delicata nel flusso delle attività dato che deve efficacemente stimolare l'interesse verso l'argomento proposto. A tal fine è stato strutturato un seminario, della durata di un'ora, che guida "Alla scoperta degli elementi". Il seminario presenta l'evoluzione della definizione del concetto di elemento a partire da Lavoisier fino al Congresso di Karlsruhe, sottolineando come la definizione operativa di elemento, introdotta da Lavoisier, abbia dato un notevole impulso alla scoperta e alla caratterizzazione degli elementi stessi.

La struttura del seminario prevede un approccio interattivo, mediante pause e domande che sollecitano gli studenti a riflessione e discussione. In questa fase è molto importante stimolare la curiosità degli studenti a proposito del grande numero di elementi esistenti a metà del XIX secolo e della necessità di classificarli. I contenuti sono accuratamente organizzati evitando di definire alcune proprietà che emergeranno a conclusione del percorso logico di ciascuno studente.

Fase di Explore

La fase è stata strutturata basandosi su attività sperimentali che guidano all'osservazione e alla com-

pressione delle proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e di alcune sostanze composte. È stata svolta un'accurata selezione di opportuni esperimenti da proporre agli studenti utilizzando, come criteri di selezione, la realizzabilità degli esperimenti in sicurezza ed in contesti diversi e la facilità di osservazione dei fenomeni. In considerazione delle nuove esigenze didattiche emerse durante il periodo pandemico, al fine di garantire pari opportunità agli studenti, si è deciso di realizzare gli esperimenti che risultassero efficaci sia se condotti in presenza che mostrati da remoto.

Gli esperimenti selezionati sono stati condotti in laboratorio e sono stati registrati dei filmati degli stessi. Sono state previste attività che mostrassero le trasformazioni di alcune sostanze semplici in pre-

senza di aria o acqua, al fine di far emergere le proprietà macroscopiche delle sostanze semplici e delle risultanti sostanze composte. Ciascun esperimento è stato accuratamente progettato organizzando un set di registrazione che garantisse l'evidenza palese del livello macroscopico e del livello simbolico, mostrando il simbolo dell'elemento scelto e il peso atomico dello stesso. L'inquadratura ha garantito l'osservazione di proprietà macroscopiche emergenti delle sostanze quali lo stato di aggregazione, il colore, la lucentezza, la malleabilità, la densità, etc. Inoltre, durante il montaggio dei filmati, ciascuna reazione è stata arricchita con la sovrapposizione di testo che mettesse in chiara evidenza sia il piano macroscopico, nomi delle sostanze, sia il piano simbolico e microscopico, equazione di reazione e formula delle sostanze. Il narratore commentava come le sostanze semplici reagissero, per esempio, con l'ossigeno e come il prodotto di questa combinazione avesse proprietà diverse dalla sostanza semplice. I rapporti di combinazione sono stati dati, chiarendo che determinare la composizione elementare delle sostanze composte non è un processo agevole. Questo passaggio chiariva la differenza fra sostanza semplice e sostanza composta ed evidenziava come gli ossidi dei metalli fossero tutti basici e quelli dei non metalli acidi. Come esempio, in figura 3 sono mostrati quattro fotogrammi del filmato "Il Sodio". I video sono stati montati intercalando la visione con pause durante le quali gli studenti potessero essere

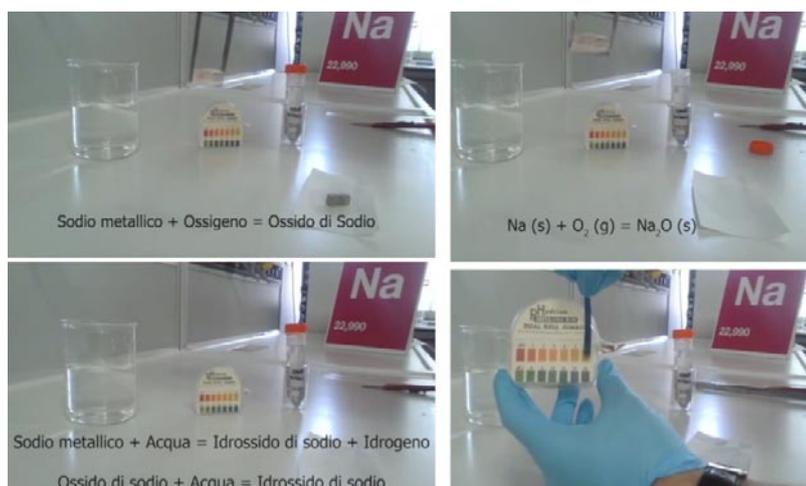


Fig. 3 Sequenza di alcuni fotogrammi del filmato “Il Sodio”. Le equazioni non sono state bilanciate in quanto gli esperimenti proposti sono qualitativi e non quantitativi

guidati all’osservazione delle proprietà ed è stata predisposta una griglia dove gli studenti potessero riportare le loro osservazioni. La durata di ciascun video è stata calibrata al fine di mantenere alto il livello di attenzione degli studenti.

I video registrati sono stati organizzati in una sequenza in grado di far emergere le similitudini e le differenze nel comportamento di alcune sostanze. Tale sequenza è stata strutturata in modo da rispettare i tempi della lezione distribuendoli, eventualmente, in giornate diverse.

Fase di Explain/Elaborate

A conclusione dell’attività *Explore* si è predisposta un’azione di verifica che partendo dalla griglia delle osservazioni, integrate da informazioni quali Massa Atomica e rapporti di combinazione dati, portasse alla costruzione di una rudimentale Tavola Periodica degli elementi mostrati.

Fase di Evaluate

Questa fase è stata realizzata somministrando il questionario in uscita la cui struttura è analoga a quella del questionario in ingresso. Si è deciso di riproporre sei quesiti già presenti in ingresso al fine di valutare se gli studenti avessero compreso il significato di Periodicità *sensu lato* e fossero in grado di attribuire correttamente le proprietà alle sostanze. Ad esempio, alla domanda che chiedeva di attribuire proprietà macroscopiche ad alcune sostanze semplici (metalli e non metalli), sebbene già in ingresso la maggior parte degli studenti avesse fornito delle risposte soddisfacenti soprattutto per i metalli (ferro, argento e rame), in uscita, la situazione è decisamente migliorata soprattutto per i non metalli (fosforo, carbonio e zolfo). Analoghi risultati sono stati ri-

scontrati relativamente alla formazione di ossidi basici e ossidi acidi.

In aggiunta, sono state inserite domande riguardanti gli argomenti trattati durante la sequenza delle azioni didattiche. In questo caso, le percentuali di risposte corrette sono state mediamente superiori a 80%. Questo risultato suggerisce che il modulo sperimentato è stato efficace. A supporto di tale evidenza, riteniamo opportuno sottolineare la percentuale di risposte corrette al quesito “Ti viene consegnata una sostanza. Essa appare lucente e allo stesso tempo fragile (si frantuma facilmente). Di cosa pensi si possa trattare?” [R. Non metallo, semimetallo, metallo, nessuna delle risposte precedenti]. L’85% degli studenti ha correttamente

identificato un semimetallo pur non avendoli trattati nel corso della sperimentazione. Questo risultato suggerisce che gli studenti siano riusciti ad individuare le loro proprietà sulla base di quanto appreso dimostrando di essere in grado di applicare le conoscenze anche in contesti differenti.

4. Conclusioni

Le attività progettate come appena descritto sono state sottoposte a sperimentazione nel secondo semestre dell’anno scolastico 2020-2021 in cinque classi seconde di scuola secondaria di II grado, le cui docenti erano state coinvolte nel processo di progettazione e sviluppo del modulo. La sperimentazione è consistita in cinque incontri da un’ora per ogni classe, alcuni di questi in presenza altri da remoto. La scelta di utilizzare una modalità *blended* è stata determinata anche per consentire a tutti gli studenti di poter trovarsi nelle stesse condizioni di apprendimento. E per queste ragioni si è scelto, come discusso in precedenza, di utilizzare dei video *home made*, creati appositamente per il percorso formativo, piuttosto che realizzare gli stessi esperimenti in presenza, modalità quest’ultima che avrebbe escluso gli studenti in quarantena. C’è naturalmente anche la possibilità di realizzare il modulo interamente in presenza.

La sequenza didattica realizzata si è rivelata adeguata a rispondere alla domanda “Si può costruire il concetto di Periodicità senza il modello atomico di Bohr?”. Infatti, la maggior parte degli studenti ha mostrato di saper correttamente organizzare in una semplice Tavola Periodica le sostanze presentate nella fase di sperimentazione e di saper estendere e prevedere le proprietà di sostanze di cui non si è esplicitamente discusso. Inoltre, è stato possibile

far emergere la differenza tra sostanza ed elemento. A nostro giudizio, tale tipologia di attività può contribuire a radicare profondamente i concetti fondanti della disciplina e a maturare conoscenze che possano contribuire a sviluppare la necessità di modelli atomici in grado di razionalizzare, a livello sub-microscopico, le proprietà della materia. Ravvisiamo, inoltre, un ulteriore vantaggio che deriva dalla manipolazione di sostanze e potrebbe efficacemente contribuire a modificare la percezione della disciplina. Infatti, l'attività è stata seguita con entusiasmo e partecipazione da tutti gli studenti. Le osservazioni registrate durante le varie fasi della sperimentazione e ribadite nelle risposte date dalle docenti curricolari al questionario, indicano un maggiore e più costruttivo coinvolgimento anche da parte di studenti generalmente meno partecipi e motivati. Quest'ambiente di apprendimento ha fatto emergere sia le conoscenze alternative sull'argomento, alcune già evidenziate dalle risposte al questionario in ingresso, sia i conflitti cognitivi che si creavano via via durante lo svolgimento del modulo. La strutturazione attenta e rigorosa del percorso ha permesso di prevederli e gestirli in maniera adeguata. Dalle risposte fornite dalle docenti emerge chiaramente l'esigenza di maturare con tempi opportuni (quasi sempre non compatibili con i tempi della scuola), le proprie riflessioni circa la loro didattica e una esplicita richiesta di maggiore interazione con il mondo accademico, affinché possano nascere nuove collaborazioni. ■

Riferimenti

- [1] V. Talanquer, *J. Chem. Educ.*, 2015, **92** (1), 3 – 9. <https://doi.org/10.1021/ed500679k>.
- [2] D. I. Mendeléeff, *J. Chem. Soc., Trans.*, 1889, **55**(0), 634 – 656. <https://doi.org/10.1039/CT8895500634>
- [3] R. Horikoshi, *Chemistry Teacher International*, 2021, **3**(3), 239 – 255. <https://doi.org/10.1515/cti-2020-0017>.
- [4] V. J. Traver, L. A. Leiva, V. Martí-Centelles, J. Rubio-Magnieto, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(7), 2298 – 2306. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00109>
- [5] T. Rodríguez-Blas, A. de Blas, M.-J. Latorre-López, S. Picos-Nebril, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(6), 2012 – 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00002>.
- [6] J. M. Montejo Bernardo, A. Fernández González, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(3), 907 – 914. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00553>
- [7] J.-F. Álvarez-Herrero, C. Valls-Bautista, *Eur. J. Sci. Math. Ed.*, 2021, **9**(3), 80 – 91. <https://doi.org/10.30935/scimath/10947>.
- [8] A. Rychkova, A. Korotkikh, A. Mironov, A. Smolin, N. Maksimenko, M. Kurushkin, *J. Chem. Educ.*, 2020, **97**(11), 4184 – 4188. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00866>.
- [9] G.-Q. Liang, J. Zhang, *Computational Materials Science*, 2022, **204**, 111172. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2021.111172>.
- [10] M. Kusaba, C. Liu, Y. Koyama, K. Terakura, R. Yoshida, *Sci Rep*, 2021, **11**(1), 4780. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81850-z>.
- [11] M. Schultz, S. Delaney, *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**(12), 3921 – 3929. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01035>.
- [12] A. Ramos Mejía, *Educación Química*, 2020, **31**(1), 49 – 61. <http://dx.doi.org/10.22201/fq.18708404e.2020.1.70399>.
- [13] K. S. Taber, A. García-Franco, *Journal of the Learning Sciences*, 2010, **19**(1), 99 – 142. <https://doi.org/10.1080/10508400903452868>.
- [14] A. G. Harrison, D. Treagust, In *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., Van Driel, J. H., Eds.; Science & Technology Education Library; Springer Netherlands: Dordrecht, 2003; pp 189 – 212. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_9.
- [15] G. Tsaparis, D. Kolioulis, E. Pappa, *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2010, **11**(2), 107 – 117. <https://doi.org/10.1039/C005354F>.
- [16] A. H. Johnstone, *J. Chem. Educ.*, 2010, **87**(1), 22 – 29. <https://doi.org/10.1021/ed800026d>.
- [17] I. Rodríguez-Arteche, M. M. Martínez-Aznar, *J. Chem. Educ.*, 2016, **93**(9), 1528 – 1535. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b01037>.
- [18] S. Brumann, U. Ohl, J. Schulz, *Sustainability*, 2022, **14**(6), 3544. <https://doi.org/10.3390/su14063544>.
- [19] D. M. Ferreira, F. C. Sentanin, K. N. Parra, V. M. Negrao Bonini, M. de Castro, A. C. Kasseboehmer, *J. Chem. Educ.*, 2022, **99**(2), 578 – 591. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00287>.
- [20] M. Orozco, M. Boon, A. Susarrey Arce, *European Journal of Engineering Education*, 2022, **1** – 17. <https://doi.org/10.1080/03043797.2022.2047894>.
- [21] C. Tsaliki, P. Papadopoulou, G. Malandrakis, P. Kariotoglou, *Journal of Science Teacher Education*, 2022, **1**–22. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2021.2005229>.
- [22] K. A. Weiss, M. A. McDermott, B. Hand, *Studies in Science Education*, 2022, **58**(1), 15 – 47. <https://doi.org/10.1080/03057267.2021.1897931>.
- [23] A. Pilot, A. M. W. Bulte, *International Journal of Science Education*, 2006, **28**(9), 953 – 956. <https://doi.org/10.1080/09500690600702462>.
- [24] R. D. Anderson, *Journal of Science Teacher Education*, 2002, **13**(1), 1 – 12. <https://doi.org/10.1023/A:1015171124982>.
- [25] J. C. Marshall, J. B. Smart, *Creative Education*, 2013, **4**(2), 132 – 142. <https://doi.org/10.4236/ce.2013.42019>.

Leonardo Barsantini

Docente di elettronica, Istituto di Istruzione Superiore Ernesto Balducci, Pontassieve (FI)

✉ l.barsantini@gmail.com

Il laboratorio nella didattica delle discipline tecnologiche (e scientifiche)

RIASSUNTO Nell'articolo si analizza l'importanza del laboratorio nello svolgimento di una didattica efficace. Il riferimento è all'elettronica, ma quanto riportato può valere anche per altre discipline tecnologiche e scientifiche e, forse, per tutte le discipline scolastiche. Il laboratorio è importante non soltanto per l'aiuto che fornisce nell'acquisizione di nuove conoscenze, ma anche perché, da un punto di vista più psicologico, crea una predisposizione negli studenti che favorisce la voglia di apprendere.

ABSTRACT The article analyses the importance of the laboratory in making teaching effective. The reference is to electronics, but what is reported may also apply to other technological and scientific disciplines and, perhaps, to all school disciplines. The laboratory is important not only for the help it provides in the acquisition of new knowledge, but also because, from a more psychological point of view, it creates in students a predisposition that encourages the desire to learn.

PAROLE CHIAVE tecnologia, laboratorio, didattica laboratoriale, pensiero riflessivo

1. Premessa

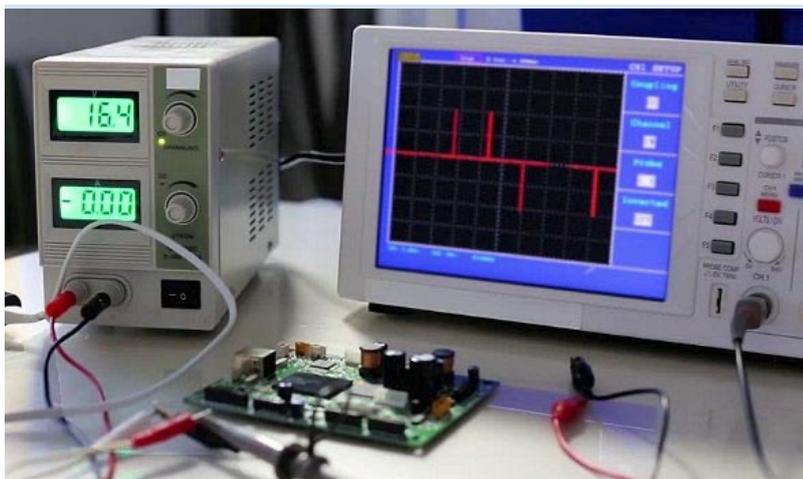
L'organizzazione degli istituti tecnico tecnologici prevede, soprattutto nel triennio, che circa la metà delle ore delle discipline di indirizzo siano svolte in laboratorio. Noi "elettronici" frequentiamo settimanalmente con regolarità i nostri laboratori, sappiamo che in quelle ore il laboratorio non è occupato da nessun'altra classe e il docente è affiancato dall'insegnante tecnico pratico. Preciso questo perché nel mio Istituto, oltre all'indirizzo tecnico è presente anche un liceo scientifico e la gestione dei laboratori è molto diversa per i due indirizzi poiché per il tecnologico è più stabile e organizzata.

Il laboratorio è certamente un momento atteso dai miei studenti. Capita regolarmente, durante l'anno, che gli alunni mi chiedano di andare in laboratorio anche durante le ore in classe. Ogni volta spiego loro che non è possibile poiché quando noi siamo in classe ci sono altri in laboratorio, ma di tanto in tanto lo richiedono con la speranza che il laboratorio sia disponibile. È un momento desiderato sia da chi ha voglia di fare perché può sperimentare con maggiore autonomia, sia da chi ha meno voglia di fare perché è comunque sempre meglio che restare in classe. Nel laboratorio si respira un'altra aria rispetto alla classe. Gli studenti non possono andare a giro a fare due chiacchiere con i compagni (o perlomeno non dovrebbero), ma possono lavorare seduti o in piedi, gestiscono uno spazio, sicuramente più ampio di quello del banco, sia in orizzontale sia in verticale vista la necessità di utilizzare gli strumenti, possono alzarsi per andare agli armadi a prendere componenti e altri materiali, possono lavorare singolarmente o consultarsi con altri, interagiscono con il loro computer per disegnare e simulare.

2. Il Laboratorio di elettronica

In elettronica, che è una disciplina che appartiene al campo della tecnologia, non si cerca tanto la comprensione di comportamenti o di leggi fondamentali della natura, come nell'ambito scientifico, ma si concentra il lavoro sulla costruzione di un "mondo artificiale". In una battuta si può dire che la scienza si occupa del mondo "naturale", la tecnologia di quello "artificiale".

Ovviamente non si tratta semplicemente di costruire o gestire "oggetti", nel nostro caso filtri, amplificatori, sistemi di acquisizione dati, convertitori, sensori e attuatori, ma anche e soprattutto di



comprendere le relazioni fra questi “oggetti”, ad esempio studiando i segnali elaborati o scambiati. Questo pone una prima difficoltà, perché per molti dei miei studenti l’aspetto fondamentale dell’attività di laboratorio è la realizzazione del circuito e non lo studio dei segnali. Devo dire che anche i libri di testo, per come presentano gli argomenti, mettono in primo piano i circuiti rispetto ai segnali: prima lo schema dell’amplificatore e poi i grafici delle tensioni di ingresso e uscita. Rimanendo sull’esempio dell’amplificatore (un dispositivo che, come dice la parola, amplifica l’ampiezza del segnale in uscita rispetto all’ampiezza del segnale di ingresso), per molti studenti l’attività in laboratorio termina quando hanno montato l’amplificatore. In realtà il montaggio dell’amplificatore è il punto di inizio del lavoro. È da adesso che inizia l’analisi che deve rispondere alle seguenti domande:

- Il segnale di uscita ha un’ampiezza maggiore di quello d’ingresso?
- Il fattore di amplificazione è corretto?
- Il segnale di uscita è distorto?
- Il segnale di uscita è sfasato rispetto a quello di ingresso?

È in questa fase che si risponde alla domanda “Come faccio a sapere che?”

Invece, osservo il tentativo di limitarsi alla realizzazione dell’oggetto concreto trascurando il pensiero astratto. In tanti anni di insegnamento ho potuto sperimentare che nei circuiti dove sono presenti LED questo fenomeno è ancora più marcato. L’accensione del LED è sufficiente a far dire allo studente che il circuito funziona anche quando il LED, per un corretto funzionamento, dovrebbe stare spento. Non si tratta di una trascuratezza dello studente svogliato, ma di una costante che riguarda anche studenti volenterosi. La capacità di analizzare il “mondo astratto” va acquisita ed è

attraverso questa analisi che si sviluppa l’attenzione esecutiva cioè la concentrazione e l’autocontrollo. I docenti non possono trascurare questo aspetto. Talvolta il fornire un circuito già montato aiuta a superare questo problema e a concentrare l’attenzione degli studenti sull’analisi giacché non devono montare niente.

In qualche modo è come se il laboratorio fosse il luogo dell’hardware (montaggio di un circuito) o anche del software (inteso come scrittura di programma per computer). C’è poco spazio per altro; è come se lo studente dicesse:

mi sono attivato (siamo in laboratorio), ho costruito il circuito e tanto basta. Per le analisi successive è necessario far acquisire agli alunni la giusta attitudine in quanto, fin dal momento in cui mi presento in classe e dico loro: “Andiamo in laboratorio”, si attiva un meccanismo che predispone al fare materiale, al montare, al collegare, al trovare il materiale, che ci vede in movimento, un movimento che si collega già a quello che ci fa camminare dall’aula al laboratorio attraverso corridoi e scale della scuola: è una piccola passeggiata che ci conduce in un altro “mondo”. Talvolta, alla richiesta del docente di avviare l’indagine del nostro “oggetto artificiale”, questo movimento cessa. Alcuni insegnanti, forse nella speranza di aiutare lo studente nell’analisi dei circuiti, fanno scrivere la classica relazione di laboratorio. Questa è normalmente composta da titolo, introduzione, elenco materiali, schemi, grafici, analisi e conclusioni, ma un po’ come succede per i temi di italiano (o perlomeno come è successo a me quando ero studente), gli alunni sono chiamati a scrivere relazioni di laboratorio senza che sia mai stata fatta un’attività specifica di studio e approfondimento su come si scrive una relazione. È fornito loro un modello prestabilito di relazione e si pensa che questo sia sufficiente a scrivere una buona relazione. A me non interessa la classica relazione di laboratorio ma, poiché la scrittura è importante, chiedo che scrivano liberamente alcuni aspetti per loro importanti su come hanno condotto il lavoro, che tipo di analisi hanno fatto, perché pensano di avere realizzato correttamente l’“oggetto”, che difficoltà hanno avuto, se hanno ricevuto qualche aiuto o consiglio, qual è l’aspetto più importante del lavoro. Poche cose, anche poche righe dalle quali si può partire per discutere con loro.

3. Il Laboratorio per imparare l'elettronica, ma non solo

A ogni buon conto, il laboratorio rimane sempre un momento fondamentale per l'apprendimento perché pone i miei studenti in modalità attiva in contrapposizione alla modalità ricettiva utilizzata in classe. Nel laboratorio ogni studente è un ingegnere o un tecnico in erba (in un laboratorio di chimica si direbbe uno "scienziato in erba") che può interrogarsi e sperimentare e dire la sua: c'è una maggiore voglia di apprendere. In classe è spesso costretto ad ascoltare qualcuno che ne sa più di lui. Le neuroscienze ci dicono che non è possibile l'apprendimento senza un segnale di errore, senza che ci sia una discordanza fra ciò che mi aspetto e ciò che ricevo. Da questo punto di vista il laboratorio svolge un ruolo fondamentale, non solo perché nella nostra attività per arrivare alla realizzazione dei progetti si commettono moltissimi errori, ma anche e soprattutto perché l'errore in laboratorio acquista un altro significato: non è una sanzione, ma un elemento di avanzamento. In laboratorio siamo liberi di sbagliare, non capita quasi mai che tutto fluisca perfettamente dall'inizio alla fine senza intoppi. Talvolta gli studenti "nascondono" gli errori (naturalmente non in modo intenzionale) così "accuratamente", che anche gli insegnanti fanno una gran fatica a trovarli. È in questi casi che mi siedo accanto a loro e assieme si ripercorre il lavoro fatto o si inizia da capo. Io faccio lo studente e loro l'esperto che guida: "Faccio questo collegamento?", chiedo, e loro mi devono dire sì o no e così andiamo avanti fino a che non riusciamo a capire dove era il malfunzionamento. Spesso gli errori sono quelli classici e mostro loro il problema, ma in qualche caso nel tempo a disposizione l'errore è stato più forte delle due menti che lo hanno assediato: quella del docente e quella dello studente e mentre escono dal laboratorio, talvolta dispiaciuti per non aver completato il loro lavoro, li sento dire ai compagni: "Non abbiamo trovato il guasto neppure con il prof."

La didattica laboratoriale vede gli studenti non come semplici soggetti passivi, ma impegnati in attività ed esperienze che permettano loro di svolgere compiti operativi, di riflettere da soli o con altri allo scopo di comprendere un caso, di trovare la soluzione a un problema reale, di realizzare un progetto svolgendo anche precisi incarichi. Si afferma che la didattica laboratoriale

si può fare anche in classe, e concordo, ma ho l'impressione che i miei studenti si sentano maggiormente predisposti alla didattica laboratoriale in laboratorio. Sapendo di avere a disposizione soltanto l'aula si può certamente pensare di poter svolgere un'attività didattica di tipo "laboratoriale", ma in laboratorio, almeno per l'elettronica, per le discipline tecnologiche e quelle scientifiche, e forse per tutte le materie, è un'altra cosa. In classe si possono portare materiali, riorganizzare gli studenti in gruppi, spostare i banchi, fornire libero accesso al monitor multimediale della classe, ma gli spazi fisici non sono gli stessi, i banchi sono sempre in mezzo e anche se li mettiamo alle pareti, c'è sempre questa sensazione di provvisorietà (almeno per me) che ci ricorda che l'ora dopo torneremo "alla normalità". E poi, dopo che gli studenti hanno iniziato a muoversi in laboratorio, fisicamente e intellettualmente, in modo regolare, l'attività in classe non può più essere paragonata al laboratorio. Il contrario non è vero, poiché in laboratorio non c'è nessun problema a trattare gli argomenti che possiamo svolgere in classe. Per la didattica laboratoriale serve l'atteggiamento mentale, di studenti e docenti, rivolto alla laboratorialità e il contesto fisico del laboratorio aiuta a rafforzare questa idea. Qualche anno fa uno studente mi fece una domanda su un circuito elettronico alla quale, ovviamente, risposi cercando di chiarire il dubbio. Lo studente mi disse di aver capito e la faccenda si chiuse lì. Qualche giorno dopo, in laboratorio, lo stesso studente aveva terminato prima del tempo il suo lavoro e allora lo invitai a sperimentare personalmente il circuito su cui aveva espresso dei dubbi. Mi disse, con mia sorpresa, che lo aveva già fatto e che adesso aveva capito come funzionava il circuito. Non tutti gli studenti sono come lui, ma in classe gli studenti sono "studenti", cioè accettano le informazioni e



le risposte dei docenti, in laboratorio gli studenti possono andare oltre e diventare maestri di se stessi.

Con questo non voglio dire che il laboratorio debba essere proprio una grande stanza con strumenti, armadi, computer e banchi di lavoro, può essere anche un bosco o un cielo stellato, o anche l'aula scolastica se "arredata a laboratorio", ma la semplice aula scolastica con banchi, cattedra, LIM e anche lavagna e gesso, sembra fatta per sedere e ascoltare l'insegnante che parla. D'altra parte la scuola ha una sua tradizione e in questa rientra anche il comportamento degli studenti nell'aula scolastica. Infatti, quando entro in classe, gli studenti, che sono in attesa, si siedono e aspettano; quando entriamo il laboratorio (e si entra tutti assieme) gli studenti organizzano la loro postazione, vanno agli armadi, prendono la loro roba e iniziano a lavorare. Un po' di differenza c'è. Poi magari anche in laboratorio ci fermiamo e facciamo un'attività come faremmo in classe (introduciamo un nuovo argomento) ma la disposizione d'animo mi sembra diversa.

A me pare proprio che il laboratorio favorisca la laboratorialità, l'alunno entra in laboratorio con un altro atteggiamento mentale, ha una maggiore curiosità. Cosa facciamo oggi? Intendendo, cosa faccio, cosa costruisco. In classe non mi pongo questa domanda. Fra l'altro, mentre la classe è lo "spazio di tutti" perché è classe di italiano, matematica, inglese, elettronica, eccetera, il nostro laboratorio è uno "spazio privato" in quanto laboratorio di elettronica, o di sistemi elettronici, o di tecnologia elettronica. Lì, siamo "protetti", non entrano "estranei". Nel laboratorio di elettronica si apprendono le conoscenze di elettronica, naturalmente, ma si apprende anche qualcosa di più, si impara a "essere degli elettronici" poiché l'uso del materiale permette di acquisire una familiarità con le tecniche e le metodologie che nessun libro può dare. Si apprendono dei trucchi del mestiere che "fanno la differenza". Capita anche che qualche studente mi mostri una funzione di uno strumento o un pulsante virtuale di una simulazione, che ha scoperto lui e che neppure io conoscevo. Lui diventa il docente ed io lo studente.

Nel laboratorio gli studenti producono delle piccole "opere". Prima quel piccolo mondo artificiale non esisteva, adesso c'è. Non sempre sono "opere" compiute, spesso sono "embrioni", ma per alcuni

studenti diventa un punto di impegno portare a termine il loro lavoro. Per questo, la parte terminale dell'anno scolastico la dedico a mettere in pratica quello che hanno imparato. È un po' come se si dicesse: "Adesso che avete appreso l'uso di circuiti, strumenti e metodologie, diciamo le tecniche dell'elettronica in un certo settore, mettetele in atto". Gli studenti dedicano la metà del secondo quadrimestre a sviluppare un "oggetto". In alcuni casi sono io a dire loro cosa fare, in altri casi sono loro (subordinato alla mia approvazione) a scegliere l'argomento in cui cimentarsi. Devo dire che quando sono loro a scegliere, propongono sempre circuiti molto seri: l'uso di qualche sensore ambientale per una centralina meteorologica, la gestione dei posti auto in un parcheggio, la programmazione di un braccio robotico. Non capita mai che presentino dei progetti "inutili", dei giochi, o oggetti soltanto belli esteticamente, o divertenti (ad esempio, il semplice dispositivo per mescolare il caffè in una tazzina facendo girare quest'ultima e mantenendo fermo il cucchiaino), ma ugualmente interessanti dal punto di vista della realizzazione. Non c'è verso di convincerli. Il laboratorio predispone alla serietà!

4. Il laboratorio come attivatore del pensiero riflessivo e della responsabilità

Impegnarsi nel far funzionare le cose implica l'attivazione del pensiero riflessivo, obbliga ad acquisire un atteggiamento riflessivo. Non tutti gli studenti portano a termine il loro lavoro. In alcuni casi non riescono, fanno qualche tentativo, si arrendono, mi chiamano e aspettano il mio aiuto. Altri provano, e se non funziona lasciano tutto lì e si distraggono. Una buona percentuale, persevera ed è indispettita



dal fatto di non ottenere il risultato sperato, tentano e ritentano, mi chiamano, infine ce la fanno. A me piacerebbe che, oltre a imparare l'elettronica, facessero proprio un atteggiamento riflessivo, investigativo, del tipo: penso, realizzo, verifico e poi ritorno a pensare, modifico e verifico nuovamente. Parlo con loro della necessità di fare attenzione alle strategie utilizzate mentre svolgono le loro attività, dell'esperienza acquisita, delle difficoltà incontrate e dell'insegnamento che ne è derivato, di quanto sono stati capaci di concentrarsi e di quanto si sono lasciati distrarre. In poche parole parliamo, anche se non esplicitamente, di consapevolezza e meta riflessione.

C'è anche un altro aspetto sul quale vorrei porre l'accento. Nei nostri laboratori non esistono strumenti didattici, ma soltanto strumenti e componenti che si trovano nei laboratori delle aziende o nei laboratori di ricerca. Faccio presente ai miei studenti la buona qualità del laboratorio, lo sforzo costante di restare sempre aggiornati, il valore degli strumenti che abbiamo, non solo per lo svolgimento delle attività di laboratorio, ma anche economico. È un po' come se dicessi: "Ti affido una postazione di lavoro che fra oscilloscopio, generatore di funzione, alimentatore, multimetro e computer vale più di 2.000 €". Credo che questo condizioni il loro comportamento. Non nascondo che controlliamo con grande attenzione, docenti e tecnici, che nessuno compia danni, chiediamo che ci segnalino immediatamente malfunzionamenti, ma questa strategia ha fatto sì che ci sia un grande rispetto dei laboratori che a tutt'oggi sono in ottimo stato.

Cerchiamo di coltivare certe attitudini del carattere che fanno riferimento alla responsabilità individuale dello studente come cittadino: "Quella postazione di lavoro serve a te, ma anche agli altri studenti che verranno dopo di te".

Sia in classe sia in laboratorio si può e si deve attivare un contesto democratico di fare scuola, consapevoli che in laboratorio ci sono tanti aspetti che lo favoriscono: la maggiore libertà di movimento che richiede responsabilità, la gestione di strumentazione costosa, la autoregolazione per non creare un gran caos, lo sviluppo autonomo del lavoro, la concentrazione personale e il confronto, lo sviluppo di soluzioni proprie, la riflessione sull'errore.

Il laboratorio, come spazio fisico attrezzato, può facilitare una didattica democratica finalizzata allo sviluppo del pensiero critico e allo sviluppo di una cittadinanza consapevole se sostenuto da uno stile democratico di fare scuola da parte del docente. Immagino una scuola con laboratori, intesi come aule dedicate e opportunamente arredate, per tutte le discipline: italiano, storia, matematica, lingue straniere, scienze, tecnologie e, ovviamente, immagino anche docenti disposti a frequentarli con regolarità. Chissà che scuola sarebbe? ■

Possibili testi da consultare

- S. Dehauene, *Imparare*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2019.
- A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Zanichelli, Bologna, 1992.

Guglielmo Monaco

Università di Salerno

✉ gmonaco@unisa.it

Il lavoro di espansione in termodinamica

RIASSUNTO L'insegnamento del lavoro di espansione in termodinamica¹ nell'ambito dei corsi di chimica fisica è spesso condotto facendo riferimento alla pressione esterna al recipiente contenente il gas che si espande. Questa prassi, consistente con le equazioni della dinamica del punto materiale solo in casi particolari e per trasformazioni finite, si può evitare senza particolare aggravio matematico ed evidenziando la differenza tra lavoro svolto dal sistema e lavoro compiuto all'esterno, che ha un importante ruolo concettuale e pratico.

ABSTRACT In physical chemistry courses, the teaching of the expansion work is often conducted with reference to the external pressure. This practice, consistent with the equations of the dynamics of the material point only in special cases and for finite transformations, can be avoided without mathematical burden and by highlighting the difference between system-based work and surroundings-based work, which has an important conceptual and practical role.

Prerequisiti

Gli studenti affrontano la disciplina termodinamica dopo aver acquisito conoscenze basilari di dinamica. Per quanto ci riguarda, consideriamo i seguenti punti sempre presenti negli studi di base.

- *Il lavoro in dinamica.* In dinamica si introduce il lavoro w compiuto da una forza su un sistema come il prodotto (vettoriale) tra la forza e lo spostamento. Al lavoro compiuto corrisponde un trasferimento di energia da chi compie il lavoro al corpo su cui agisce la forza. In assenza di fenomeni dissipativi (attrito), tutto il lavoro compiuto viene trasferito al corpo come energia cinetica e questo è il contenuto del teorema dell'energia

cinetica (il cosiddetto *teorema delle forze vive*), che asserisce che il lavoro, la somma delle forze agenti su un corpo moltiplicate (vettorialmente) per lo spostamento effettuato, corrisponde alla variazione di energia cinetica E_K del corpo. Per una singola forza F :

$$w = \int_{x_i}^{x_f} F \times dx = \Delta E_K \quad (1)$$

- *La conservazione dell'energia in dinamica.* Per una forza conservativa, tale che l'integrale contenuto nell'equazione (1) sia indipendente dagli estremi di integrazione x_i e x_f , al lavoro effettuato corrisponde una variazione di energia potenziale E_p , $w = -\Delta E_p$, sicché dal teorema delle forze vive possiamo ricavare un principio di conservazione dell'energia, $\Delta E = \Delta E_K + \Delta E_p = 0$, che formalizza la ben nota interconversione di energia cinetica in energia potenziale, valida per un sistema isolato. L'esempio elementare che aiuta a visualizzare il principio è la caduta di un grave, per la quale lo sviluppo di energia cinetica pari a

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

avviene a scapito dell'energia potenziale corrispondente a

$$E_p = mgh$$

Gli esperimenti di James Prescott Joule che hanno sancito l'equivalenza tra calore e lavoro risalgono ai lontani anni 1845-1850 e si potrebbe così pensare che ormai l'insegnamento di calore, lavoro ed energia segua un percorso ben consolidato. E invece è di solo pochi anni fa un lavoro di Schmidt-Rohr che dimostra che la definizione di lavoro in un'espansione

¹ Ci riferiamo in particolare a studenti di corsi di laurea triennale. Tuttavia, abbiamo verificato che la trattazione risulta comprensibile anche a studenti del liceo scientifico che abbiano già acquisito i prerequisiti di dinamica, normalmente presenti nei programmi liceali.

irreversibile riportata nella maggioranza dei libri di testo di chimica fisica è errata [1]. Nonostante l'articolo di Schmidt-Rohr, che sistematizza e generalizza simili lavori apparsi precedentemente in letteratura [2, 3], sia esauriente e ben documentato, esso non ha ancora avuto adeguata risonanza nella comunità dei docenti di chimica fisica e ci proponiamo con questa breve nota di contribuire alla sua divulgazione.

Con lo sviluppo della termodinamica, la descrizione dell'energia E di un sistema ha guadagnato un nuovo addendo: non solo l'energia cinetica E_K e l'energia potenziale E_p , ma anche l'energia interna U dovuta alla natura della materia che compone il sistema:

$$E = E_K + E_p + U \quad (2)$$

La termodinamica permette di considerare anche trasformazioni che cambiano lo "stato interno" del sistema, la sua energia interna U , e questo avviene effettuando del lavoro o scambiando del calore q . La conservazione dell'energia viene allora scritta per un sistema chiuso come segue

$$\Delta E = \Delta E_K + \Delta E_p + \Delta U = q + w \quad (3)$$

dove stiamo considerando la notazione (dei chimici) che considera il lavoro positivo se fa aumentare l'energia del sistema.

Spesso una trasformazione chimica avviene senza che il recipiente che contiene il sistema (come una beuta posta sul banco) cambi significativamente altezza rispetto al suolo (E_p) o si muova (E_K), e pertanto $\Delta E_K = \Delta E_p = 0$. Si vede allora che per un sistema che non compie lavoro apprezzabile, la variazione di energia interna è misurabile come un flusso di calore e, in ultima analisi, come una variazione di temperatura indotta dal flusso di calore ($\Delta U = q$). È questa la base della calorimetria che permette di valutare variazioni di energia interna, una grandezza fondamentale per la comprensione di struttura e reattività. D'altro canto, in una trasformazione adiabatica $\Delta U = w$ ed il calcolo del lavoro permette di ottenere direttamente la variazione di energia interna.

Lavoro reversibile in termodinamica

Per definire il lavoro in termodinamica è utile considerare un sistema formato dal gas a pressione P e un pistone di area A e massa m , privo di attrito e soggetto alla forza di gravità e alla pressione del gas. La forza di gravità genererà una pressione costante sulla superficie di separazione del gas dal pistone pari a $P_e = mg/A$. Sia inizialmente $P_e = P$. Il pistone sarà fermo (Figura 1 con $P_{mb} = P$).

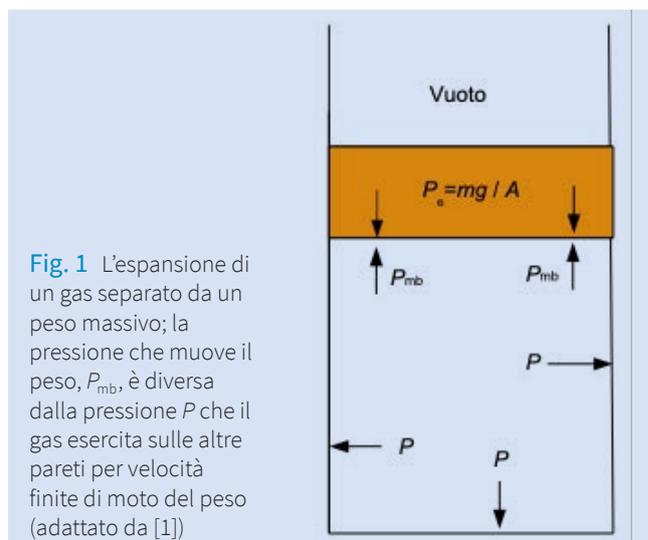


Fig. 1 L'espansione di un gas separato da un peso massivo; la pressione che muove il peso, P_{mb} , è diversa dalla pressione P che il gas esercita sulle altre pareti per velocità finite di moto del peso (adattato da [1])

Si può immaginare una *trasformazione quasi-statica*, consistente in variazioni infinitesime della pressione P_e (in termini di pesi di massa infinitesima aggiunti o levati dal pistone) attraverso le quali è possibile effettuare una compressione o un'espansione senza che il pistone acquisti una velocità apprezzabile e, quindi, senza che acquisti energia cinetica. Lo spostamento infinitesimale corrisponde ad una variazione infinitesima di volume $dV = Adz$ e ad un lavoro PdV . Nella convenzione dei chimici il lavoro di espansione si scriverà dunque

$$\delta w = -PdV \quad (4)$$

e, nel caso di una trasformazione quasi-statica finita, si otterrà il lavoro per integrazione

$$w = - \int_{V_i}^{V_f} PdV \quad (5)$$

Se applichiamo il teorema delle forze vive al pistone si avrà

$$\int_{V_i}^{V_f} PdV - P_e \Delta V = \Delta E_K \quad (6)$$

Se $P_e = P$ in ogni momento della trasformazione, il pistone avrà sempre energia cinetica trascurabile e i due integrali che definiscono il lavoro fatto dal gas e quello fatto dal potenziale gravitazionale saranno uguali. In queste condizioni il lavoro effettuato sarà interamente scambiato tra il sistema gas ed il pistone. Sembrerebbe allora che la scrittura

$$\delta w = -P_e dV \quad (7)$$

possa essere vantaggiosa in quanto permette di ottenere il lavoro facilmente senza bisogno di conoscere la pressione del gas che cambierà nel corso della trasformazione. Tuttavia, questa equazione si prende per buona anche in condizioni irreversibili, non quasi-statiche, nelle quali essa non è valida.

Lavoro in una trasformazione irreversibile in termodinamica

Nel caso di una trasformazione non quasi-statica, bisognerà considerare che il moto del pistone a velocità finita causa:

- disomogeneità e conseguenti turbolenze nel gas, rendendo incerto il valore di P da usare nell'integrale del lavoro (Equazione 5)
- la necessità di considerare il ruolo dell'energia cinetica del pistone nel processo

Il punto a) può determinare l'impossibilità di collocarci nel piano di Clapeyron $P-V$ e, quindi, di calcolare il lavoro di espansione. Tuttavia, per velocità di espansione non troppo elevata vale l'ipotesi dell'equilibrio locale: alle funzioni termodinamiche P, T, U, H, G a valore unico per tutto il sistema vengono sostituite delle funzioni che variano gradualmente in funzione dello spazio all'interno del sistema. La pressione del gas nei pressi di un pistone in movimento P_{mb}^2 si può calcolare con la teoria cinetica e risulta leggermente inferiore alla pressione media del gas, se il gas è in espansione, e leggermente superiore alla pressione media, se il gas viene compresso³. È questa pressione che andrebbe considerata nell'espressione del lavoro. In pratica l'approssimazione $P_{mb} \approx P$ comporta errori di pochi punti percentuali per velocità del pistone normalmente usate negli impianti chimici e cioè per velocità del pistone u piccole rispetto alle velocità molecolari medie v (tipicamente dell'ordine di centinaia di metri al secondo).⁴

In base all'equazione (6), in ogni trasformazione che parta e finisca a pistone fermo, si può calcolare il lavoro finito compiuto dal gas in assenza di attrito come:

$$w = -P_e \Delta V \quad (8)$$

Essendo la relazione (8) valida per ogni corsa del pistone, essa sarà valida anche per tutto il processo, con il pistone definitivamente fermo. Tuttavia, questo risultato è un caso particolare che richiede il pistone fermo all'inizio e alla fine e l'assenza di attrito. In un caso più generale, l'equazione (8) non permette

di comprendere la differenza tra il lavoro esercitato dal sistema e il lavoro fornito all'ambiente, un concetto importante nella discussione dell'efficienza delle macchine.

Consideriamo al riguardo la figura 2.

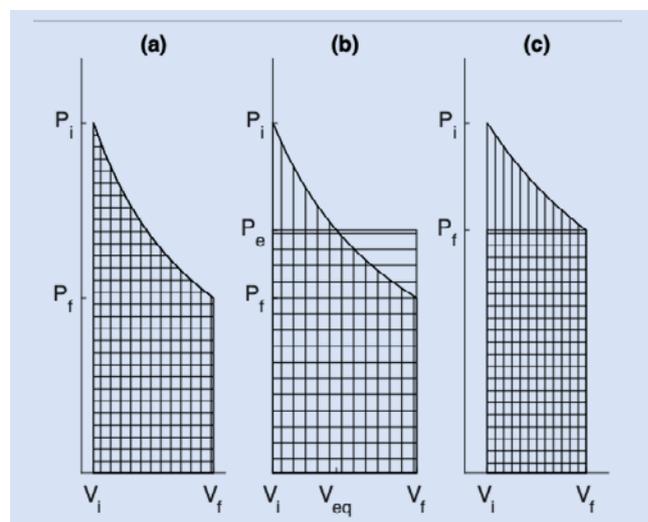


Fig. 2 Confronto tra lavoro di espansione compiuto dal gas (aree a tratteggio verticale) e lavoro ottenuto come innalzamento del pistone (aree a tratteggio orizzontale) per un'espansione isoterma di un gas ideale; (a) espansione reversibile: tutto il lavoro compiuto dal gas è utilizzato per sollevare il pistone; (b) singola corsa di espansione irreversibile con pistone adiabatico: il lavoro compiuto è ancora utilizzato interamente per sollevare il pistone ma solo se si considera la trasformazione che parte e termina a pistone fermo; (c) espansione in presenza di attrito: solo parte del lavoro effettuato dal gas è utilizzata per sollevare il pistone

Nel caso dell'espansione isoterma reversibile di un gas ideale (Figura 2a) tutto il lavoro fatto dal gas serve a sollevare il pistone. Questo è vero anche nel caso dell'espansione irreversibile con pistone privo di attrito, ma bisogna considerare estremi in cui il pistone sia fermo (Figura 2b). È interessante considerare gli stadi intermedi della trasformazione. Nel

² Il pedice mb sta per 'moving boundary'.

³ La relazione tra la pressione in presenza e in assenza di movimento del pistone, ricavata in [4], è

$$P_{mb} = P \left(1 - \frac{8u}{\pi v} + \frac{8u^2}{\pi v^2} \right)$$

dove u è la velocità del pistone e v la velocità media delle molecole del gas.

⁴ Il fatto che la pressione nei pressi del pistone sia diversa da quella esercitata sulle pareti ferme ha conseguenze osservabili. Applicando il primo principio al sistema gas + pistone si vedrà che in una trasformazione isoterma c'è da aspettarsi che il pistone non si fermi inizialmente all'altezza di equilibrio $z_{eq} = P/mg$, ma oscilli perché arriverà all'altezza z_{eq} con velocità finita e continuerà a muoversi per inerzia finché non sarà frenato dalla forza peso che eserciterà una pressione maggiore della pressione del gas; a questo punto il pistone si abbasserà e supererà nuovamente la posizione di equilibrio. Le oscillazioni del pistone non andranno avanti all'infinito, anche in assenza di attrito del pistone e di scambio termico. Difatti, siccome la pressione nei pressi del pistone è inferiore alla pressione media durante l'espansione e superiore alla pressione media durante la compressione, si avrà un fenomeno di isteresi che smorzerà le oscillazioni. Questa caratteristica è effettivamente osservabile nel metodo di Rüchardt, che permette di misurare il rapporto delle capacità termiche dei gas, $\gamma = C_p/C_v$, seguendo le oscillazioni di una pallina che separa due gas a pressione diversa in un sistema adiabatico.

primo tratto, $V < V_{eq}$, il lavoro compiuto dal gas servirà solo in parte a sollevare il peso; parte del lavoro ne aumenterà l'energia cinetica. Nel secondo tratto, $V > V_{eq}$, il lavoro compiuto dal gas sarà inferiore all'aumento di energia potenziale del peso, che aumenterà a spese dell'energia cinetica del pistone.

La differenza tra lavoro effettuato e lavoro svolto è ancora più marcata per un pistone su cui agisce una forza di attrito $F_{\alpha}F$. In questo caso dal teorema delle forze vive applicato al pistone si ottiene:

$$\int_{V_i}^{V_f} PdV - P_e\Delta V + \int_{V_i}^{V_f} F_{\alpha}dz = \Delta E_K \quad (9)$$

Quando il pistone avrà terminato eventuali oscillazioni ($\Delta E_K = 0$), il lavoro svolto dall'attrito che in ultima analisi corrisponderà a calore dissipato q_{irr} potrà essere calcolato come differenza tra il lavoro svolto dal gas w ed il lavoro svolto nell'ambiente, w_{amb} , quantificabile in termini dell'innalzamento del peso:

$$q_{irr} = \int_{V_i}^{V_f} F_{\alpha}dz = - \int_{V_i}^{V_f} PdV + P_e\Delta V = w - w_{amb} \quad (10)$$

È da notare che per un processo di espansione $q_{irr} < 0$, mentre per un processo di compressione $q_{irr} > 0$. L'equazione (10) mette in luce che, in presenza di attrito, solo parte del lavoro svolto serve all'innalzamento del pistone, il resto è dissipato come calore (Figura 2c).⁵

Se si vuole introdurre il calore q_{irr} nell'equazione del primo principio applicato al sistema gas bisognerà considerare che il calore q_{irr} potrà essere dissipato all'esterno o all'interno del gas. Considerando anche la possibilità che il gas scambi calore q_{rev} con una sorgente esterna ($q_{rev} = 0$ se il sistema è adiabatico), abbiamo due casi limite: se il calore q_{irr} è dissipato completamente all'interno del gas il primo principio si scriverà

$$\Delta U = q_{rev} + w - q_{irr} = q_{rev} - \int_{V_i}^{V_f} PdV - \int_{V_i}^{V_f} (P - P_e)dV = q_{rev} - P_e\Delta V \quad (11)$$

Mentre, se il calore q_{irr} è dissipato completamente all'esterno, si avrà

$$\Delta U = q_{rev} + w = q_{rev} - \int_{V_i}^{V_f} PdV \quad (12)$$

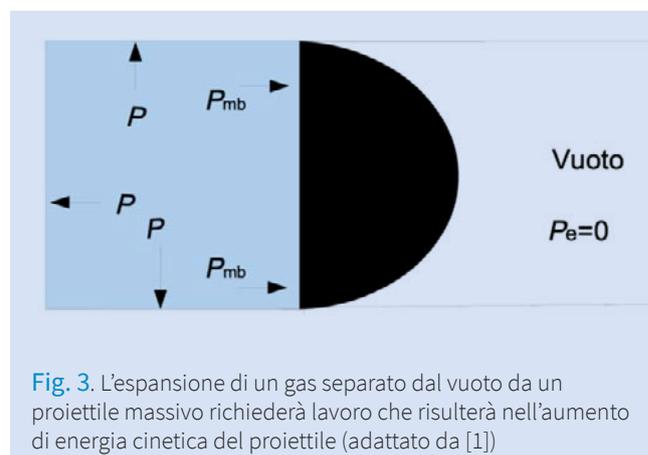
Nonostante i due casi limite (11) e (12) siano ottenibili almeno in linea di principio con opportune forme del pistone [1], c'è da aspettarsi che i sistemi reali possano avere un comportamento intermedio ed il lavoro compiuto dal gas sarà compensato da una frazione del calore dissipato q_{irr} .

Completiamo la nostra discussione con il caso particolare dell'espansione contro il vuoto. Per un pistone di massa trascurabile che separa il gas dal vuoto, si potrà trascurare il lavoro compiuto dal gas in un'espansione adiabatica

$$w = -P_e\Delta V = -\frac{mg}{A}\Delta V \cong 0 \quad (13)$$

ma sempre considerando il pistone fermo ai due estremi del processo.

Forse la geometria orizzontale scelta da Schmidt-Rohr (Figura 3) è quella che meglio illustra la validità dell'equazione (4) invece della (7). Difatti, se un gas è separato dal vuoto da un proiettile che si può muovere solo in orizzontale, quest'ultimo acquisirà un'energia cinetica che sarà prodotta dalla pressione



⁵ Nella branca della termodinamica nota come *termodinamica dei processi irreversibili* si sviluppano equazioni per la produzione di entropia, $\sigma = dS_i/dt$, dove dS_i è l'entropia prodotta in maniera irreversibile. In molti fenomeni (diffusione, conduzione del calore, viscosità, reattività chimica) è possibile approssimare σ come una forma lineare di forze motrici X e le costanti di proporzionalità sono note come flussi termodinamici J : $\sigma = \sum_i J_i X_i$. Nel caso in questione il flusso termodinamico è la velocità di variazione di volume $J = dV/dt$ e la forza motrice è $X = (P - P_e)/T$, per cui

$$\frac{dq_{irr}}{dt} = T \frac{dS_i}{dt} = T J X = \frac{dV}{dt} (P - P_e)$$

del gas e non dalla pressione del vuoto, come ci si potrebbe aspettare usando l'equazione (7).

Per concludere, ci sembra che l'introduzione del lavoro di espansione in termodinamica in termini della pressione esterna P_e , per quanto conduca ad espressioni corrette nei casi limite di espansione reversibile, espansione tra due stati a pistone fermo in assenza di attrito, equazione (8), e con attrito e dissipazione completamente all'interno del gas, equazione (11), nasconda l'esistenza del lavoro perso, il lavoro effettuato dal sistema che non si ritrova all'esterno. L'espressione (7) in particolare, usata per giustificare velocemente le equazioni (8) e (11), comporta spesso perplessità negli studenti che incontrano una definizione di lavoro svolto in disaccordo con quanto studiato nei corsi di fisica e, difatti, essa non permette di interpretare situazioni in cui il pistone sia in movimento. Riteniamo pertanto preferibile mantenere la definizione della dinamica classica per il lavoro svolto; ciò non costituisce un aggravio importante nell'insegnamento ed apre na-

turalmente la discussione sull'irreversibilità e il secondo principio. Rimandiamo al lavoro [1] per una discussione più completa. ■

Riferimenti

- [1] K. Schmidt-Rohr, Expansion Work without the external pressure and thermodynamics in terms of quasistatic irreversible processes, *J. Chem. Educ.*, 2014, **91**, 402 – 409; doi: 10.1021/ed3008704.
- [2] D. Kivelson, I. Oppenheim, Work in irreversible expansions. *J. Chem. Educ.* 1966, **43**, 233 – 235; doi: 10.1021/ed043p233.
- [3] E. A. Gislason; N. C. Craig, Cementing the foundations of thermodynamics: comparison of system-based and surrounding based definitions of work and heat. *J. Chem. Thermodynamics* 2005, **37**, 954 – 966; doi: 10.1016/j.jct.2004.12.012.
- [4] R. P. Bauman; H. L. Cockerham, Pressure of an ideal gas on a moving piston. *Am. J. Phys.* 1969, **37**, 675 – 679; doi: 10.1119/1.1975769.

Teresa Celestino

Liceo "E. Majorana" (LT)

✉ teresa@teresacelestino.net

Decifrare la chimica invisibile: un excursus storico-epistemologico dai tubi di Crookes alla radioattività

RIASSUNTO Il periodo a cavallo tra gli ultimi decenni dell'Ottocento e i primi del Novecento fu caratterizzato da una scienza estremamente vivace, alla base di nuove aree disciplinari nel campo della fisica e della chimica. Nello stesso tempo, il linguaggio scientifico attraversò una fase di grande rinnovamento. Centrale è stato il ruolo della scoperta della radioattività, le cui premesse storiche sono dunque estremamente importanti per gli studenti della scuola secondaria. Questa fase di grande progresso generò euforia collettiva, curiosità per i fenomeni paranormali e un certo alone di misticismo, di cui sono testimonianza spettacoli teatrali e cinematografici, notizie sui medium e strane commistioni scientifico-teosofiche.

ABSTRACT The period between the last decades of the 19th century and the beginning of the 20th was characterized by extremely lively science, underpinning new subject areas in physics and chemistry. At the same time, the language of science went through a phase of great renewal. Central was the role of the discovery of radioactivity, the historical background of which is therefore extremely important for secondary school students. This phase of great progress generated collective euphoria, curiosity about paranormal phenomena and a certain aura of mysticism, as proved by theatre and film shows, reports about mediums and strange scientific-theosophical admixtures.

PAROLE CHIAVE William Crookes, paranormale, radioattività, teosofia

1. Linguaggio e decifrazione dei segni

La scoperta della radioattività si colloca in un periodo storico particolarmente ricco di "segni" da decifrare, relativi alla natura e all'azione delle particelle subatomiche. Gli studi sui raggi X e l'identificazione dell'elettrone sono stati estremamente preziosi per

comprendere i fenomeni radioattivi, promuovendo il progressivo delinearci di nuovi domini disciplinari: la fisica nucleare e la radiochimica.

Il periodo maggiormente significativo per la triade raggi X – elettrone – radioattività si estende dal 1895 al 1903. Il 1895 è infatti l'anno della scoperta dei raggi X ad opera di Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), mentre nel 1903 Ernest Rutherford (1871-1937) e Frederick Soddy (1877-1956) pubblicano l'articolo "*Radioactive Change*" [1], una tappa fondamentale per l'impostazione delle successive linee di ricerca sulla natura degli elementi radioattivi e delle radiazioni da essi originate. Nel mezzo troviamo: la scoperta dell'elettrone (1897) ad opera di Joseph John Thomson (1856-1940), per la cui realizzazione le ricerche di William Crookes (1832-1919) sin dai primi anni '70 del secolo XIX hanno assunto un ruolo assai rilevante; lo studio di quelli che nel 1896 sono inizialmente denominati "raggi uranici" da Antoine Henri Becquerel (1852-1908), alla cui indagine contribuiscono in maniera determinante i coniugi Marya Skłodowska (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906).

Nel cuore dello stesso arco temporale si situano alcune tappe particolarmente importanti per la Chimica, rappresentate dai punti della seguente cronologia:

- 1895 – W. Röntgen scopre i raggi X
- 1896 – H. Becquerel nota che l'esposizione alla luce solare non è necessaria per produrre i raggi uranici, e conclude che essi sono causati dall'uranio
- 1897 – M. Curie inizia a lavorare sui raggi di Becquerel e Thomson scopre l'elettrone
- 1898 – M. Curie scopre la radioattività del torio (aprile); M. e P. Curie scoprono il polonio e coniano il termine "radioattività" (luglio); M. e P. Curie e



Fig. 1

Gustave Bémont (1857-1932) annunciano la scoperta del radio (dicembre)

- 1899 – André-Louis Debierne (1874-1949) scopre l'attinio
- 1902 – M. Curie isola 120 mg di cloruro di radio (marzo) e misura il peso atomico del radio (luglio)
- 1903 – Rutherford e Soddy provano che la radioattività è causata da variazioni a livello subatomico e implica trasformazioni spontanee di atomi di un elemento in atomi di un altro elemento

Questo è ovviamente un quadro estremamente semplificato del panorama scientifico di quegli anni, funzionale a una trattazione indirizzata agli studenti del secondo biennio di un liceo.

In questi anni i veloci cambiamenti del linguaggio scientifico vanno di pari passo con la progressiva decifrazione dei dati sperimentali, presupponendo un suo ruolo attivo all'interno della dinamica dello stesso processo di scoperta: il linguaggio e gli atti conoscitivi si sviluppano in un rapporto di casualità reciproca. In sostanza, il linguaggio non si limita a una funzione descrittiva, ma concorre attivamente a far emergere i nuovi prodotti della conoscenza (Figura 1).

Il luogo ermeneutico di tale interdipendenza di linguaggio e scoperta è distante dalla prospettiva neopositivistica: il momento dell'introduzione di una nuova ipotesi non è più rigidamente separato dalla sua validazione sperimentale. Al contrario, assumono rilevanza le "intuizioni creative" di Bergson e gli "elementi irrazionali" che Popper riteneva insiti nelle fasi iniziali di tutte le scoperte scientifiche [2]. Aspetti oggi sicuramente considerati al di fuori della scienza hanno condizionato l'attività di ricerca di quegli anni, nel corso dei quali non pochi studiosi sono stati coinvolti nell'indagine su presunti fenomeni paranormali. A tal fine prenderemo in particolare considerazione, in relazione alla proposta di un percorso didattico, i seguenti punti in ordine temporale:

- aspetti peculiari del contributo preliminare di

Crookes, senza trascurare qualche ombra circa i suoi rapporti con il paranormale;

- alcune congetture elaborate sulla natura dei raggi scoperti da Röntgen;
- lo studio dei fenomeni radioattivi ad opera dei coniugi Curie e di Becquerel, con particolare riferimento al determinante ruolo delle procedure della Chimica nella definizione delle linee di ricerca.

Queste tappe saranno esaminate anche dal punto di vista del cambiamento linguistico che le ha accompagnate. Si accennerà infine al proliferare di fantasiose nonché discutibili teorie di stampo teosofico a tema chimico, nate sull'onda di una grande – e spiazzante – effervescenza scientifica di quel periodo.

2. William Crookes: frequenzioni "paranormali" di un ricercatore indipendente

La rivista *La Chimica nella Scuola* ha già dato spazio al rapporto tra alcuni scienziati e il paranormale [3]. In particolare, è stato approfondito il ruolo scientifico e la personalità di William Crookes [4].

Nei libri di testo Crookes è citato quasi esclusivamente in relazione allo studio dei fenomeni di scarica attraverso i gas rarefatti. Come sappiamo, Crookes utilizzò un tubo di vetro nel quale erano saldati due elettrodi metallici: un elettrodo, il catodo, collegato al polo negativo di un generatore di corrente; l'altro, l'anodo, al polo positivo. Quando la differenza di potenziale applicata agli elettrodi era molto elevata (circa 10.000 V) e il tubo conteneva un gas a pressione molto bassa, si verificava una scarica elettrica; nello stesso tempo, sulla parete di vetro di fronte al catodo (sulla quale era posto uno schermo al fosforo) si notava una fluorescenza che scompariva al cessare della scarica (Figura 2). Pertanto, durante la scarica elettrica il fascio di raggi – poi denominati "raggi catodici" – partiva dal catodo colpendo la parte opposta del tubo.

Dopo una serie di esperimenti, nel 1897 Thomson concluse che i raggi catodici non erano altro che flussi di elettroni. Crookes aveva già documentato che: si propagavano in linea retta (colpendo un ostacolo come la croce di Malta ne proiettavano l'ombra sulla parete opposta); avevano natura corpuscolare (provocavano la rotazione di un mulinello a palette di mica inserito nel tubo lungo il loro cammino); la direzione del loro tragitto era deviata da un campo magnetico. In seguito alla messa a punto di pompe da vuoto molto più efficienti di quelle a disposizione di Crookes, Thomson dimostrò che le

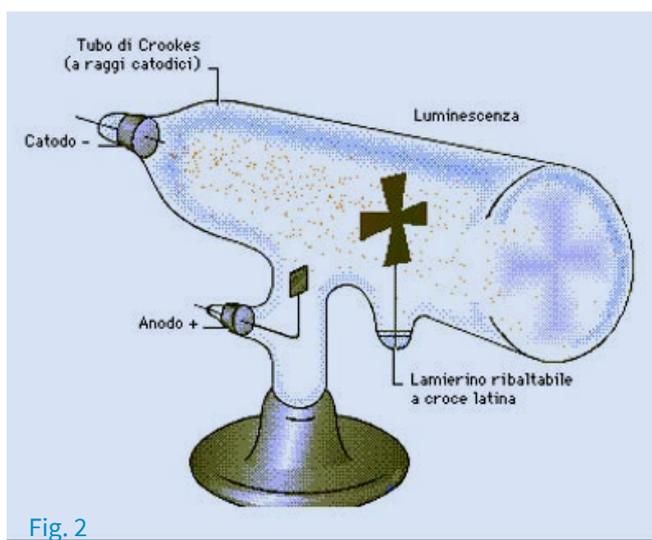


Fig. 2

particelle costituenti tali raggi erano caratterizzate da una carica negativa: passando tra due piastre di metallo cariche, esse si dirigevano verso la piastra carica positivamente. Riuscì inoltre a determinarne il rapporto carica/massa.

Le supposizioni poi rivelatesi errate sulla natura dei raggi catodici furono particolarmente suggestive [2]: fisici come G. H. Wiedemann (1826-1899) e P. E. A. von Lenard (1862-1947) si proponevano di interpretare i raggi catodici all'interno delle teorie ondulatorie, mentre G. A. J. Jaumann (1863-1924) parlava di "perturbazioni longitudinali dell'etere". Crookes ipotizzava l'esistenza di un "quarto stato della materia" [4], talvolta sconfinando in tentativi di spiegazione non proprio conformi all'ortodossia scientifica.

Privo di una collocazione accademica ma autore di molti articoli scientifici (tra i quali uno sulla scoperta e l'isolamento del tallio), William Crookes era a tutti gli effetti un "ricercatore indipendente"; tale posizione, sebbene gli garantisse una certa libertà, rendeva la sua reputazione particolarmente vulnerabile, soprattutto in relazione agli studi sul mondo invisibile. In epoca vittoriana l'euforia per gli sviluppi delle telecomunicazioni aveva infatti acceso l'interesse per il paranormale (si pensi al telegrafo senza fili). Non solo Crookes, ma molti altri esponenti del mondo scientifico erano in contatto con medium e partecipavano a sedute spiritiche. Non erano degli ingenui: al contrario, erano perfettamente consapevoli della presenza di ciarlatani e imbroglioni nell'ambiente dello spiritismo; tuttavia ne erano attratti e incuriositi. Alcuni strumenti ideati da Crookes (in particolare tubi a scarica e mulinelli a luce) erano in qualche modo correlati all'indagine di presunte "forze psichiche", contribuendo in qualche modo a delineare quella che oggi chiamiamo parapsicologia. Forse Crookes fu spinto a partecipare alle sedute spiritiche

anche dalla speranza di contattare uno dei suoi fratelli morto durante una spedizione a Cuba per posare un cavo del telegrafo [5]. Dapprima si lasciò ammaliare da un famoso medium britannico, Daniel Douglas Home (1833-1886) [6], che sottopose a una serie di "controlli". Successivamente, pur consapevole del fatto che lo studio dei "fenomeni psichici" gli avrebbe creato non pochi problemi nell'ambiente scientifico, cominciò a frequentare la medium Florence Cook (1856-1904), allora appena sedicenne [6]. Florence Cook era diventata famosa per la sua presunta capacità di materializzare, dopo essere caduta in trance, uno spirito di nome Katie King. Si narra che Crookes passeggiasse tenendo il braccio a Katie King, notando come ella fosse "concreta come la signorina Cook stessa" [5]. Lo stesso Crookes fotografò più volte Katie King e Florence Cook insieme, ma (chissà perché!) uno dei due visi era sempre oscurato (come nella figura 3, nella quale compare anche lo scienziato). I ripetuti e presunti fallimenti di Crookes, incapace di cogliere entrambi i visi nonostante le sue ben note doti di fotografo, contribuirono all'accusa di complicità volontaria con la Cook (definitivamente smascherata nel 1880, quando i quotidiani riferirono di uno spettatore che l'aveva sorpresa a cambiarsi per assumere le sembianze di Katie King [5]).



Fig. 3

Nonostante ciò, Crookes difese sempre le affermazioni degli spiritisti, dimostrando come anche fisici e chimici facessero ricorso a entità che non potevano essere viste: gli atomi e le molecole non erano forse creature dell'immaginazione come gli spiriti? Vari studi hanno approfondito l'atteggiamento ambiguo di Crookes nei confronti dei medium [5]. Come se non bastasse, nel 1883 Crookes entrò in contatto con Elena Petrovna Blavatsky (1831-1891) [7], fondatrice della Società Teosofica su cui ritorneremo nell'ultima parte di questo lavoro.

3. I misteriosi raggi X

“Qual è dunque la natura di questi fenomeni meravigliosi e misteriosi? Qualunque cosa essi siano si è in presenza di un agente nuovo, tanto nuovo quanto lo era l'elettricità nei tempi di Gilbert o il galvanismo nei tempi di Volta. [...]. È necessario rifiutare la gran quantità di teorie fantasiose che la stampa quotidiana ha riportato. Potrebbero essere fuorvianti”. [2]

Così Jules-Henry Poincaré (1854-1912) parlava delle scoperte di Röntgen su particolari “raggi”, associati alla lettera “X” in quanto di origine sconosciuta. I libri di testo di Chimica si soffermano raramente sulla scoperta dei raggi X; si tratta di una grave mancanza, dal momento che lo studio della causa dei raggi X ha aperto un varco determinante per l'indagine sui fenomeni radioattivi. L'alone misterioso di tali raggi facilitò il proliferare di varie congetture sovrannaturali, insieme a una buona dose di umorismo. Ad esempio, prendendo spunto dalla radiografia della mano della moglie di Röntgen, nel cortometraggio “The X-Ray Fiend” diretto nel 1927 da G. A. Smith (1864-1959), una coppia di fidanzati intenti a flirtare era improvvisamente ridotta a un duo di scheletri sotto l'effetto di una cinepresa a raggi X (Figura 4).

Nel 1896 Röntgen scriveva: “Risulta, da un gran numero di studi, che i punti del tubo a scarica dove la

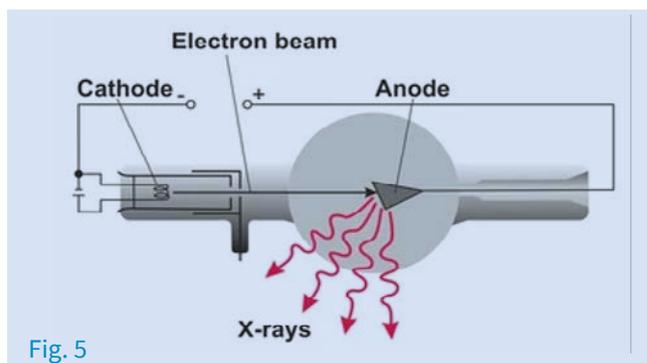


Fig. 5

fosforescenza appare più brillante, sono la sede principale dalla quale i raggi X nascono e si propagano in tutte le direzioni. Ciò significa che i raggi X partono dalla regione in cui i raggi catodici colpiscono il vetro. Se con l'aiuto di una calamita si spostano i raggi catodici all'interno del tubo, si vedranno infatti partire i raggi X da un nuovo punto, ossia dall'estremità dei raggi catodici.” [2]

Oggi sappiamo che nei tubi a raggi X si utilizza la radiazione emessa da cariche frenate. Un catodo emette elettroni che vengono opportunamente concentrati. Con una tensione tra anodo e catodo di circa 30.000 V, gli elettroni sono accelerati fino a una velocità di 100.000 km/s; al momento dell'urto contro l'anodo essi subiscono una forte decelerazione. La “radiazione di frenata” così ottenuta (detta *Bremsstrahlung*), la cui lunghezza d'onda è compresa tra 10^{-14} m e 10^{-9} m è perpendicolare alla direzione dell'accelerazione, quindi esce lateralmente dal tubo (Figura 5).

All'epoca di Röntgen, il modo e i contesti in cui furono usati i termini “raggio” e “radiazione” instaurarono collegamenti fitti e non sempre chiari fra la dimensione semantica e quella relativa agli oggetti di indagine. Il chiarimento del meccanismo di origine dei raggi X ha contribuito alla distinzione dei termini “radiazione” e “raggio”, spesso usati in modo intercambiabile: la radiazione rappresenta l'emissione e la propagazione di energia sotto forma di onde elettromagnetiche o particelle elementari; il raggio indica invece la direzione di tale propagazione. In particolare, la valenza semantica del termine “radiazione” cambiò attraverso le ricerche di Thomson sui raggi catodici, quando fu accettata l'idea che determinate particelle potessero passare attraverso fogli metallici.

Data la concomitanza tra la fluorescenza del tubo di vetro e l'emissione di raggi X, Poincaré suppose che fosse il vetro a emetterli diventando fluorescente; lo scienziato si chiese allora se tutti i corpi



Fig. 4

che emettevano fluorescenza potessero originare raggi X (oltre ad altri tipi di radiazione) qualunque fosse la causa del fenomeno luminoso. In questo modo i fenomeni non sarebbero più stati interpretati in relazione a una causa elettrica. Tre ricercatori si occuparono di verificare l'ipotesi di Poincaré: Charles Henry (1859-1926), Gaston-Henri Niewenglowski (1871-1906?) e Henri Becquerel. Inizialmente l'ipotesi di Poincaré sembrava confermata, ma le ricerche di Becquerel andarono oltre, individuando un fenomeno non riconducibile ad alcunché di noto [2].

4. La radioattività: una Chimica dell'invisibile

Becquerel aveva individuato alcuni minerali fosforescenti contenenti uranio: dopo aver sistemato una lamina di minerale su una lastra fotografica ricoperta da due fogli di cartone nero, esponeva il tutto alla luce solare. Annotava in seguito che questi minerali emettevano radiazioni che, come i raggi X, attraversavano i corpi opachi alla luce ordinaria (il cartone) e riducevano i sali d'argento (impressionando una pellicola fotografica). Tuttavia, si accorse che i corpi fosforescenti contenenti uranio emettevano radiazioni anche se non esposti alla luce solare; inoltre mostravano proprietà fisiche diverse dai raggi X. Furono quindi denominati "raggi uranici". Quando Marie Curie scelse di studiarli per la sua tesi di dottorato [8, 9], ne sfruttò le proprietà elettriche utilizzando uno strumento costruito dal marito Pierre e da suo fratello, il mineralogista Paul-Jacques Curie (1856-1941): un elettrometro a quadranti [9, 10] basato sulla capacità delle sostanze che emettevano raggi uranici di rendere conduttrice l'aria attraverso la formazione di specie cariche (ioni). La figura 6 mostra una schematizzazione dell'elettrometro: una coppia di quadranti è collegata sia a un condensatore (nel quale è posta la sostanza in esame) sia a un quarzo piezoelettrico (capace di polarizzarsi elettricamente, e quindi di condurre corrente, in seguito a una deformazione meccanica - in questo caso resa possibile da un peso ad esso agganciato). I coniugi Curie e in particolare Marie, abilissima come nessun altro nel difficile uso dell'elettrometro [11], misuravano il tempo impiegato dagli ioni prodotti dalla sostanza a neutralizzare la carica elettrica generata dal quarzo.

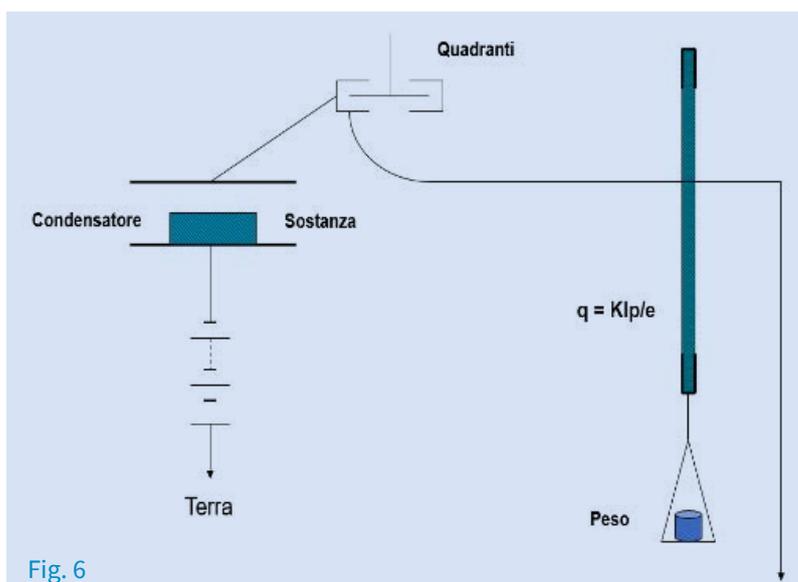


Fig. 6

In tal modo ottenevano una misura della corrente di ionizzazione, che conduceva a misurare la particolare "attività" della sostanza in esame.

La chimica degli elementi radioattivi introduceva idee nuove e determinava una scissura sempre più profonda tra conoscenza comune e conoscenza scientifica. Le bilance, simbolo della chimica di Lavoisier, venivano messe da parte per fare spazio agli elettrometri (Figura 7), secondo il fisico J. W. S. Rayleigh (1842-1919) "progettati dal diavolo" per la loro estrema difficoltà di utilizzo [11].

Sicuramente quella che sarà denominata "radiochimica" portò con sé una serie di cambiamenti, di cui le misure con l'elettrometro non furono che l'inizio: non solo l'apparato teorico, ma anche la difficoltà di reperimento dei materiali e le esigue quantità risultanti dall'isolamento delle sostanze pure portarono il chimico britannico Arthur Smithells (1860-1939) a lamentare il fatto che "con la radioattività si stesse creando, in relazione al ponderabile, una chimica di fantasmi", anche per il divario tra "la grandissima riduzione delle quantità dei materiali

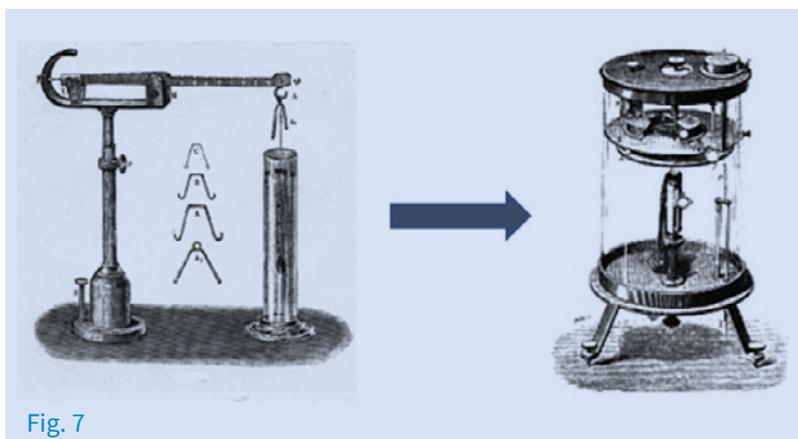


Fig. 7

sperimentali” e “l’esubranza di speculazioni matematiche del tipo più sconcertante” [2, 12]. Tuttavia, pur comprendendo il contesto al quale Smithells si riferiva, non si può negare che gli inizi della radiochimica siano stati assolutamente radicati nel paradigma epistemologico proprio della Chimica, soprattutto per merito dei Curie. Infatti, mentre Becquerel procedette rimanendo ancorato ai metodi della fisica nell’indagare la natura dei raggi uranici, Curie e collaboratori condussero le loro ricerche con una eccezionale padronanza delle tecniche sperimentali della Chimica classica e con grande consapevolezza del modo di procedere dei chimici. Il premio Nobel per la Chimica conferito a Marie Curie nel 1911 (dopo quello nel 1903 per la Fisica condiviso con Pierre Curie e Antoine Becquerel) ne fu il riconoscimento.

Secondo Luigi Cerruti [12], l’epistemologia dei chimici è caratterizzata dalla determinazione delle strutture molecolari e da quattro principali direttrici di indagine sulle sostanze:

1. attività combinatoria sperimentale
2. classificazione
3. definizione e ricerca della purezza
4. determinazione di costanti

In particolare, la classificazione delle sostanze è assolutamente necessaria per padroneggiare una grande mole di dati empirici e identifica “un tratto ‘debole’ dell’epistemologia chimica, che distingue tuttora, e nettamente, la chimica dalla fisica” [12]. Esaminiamo come l’indagine dei Curie si mosse secondo tutti e quattro i criteri elencati.

4.1 Classificazione

In un primo tempo Marie Curie procedette catalogando varie sostanze in relazione alla loro attività, trovando che il torio mostrava, in maggior misura, lo stesso tipo di attività dell’uranio. In riferimento a ciò il fisico e storico della fisica G. E. M. Jauncey (1888-1947) osservò come fosse “sbalorditivo che

nel 1896 e nel 1897 nessuno avesse pensato di verificare le proprietà radioattive del torio, che era, in quel tempo, [dopo l’uranio] l’elemento di peso atomico più elevato” [13]. Inoltre, dalle misure ottenute su vari campioni, in parte elencate nella Tabella 1 [14, 15], emerse chiaramente un’attività della pechblenda superiore a quella dell’uranio.

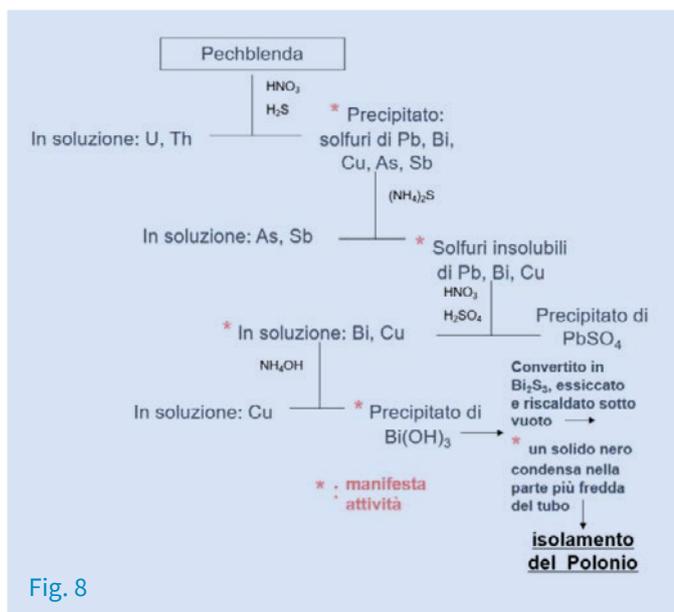
In seguito a queste osservazioni, Marie Curie suppose l’esistenza di un nuovo elemento: un’ipotesi figlia di un approccio “chimico” al problema di portata straordinaria, se si pensa al contesto referenziale della fosforescenza cui erano agganciati i raggi uranici. Rutherford suppose che l’aumento dell’attività riscontrato nella pechblenda e nella calcolite potesse dipendere dal loro stato di suddivisione e non dalla presenza di un nuovo elemento; riportava inoltre l’esempio del fosforo, la cui attività fosforescente dipendeva dal suo stato chimico. La replica di Marie Curie non si fece attendere: secondo la scienziata, proprio la diversità di comportamento tra il fosforo bianco e il fosforo rosso (quest’ultimo non fosforescente) lasciava presagire una marcata diversità tra la loro fosforescenza e l’attività di uranio e torio [2]. Questo fu un passaggio fondamentale per condurre all’ipotesi rivoluzionaria dell’attività rilevata con l’elettrometro come *proprietà atomica*: interpretata alla stregua di altre caratteristiche dell’atomo, quali il suo peso o le sue linee spettrali.

4.2 Attività combinatoria sperimentale, definizione e ricerca della purezza

Il carattere di Marie Curie, determinato fino all’ossessione nel perseguire i suoi obiettivi [11], fu decisivo nel portare a completamento l’isolamento di pochi milligrammi di nuovi elementi puri (polonio, attinio, radio) partendo da tonnellate di pechblenda [9, 15] e procedendo tramite successive precipitazioni frazionate (Figure 8, 9 e 10). Gli schemi raffigurati, di grande valenza didattica, possono essere illustrati agli studenti alla luce di semplici separazioni di solidi effettuati in laboratorio [16]; al di là delle differenze abissali relative alla difficoltà di esecuzione, l’insegnante può mostrare come il principio guida rimanga invariato: si sfruttano le diverse proprietà chimico-fisiche dei componenti di una miscela per realizzarne progressivamente la separazione, monitorando l’intensità di una determinata proprietà fisica – il colore di un determinato solido ad esempio, o ... la radioattività. Ovviamente queste lunghe ed estenuanti procedure sperimentali comportarono attività combinatoria: sia per realizzare opportune reazioni i cui prodotti fossero di volta in volta identificabili

Sostanza	Corrente, picaA
Uranio metallico carburato	<u>24</u>
Ossido di uranio U ₂ O ₅ (nero)	27
Ossido di uranio U ₃ O ₈ (nero)	18
Sali uranici di Na, K, NH ₄ (gialli)	12
UO ₂ (NO ₃) ₂ (giallo); U(SO ₄) ₂ (verde)	7
Calcolite artificiale (fosfato di U e Cu)	<u>9</u>
Calcolite naturale	<u>52</u>
Pechblenda (U ₃ O ₈ di varia provenienza)	16, 67 , 83

Tab. 1. Caratteristiche chimico-fisiche dell’acido malico



e separabili, sia allo scopo di caratterizzare chimicamente gli elementi ottenuti con elevato grado di purezza. Leggere inoltre alcuni passi di questa impresa epica scritti dalla stessa Marie Curie è senza dubbio di grande impatto emotivo per un adolescente.

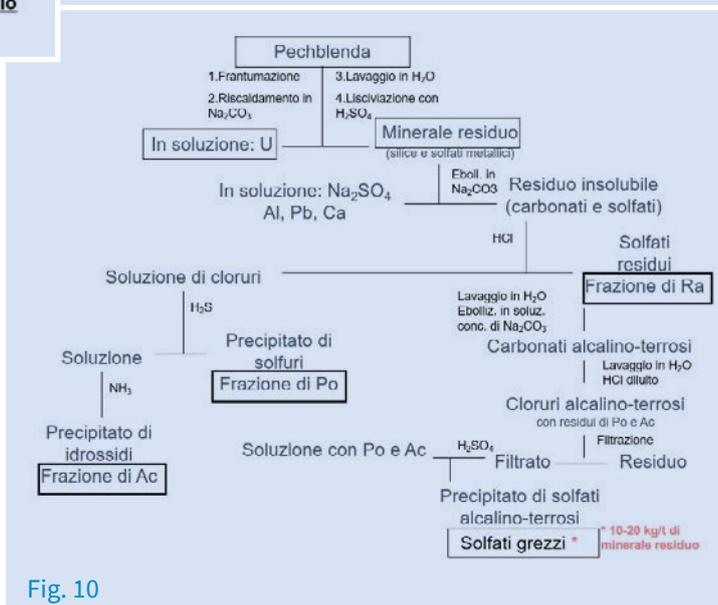
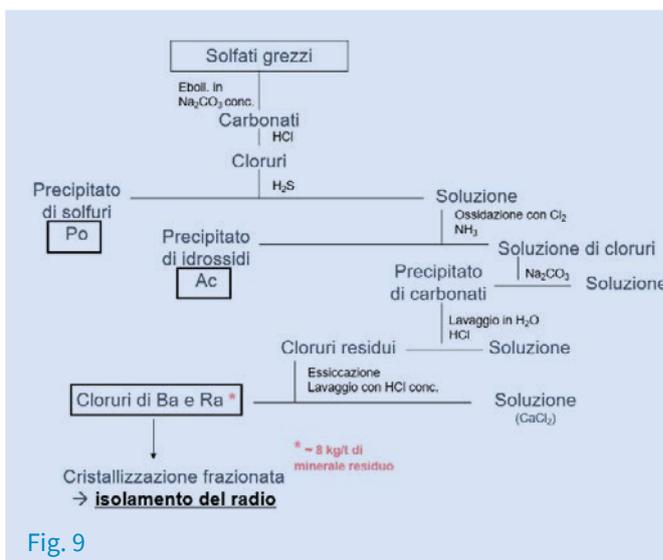
4.3 Determinazione di costanti

La determinazione del peso atomico di polonio (209 u), radio (226 u) e attinio (227 u) – e la loro conseguente collocazione nella tavola periodica – fornì la prova definitiva dell'attività come proprietà atomica, non come modalità di restituzione dell'energia catturata dall'atomo all'esterno. Il percorso può essere brevemente sintetizzato tramite la sequenza:

Misure tramite il metodo elettrico → Prime osservazioni e deduzioni → Impostazione del programma di ricerca → Scoperta di nuovi elementi → Conferma dell'ipotesi secondo la quale la radioattività è una proprietà atomica

L'unità di misura della radioattività è connessa ad un fenomeno ad essa strettamente legato: la disintegrazione dell'atomo.

Dopo la scoperta del radio, il percorso di ricerca fu suggellato anche da un punto di vista linguistico: i "raggi uranici", inizialmente assimilati a un "tipo invisibile di fosforescenza", furono successivamente indicati con il termine "radioattività", definita come la proprietà di alcuni elementi di emettere radiazioni in grado di attraversare corpi opachi alla luce ordinaria. Solo successivamente la radioattività cominciò ad essere associata alla disintegrazione atomica causata dall'espulsione di particelle dotate di massa, che può essere accompagnata dall'emissione di ra-



diazioni di elevata energia. Questo comportava la trasformazione di un elemento in un altro, constatazione che riportò in auge il termine "trasmutazione", il cui uso andò scemando probabilmente per la comprensibile necessità di evitare un linguaggio equivoco. Lo dimostra l'esclamazione del giovane Soddy in un laboratorio di fisica della McGill University in Quebec: "È trasmutazione: il torio si sta disintegrando e trasmutando in gas argon!", alla quale seguì la risposta di Rutherford: "Per carità, Soddy, non chiamarla trasmutazione. Altrimenti ci tagliamo la testa come alchimisti" [17].

Per unità di misura della radioattività dapprima venne adottato il curie (simbolo Ci), equivalente all'attività di un grammo dell'isotopo radio-226. Successivamente il curie è stato sostituito dal becquerel (Bq) nel Sistema Internazionale: 1 Ci = 37 GBq. Un Bq, misurato in s^{-1} , è definito come l'attività di un radionuclide che ha un decadimento al secondo.

5. Chimica occulta

L'euforia collettiva che seguì l'isolamento del radio generò comportamenti a dir poco imprudenti: l'elemento entrò a far parte di numerosi preparati farmaceutici e cosmetici, mentre l'acqua radioattiva gonfiò le casse di molte stazioni termali. Come per i raggi X, si assistette a una grande spettacolarizzazione: balletti teatrali erano eseguiti da danzatrici abbigliate con costumi resi fosforescenti da una tintura a base di radio, producendo suggestive figure luminose su un palcoscenico buio.

L'epopea dei Curie, in gran parte caratterizzata dalla concretezza dell'universo chimico, non smorzò certo l'attrazione per l'invisibile. Gli stessi Marie e Pierre conoscevano dei medium, e se il recente film *Radioactive*¹ evidenzia un certo scetticismo di lei, è anche vero che non si sottraeva alle sedute spiritiche proposte dal marito. Lo stesso linguaggio degli scienziati era a tratti "degno di un praticante rinascimentale di magia naturale" [5], come dimostrano le parole di Pierre Curie in occasione del conferimento del premio Nobel [18]: "Possiamo quindi porci il problema se l'umanità trarrà beneficio dall'apprendere i segreti della Natura, se sia pronta per giovarsene o se invece questa conoscenza non sia dannosa."

Qualche anno più tardi Soddy, richiamandosi al mito della pietra filosofale, osservava che questo racchiudeva due aspetti allegorici – l'elisir di lunga vita e le trasmutazioni dei metalli – direttamente correlati alle trasformazioni nucleari, viste come una fonte inesauribile di energia [19].

Tale revival del mito alchemico, considerato nei suoi aspetti premonitori degli sviluppi tecnologici resi possibili dalle ricerche in corso, ebbe come effetto collaterale la produzione di un libro a dir poco bizzarro come *"Occult chemistry"* (1908) [21], scritto da un improbabile duo di teosofi: Annie Besant (1847-1933), un'intraprendente attivista che succedette alla Blavatsky, e Charles Webster Leadbeater (1854-1934), un libertino più volte accusato di pedofilia [5]. Entrambi sostenevano di poter "vedere" gli atomi – composti da particelle chiamate "anu" a loro volta costituite di "etere" – grazie a tecniche di meditazione. Del radio, secondo gli autori di forma tetraedrica, erano riportate tre tavole che ne descrivevano alcune parti (Figure 11, 12 e 13) [20].

Il decadimento radioattivo era dovuto alla sfera centrale dell'elemento, la quale ruoterebbe a velocità talmente alta da formare un vortice che aspira par-

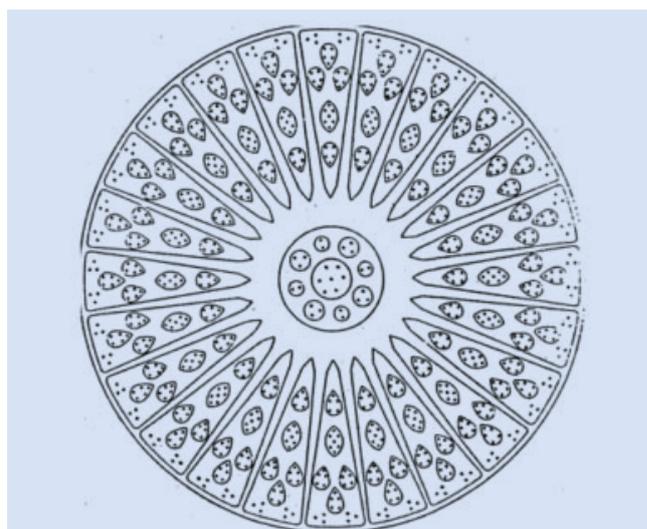


Fig. 11 TAV. XXII - Radio

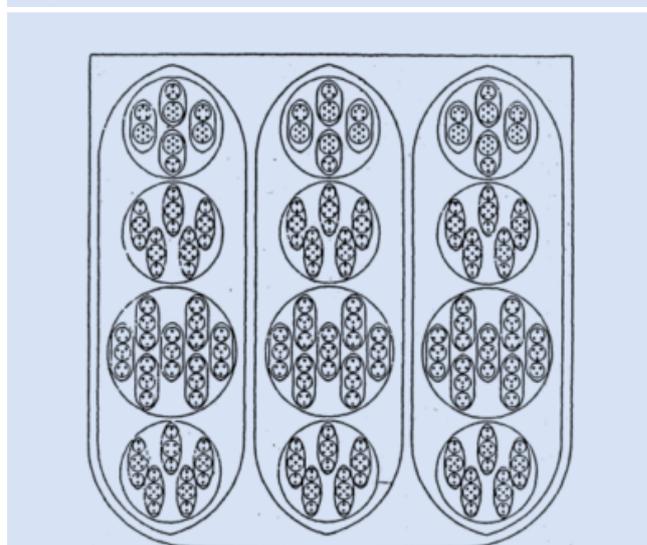


Fig. 12 TAV. XXIII - Radio

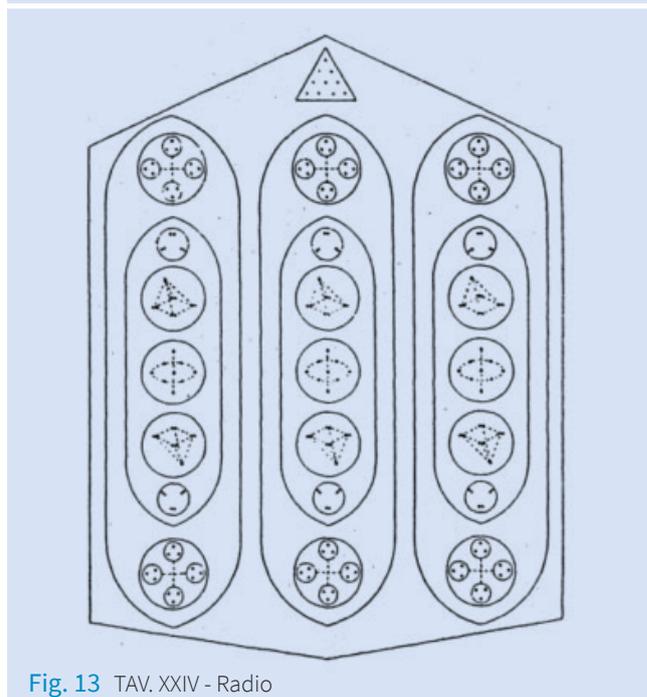


Fig. 13 TAV. XXIV - Radio

¹ *Radioactive*, regia di Marjane Satrapi; casa di produzione: StudioCanal, Working Title Films, Pioneer Stalking Films, Shoebox Films, 2019.

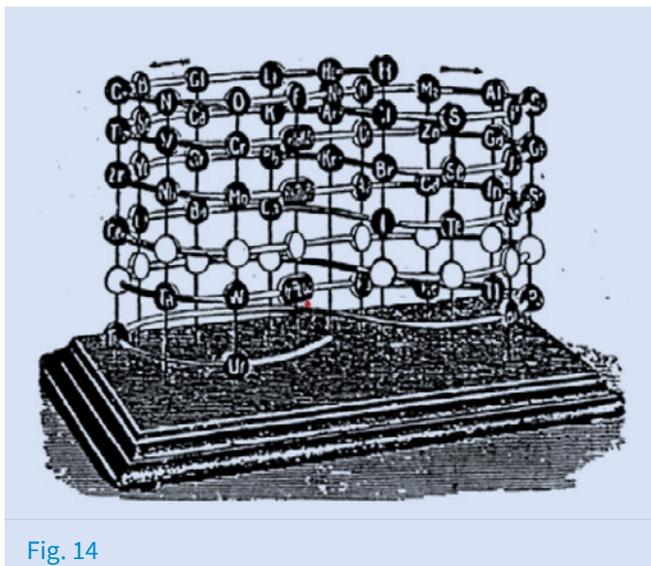


Fig. 14

ticelle dall'esterno poi lanciate fuori. Questo farebbe del radio un "vortice di energia creativa" (!). È evidente l'appartenenza dell'opera a un sottogenere di occultismo impregnato di elementi alchemici. Nel testo si sottolinea la collaborazione di William Crookes, menzionato ben 12 volte. Crookes avrebbe infatti fornito un diagramma di raggruppamento degli elementi che li raffigura disposti in successive "figure a otto" indicate come "lemniscate" (Figura 14).

I legami con la Società Teosofica non impedirono allo scienziato di rivestire la carica di Presidente della Royal Society di Londra dal 1913 al 1915.

6. Conclusioni

Un approccio storico-epistemologico dà senso e spessore culturale ai contenuti disciplinari, evidenziando come il tono spesso freddo dei libri di testo celi non solo la grande passione, ma anche le stranezze di coloro che si sono dedicati alla ricerca. La sequenza qui presentata è solo una fra le tante già disponibili sulla radiochimica, argomento di cruciale importanza per la sua fertilità didattica e per la sua intrinseca interdisciplinarietà. Questo breve excursus vuole solo fornire alcuni spunti – tra i moltissimi possibili – per un percorso storico che includa elementi non scientifici: analizzare anche il ruolo di aspetti oggi generalmente considerati irrazionali fornisce una chiave di lettura di tendenze sia passate che in corso, aiutando a interpretare lo spirito anti-scientifico oggi dominante in alcuni ambienti. ■

Riferimenti

- [1] E. Rutherford, F. Soddy, *Lond. Edinb. Dubl. Phil. Mag.*, 1903, **5**, 576-591.
 [2] G. Bruzzaniti, *Dal segno al nucleo. Saggio sulle origini della fisica nucleare*, Bollati Boringhieri, Torino, 1993.
 [3] S. Fuso, *Chim. Sc.*, 2007, **1**, 8-12.

- [4] G. P. Lolli, *Chim. Sc.*, 2007, **1**, 23-27.
 [5] P. Ball, *L'invisibile. Il fascino pericoloso di quel che non si vede*, Le Scienze, Roma, 2019.
 [6] M. Polidoro, *Viaggio tra gli spiriti*, SugarCo, Milano, 1995.
 [7] V. Vezzani, *Enciclopedia Italiana*, Treccani, Roma, 1930. https://www.treccani.it/enciclopedia/elena-petrovna-blavatsky_%28Enciclopedia-Italiana%29/ (ultima consultazione: 19/05/2022).
 [8] M. Curie, *Radioactive substances*, Dover Publications, Inc., Mineola, New York, 2002.
 [9] R. L. Wolke, *J. Chem. Educ.*, 1988, **65**, 561-573.
 [10] F. Turco, L. Cerruti., *Chim. Sc.*, 2000, **5**, 143-148.
 [11] B. Goldsmith, *Genio ossessivo. Il mondo interiore di Marie Curie*, Codice edizioni srl, Torino, 2006.
 [12] L. Cerruti, *Bella e potente. La Chimica dagli inizi del Novecento ai giorni nostri*, Editori Riuniti Univ. Press, Roma, 2016.
 [13] G. E. M. Jauncey, *Am. J. Phys.*, 1946, **14**, 226-241.
 [14] F. Turco, *Chim. Sc.*, 2000, **4**, 111-116.
 [15] H. F. Walton, *J. Chem. Educ.*, 1992, **69**, 10-15.
 [16] P. Cancellieri, E. Torracca, A. Turchi, in *Il laboratorio di scienze nella scuola media*, a cura di S. Caravita, G. Marucci, L. Kustermann, E. Torracca, Provveditorato agli Studi di Roma – Ufficio Studi e Programmazione, Roma, 1987, 55-71.
 [17] T. J. Trenn, *The self-splitting atom: the history of the Rutherford-Soddy collaboration*, Taylor and Francis, Londra, 1977.
 [18] P. Curie, Nobel Lecture, 6 giugno 1905. <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/pierre-curie-lecture.pdf> (ultima consultazione: 19/05/2022).
 [19] F. Soddy, *The interpretation of radium, and the structure of the atom*. Murray, Londra, 1920. <https://archive.org/details/interpretationof00sodduoft/page/78/mode/2up> (ultima consultazione in data 19/05/2022).
 [20] A. Besant, C. W. Leadbeater, *Chimica occulta: osservazione degli elementi chimici tramite la chiaroveggenza*, traduzione di M. L. Kirby, Edizioni Gnosi, Torino, 1921. <https://www.famigliafideus.com/wp-content/uploads/2019/08/CHIMICA-OCULTA-C.W.-Leadbeater.pdf> (ultima consultazione: 19/05/2022).

Maria Antonietta Carpentieri

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

Sandro Jurinovich

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

Valentina Domenici

Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa

✉ maria.carpentieri@phd.unipi.it

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

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

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

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

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

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

1. Introduzione

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Il "percorso dei percorsi"

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

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

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



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



Fig. 2 Spettroscopio didattico utilizzato nel percorso 1

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

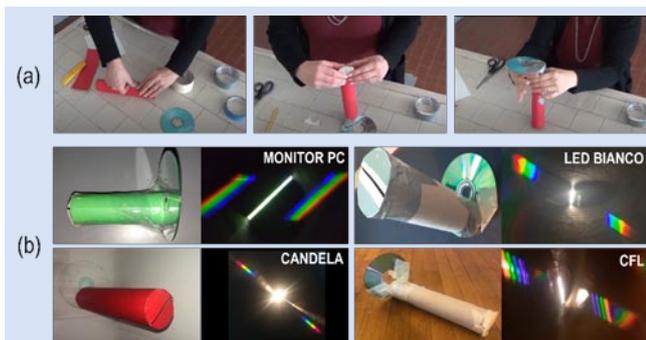


Fig. 3 (a) Costruzione dello spettroscopio domestico; (b) alcuni spettroscopi costruiti dagli studenti con relativa fotografia dell’osservazione di diverse sorgenti luminose (immagini tratte dal materiale didattico dei docenti che hanno sperimentato in classe il percorso 2)

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

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

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

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

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

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

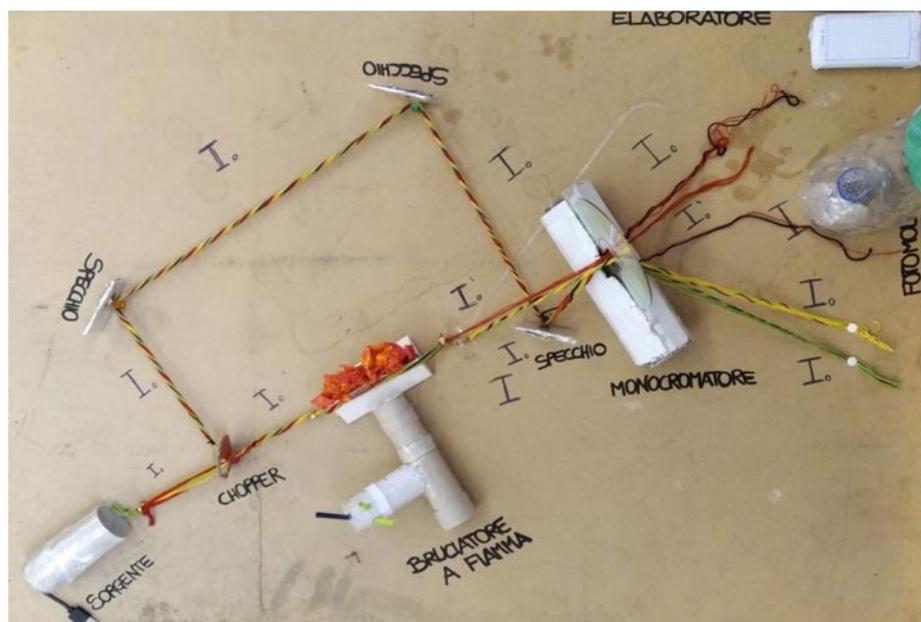


Fig. 4 Modellino di uno spettrometro di assorbimento atomico (immagine tratta dal materiale didattico del percorso 4)

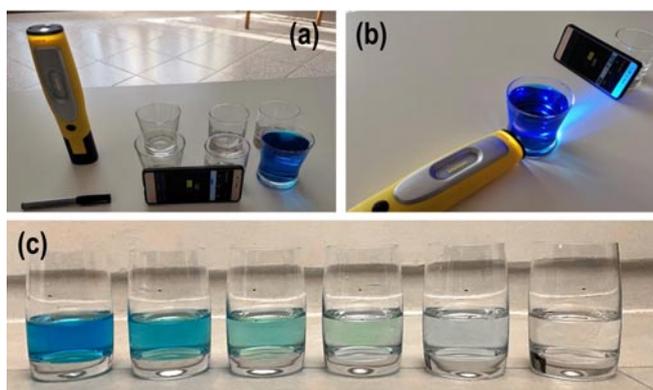


Fig. 5 Allestimento dell'esperimento per la misura dell'intensità della luce passante attraverso soluzioni colorate: (a) materiali utilizzati, (b) setting strumentale sorgente-campione-rivelatore, (c) soluzioni analizzate di colorante blu a diversa concentrazione (immagini tratte dal materiale didattico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

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

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

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

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

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

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

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

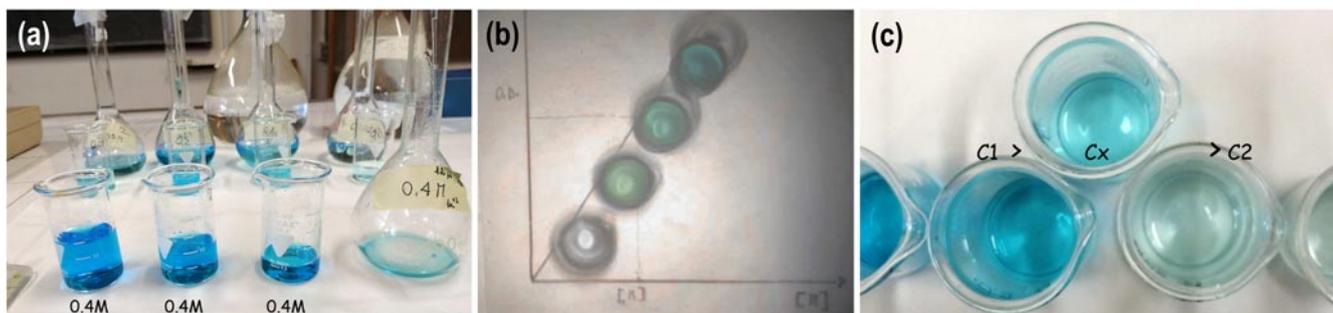


Fig. 6 (a) Soluzioni con la stessa concentrazione e diversa altezza di riempimento; (b) costruzione della retta visuale sulla lavagna luminosa con soluzioni con la stessa altezza di riempimento e diversa concentrazione; (c) inserimento della soluzione a concentrazione incognita tra le soluzioni con colorazione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

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

Anche in questo caso, può essere costruita una retta di taratura visuale (Figura 6b) che può essere utilizzata per valutare qualitativamente la concentrazione di un campione incognito, che può essere inserito per confronto visivo nell'intervallo corretto, cioè tra i due punti-becher più simili come colorazione (Figura 6c). A questo punto il **percorso 6** suggerisce un modo semplice e didatticamente efficace per dare una stima approssimativa della concentrazione incognita utilizzando la legge di Lambert-Beer: si aggiunge o si preleva un certo volume da una delle soluzioni note, per esempio C_1 o C_2 , fino ad ottenere lo stesso colore del campione incognito, si misurano i cammini ottici e si ricava la concentrazione incognita $C_x = (C_1 \times b_1) / b_x$. In effetti l'intensità del colore osservato non è direttamente proporzionale al cammino ottico o alla concentrazione, ma per i fini didattici di questo esperimento può essere fatta questa assunzione.

Nel **percorso 7** [17], realizzato nelle classi quarte nei Licei Scientifici "E. Majorana", "A. Labriola" e "San Giovanni Battista" di Roma, la spiegazione della legge di Lambert-Beer passa al piano microscopico: cosa succede "quantitativamente" alla luce che attraversa una soluzione contenente specie assorbenti?

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

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

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

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

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

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

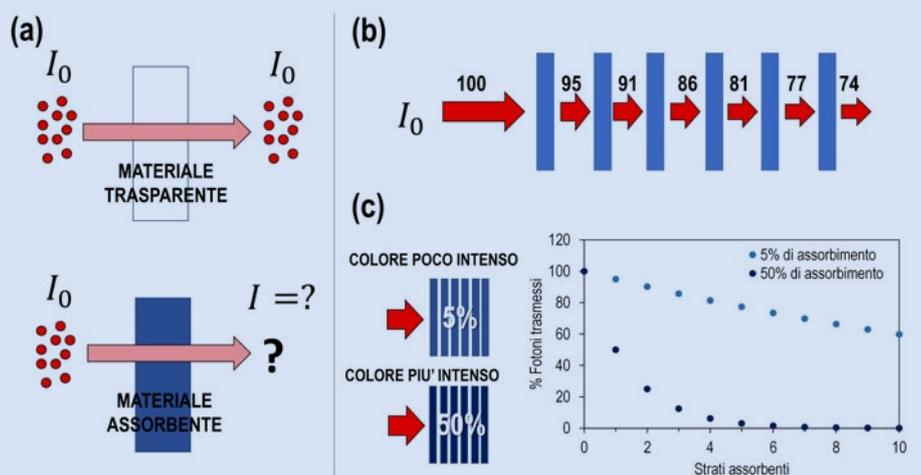
$$\log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right) = \varepsilon(\lambda) \times b \times C \quad (5)$$

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

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

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

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



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

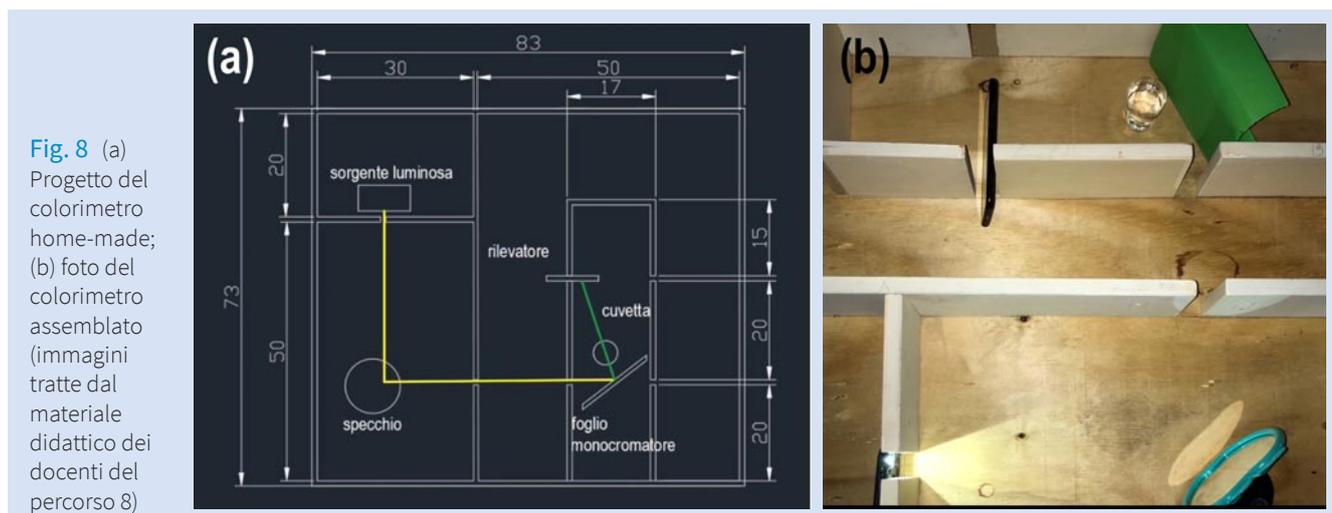
In un'altra parte del percorso si trattano gli aspetti qualitativi dell'assorbimento della luce. Dopo aver presentato brevemente agli studenti la teoria additiva e sottrattiva del colore si utilizza l'applicazione *ColorMeterFree* [18] che sfrutta la fotocamera dello smartphone per misurare "le componenti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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

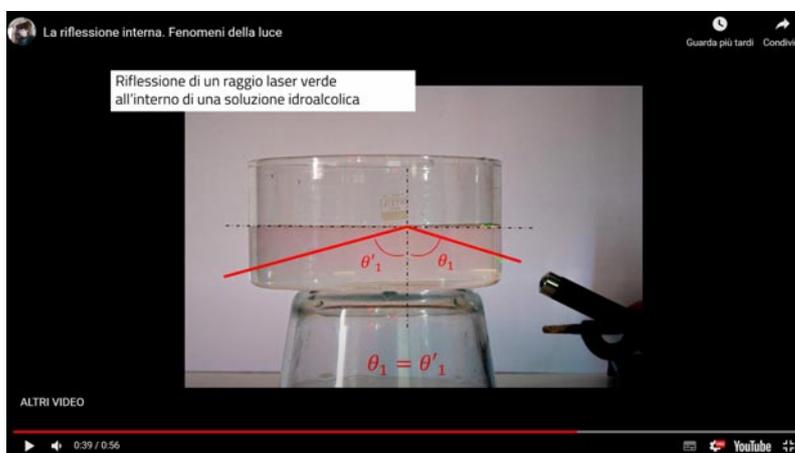
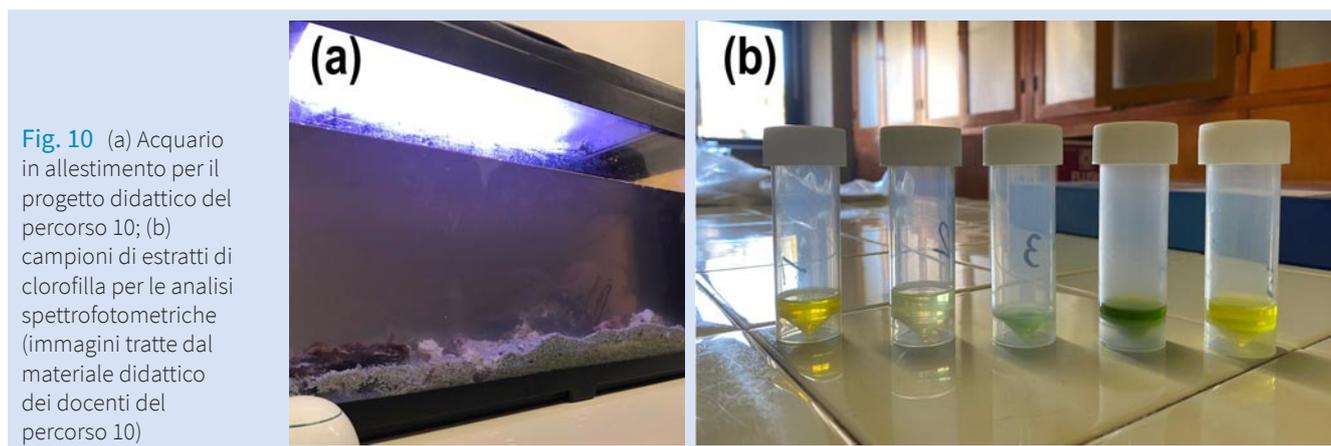


Fig. 9 Fotogramma tratto dal video sulla riflessione interna realizzato nel progetto #DADSPECTROSCOPY [21]



non è previsto lo studio della spettrofotometria nella programmazione curricolare.

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

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

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

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

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



3. Discussione

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

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

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

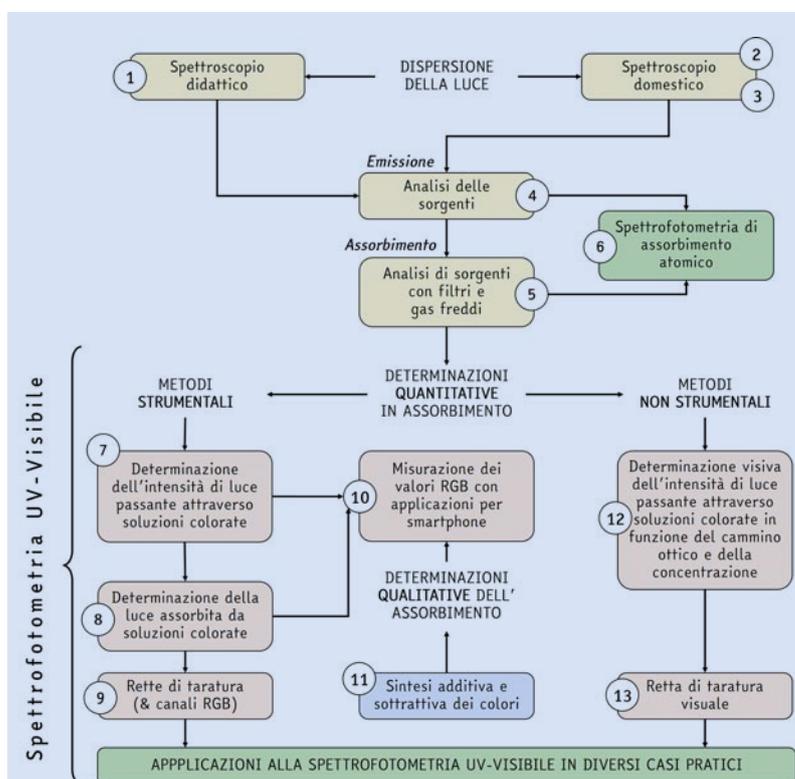


Fig. 12 Diagramma della sequenza didattica proposta a partire dall'analisi dei percorsi sviluppati dai gruppi di lavoro che hanno partecipato alla Scuola “Del Re”

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

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

4. Conclusioni

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

Ringraziamenti

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

Riferimenti

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

Luigi Campanella

Università di Roma La Sapienza

✉ luigi.campanella@uniroma1.it

Un Museo Multipolare della Strumentazione Scientifica Storica

Torno su una proposta che avevo già presentato e sulla quale ho ricevuto numerosi segnali di supporto. La Chimica è una disciplina a prevalente carattere induttivo della conoscenza, nella quale quindi l'esperienza gioca un ruolo determinante e con essa ha un notevole rilievo la strumentazione impiegata. Purtroppo, negli anni alcune rottamazioni, non sempre necessarie, hanno sacrificato strumenti di valore storico. Non finirò di ripetere che lo stesso argomento della mia tesi, affrontato oltre 50 anni fa utilizzando una strumentazione tipo armadio, viene oggi svolto con uno strumento tipo scatola di scarpe con evidenti vantaggi di spazio ed anche di qualità della misura. Però io vedevo dentro l'armadio e così avevo chiara percezione del relativo funzionamento, mentre oggi la scatola nera è inaccessibile e ciò che possiamo vedere è solo la risposta digitale.

Fortunatamente, per l'impegno di alcuni, alcuni strumenti storici sono stati salvati e si trovano dispersi nei nostri laboratori. Il valore culturale e didattico di queste strumentazioni è superiore a quello che viene comunemente percepito. La storia della nostra disciplina e la didattica, supportata dalle conoscenze del funzionamento delle strumentazioni più importanti, trovano base e supporto in queste apparecchiature.

La proposta è quella di creare da parte della SCI un *Museo Multipolare de la Strumentazione Scientifica Storica* che potrebbe articolarsi in un hub organizzativo, una sezione fotografica degli strumenti ancora esistenti e magari funzionanti, una sezione video ed una sezione informativo-descrittiva.

Relativamente alla parte la fotografica con Claudio Della Volpe avevamo già avviato una raccolta di immagini di sicuro interesse realizzate con l'aiuto di fotografi volontari del mio Dipartimento (Chimica di Sapienza, Roma) e che potrebbe rappresentare lo start point.

Faccio, inoltre, presente che il PNRR prevede investimenti nelle attività di promozione della cultura storica con la possibilità, quindi, di creare un Dipartimento Musei della Società Chimica Italiana, tenuto conto dell'altro progetto a cui si sta lavorando sulla Rete dei Musei di Chimica. ■



Renato Noto

Professore emerito di Chimica Organica dell'Università di Palermo

✉ renato.noto@unipa.it

Giuseppe Oddo: chimico “rivoluzionario” e “irriverente”

*Articolo dedicato alla memoria dell'amico Sergio Rosselli
a un anno dalla sua scomparsa*

RIASSUNTO Giuseppe Oddo possiamo considerarlo chimico “rivoluzionario” e “irriverente”. Rivoluzionario in quanto portò avanti posizioni radicalmente innovative rispetto a quelle tradizionali. Irriverente perché l'indipendenza culturale e il carattere spigoloso lo portarono anche a scontrarsi (a essere “irriverente”) nel corso degli anni con molti autorevoli colleghi. Il tratto che contraddistinse tutta l'attività di Oddo fu l'indipendenza culturale, la capacità di uscire da schemi preconfezionati non suoi e di proporre nuove interpretazioni e ipotesi suggestive. A Oddo si devono, tra l'altro, la prima struttura biciclica della canfora, la possibilità che l'atomo di idrogeno dividesse la sua valenza con altri due atomi (mesoidria), l'ipotesi che gas nobili come il Cripton e lo Xenon non fossero inerti e potessero formare composti.

ABSTRACT Giuseppe Oddo can be considered a “revolutionary” and “irreverent” chemist. He was considered “revolutionary” by the reason of he proposed radically innovative positions in relation to traditional ones as well as “irreverent” because of his cultural independence and irritable character also led him to collide with many influential colleagues over the years. The feature that distinguished Oddo's entire activity was his cultural independence, his ability to break out of pre-packaged schemes that were not his own and to put forward innovative proposals and suggestive hypotheses. Oddo's scientific output includes, among other things, the first bicyclic structure of camphor, the possibility that the hydrogen atom shared its valence with two other atoms (mesohydria) and, the hypothesis that noble gases such as Krypton and Xenon were not inert.

1. Premessa

Giuseppe Oddo fu esponente della scuola chimica creata da Cannizzaro a Palermo nella seconda metà del secolo diciannovesimo che vide protagonisti diversi chimici (Emanuele Paternò di Sessa, Agostino Oglialoro-Todaro, Michele Fileti, Girolamo Mazzara, Giuseppe Oddo, Pietro Spica Marcataio); questi formati nell'Ateneo della città svolsero la loro attività didattica e scientifica in altri Atenei della penisola e contribuirono alla formazione di diversi eccellenti chimici.

La scuola che con Cannizzaro ebbe un respiro internazionale (Adolf Lieben, Albert Naquet, Wilhelm Körner), vide in Paternò, dopo il trasferimento di Cannizzaro a Roma, un brillante erede che seppe mantenerla protagonista a livello nazionale. Oddo, allievo di Paternò, contribuì all'affermazione in ambito nazionale della scuola, soprattutto attraverso i suoi allievi Ernesto Puxeddu, Efsio Mameli e il fratello Bernardo.

2. Note biografiche

Oddo nacque nel 1865 a Caltavuturo (PA), comune madonita con meno di 5000 abitanti e distante circa 80 km da Palermo. Era il secondo di dieci figli l'ultimo dei quali, Bernardo fu suo allievo. Il padre Antonino era medico la madre si chiamava Giuseppa Comella. Terminati gli studi classici, scelse il corso di studi per la laurea in medicina; all'esame di chimica al primo anno, Paternò lo invitò a frequentare i laboratori di chimica dell'Università; al terzo anno lo volle con sé quale assistente. Si laureò in Chimica con lode a Palermo nell'A. A. 1889/90 e successivamente (1891/92) conseguì con pieni voti pure la laurea in Medicina. Nell'A. A. 1890/91, come riportato nell'Annuario dell'Università, era preparatore presso l'Istituto

di Chimica Generale diretto da Paternò, nell'anno successivo era Privato docente presso l'Ateneo palermitano. Comandato a Roma, per lavorare nuovamente con Paternò, dal gennaio 1896 all'agosto dell'anno successivo. Nel 1898 fu chiamato dall'Università di Cagliari a ricoprire la cattedra di Chimica Generale. Nel 1905 decise di spostarsi dalla sede di Cagliari e partecipò al concorso come straordinario all'Università di Pavia, decisione che comportò di fatto una momentanea retrocessione nel suo status universitario. Nel 1917 scambiò con Giorgio Errera la cattedra di Chimica e così a decorrere dal dicembre 1917 tornò a Palermo. Nel 1935 fu collocato a riposo per raggiunti limiti di età, nel 1943 fu richiamato in servizio e vi rimase fino al 1948. Cessò di vivere nel 1954 [1].

3. L'attività scientifica e accademica

Il dispotismo della consuetudine è ovunque una barriera eretta contro il progresso umano

John Stuart Mill

Per quel che riguarda l'attività scientifica di Oddo, il primo lavoro di notevole rilievo fu la determinazione della costituzione della canfora [2]; tale argomento, era allora di grande attualità, e vedeva impegnati parecchi chimici illustri. Oddo, sulla base dei dati presenti in letteratura (a suo dire esaminando più di cinquecento memorie originali), propose una struttura biciclica, due anelli esagonali uniti in posizione meta, ben diversa da quella di chetone ciclico avanzata da Friedrich August Kekulé.

L'essersi permesso, così giovane (ventiseienne), di correggere Kekulé gli valse un rimprovero da parte di Cannizzaro che stigmatizzò il suo ardire [1]. Una critica ben più dura la ricevette da Giacomo Ciamician [1] (altro eminente allievo di Cannizzaro), il quale riteneva impossibile la struttura proposta da Oddo. L'osservazione di Ciamician: "Ma non sa lei che due nuclei uniti in posizione meta non possono esistere?" si rivelò successivamente inesatta. La struttura di Oddo per certi versi anticipava quella esatta proposta,

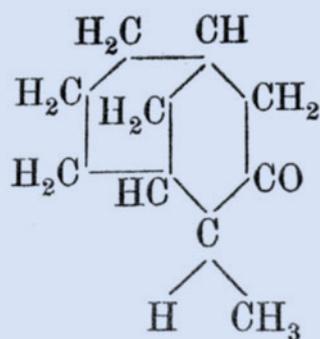


Fig. 1 Struttura biciclica della canfora proposta da Oddo

da lì a poco da, Julius Brecht [3]. Oddo riteneva che il suo contributo fosse stato così determinante per la soluzione del problema da riferirsi alla struttura della canfora come "formola (Oddo-Brecht 1891-93)" piuttosto che Kekulé-Brecht [4]. Il mancato riconoscimento da parte della comunità scientifica lo amareggiò fortemente e come scrisse il suo allievo Efisio Mameli "Oddo si mostrò troppo esigente nel pretendere che il suo nome fosse associato a quello di Brecht nella formula definitiva" [5].

A Cagliari iniziò i lavori di crioscopia le cui potenzialità erano state messe in risalto da Paternò. In quest'ambito iniziò usando come solvente l'ossicloruro di fosforo e dando un significativo contributo alle conoscenze sia delle proprietà di tale composto sia della natura delle sostanze disciolte [6]. Di notevole interesse risultarono anche gli studi circa lo stato delle sostanze disciolte in acido solforico condotti con misure crioscopiche [7]. Per tali lavori si trovò polemicamente contrapposto ad Arthur Hantzsch. I due determinarono differenti valori della costante crioscopica dell'acido solforico e in vari casi non si trovarono in accordo sul numero delle specie chimiche presenti in soluzione [7]. L'aspra polemica coinvolse Wilhelm Ostwald che fu accusato da Oddo [8] di avere, nella sua veste di editore della *Zeitschrift für physikalische Chemie*, rallentato la pubblicazione di una sua memoria al fine di permettere ad Hantzsch di prenderne visione per correggere e pubblicare dei dati che Oddo contestava.

Oddo nel 1906 pubblicò un lavoro sulla sintesi degli aza-eugenoli [9]; per tali composti la sostituzione di un atomo di idrogeno portava a due differenti derivati. Questo comportamento era identico a quello che si osservava, ad esempio, per l'acido cianidrico, che per sostituzione dell'idrogeno dava luogo a nitrili o isonitrili, o per l'acido cianico, con formazione di cianati e isocianati. In quegli anni, le strutture assegnate ai composti erano considerate strutture decisamente rigide, la sostituzione di un atomo o un gruppo con un altro non poteva comportare una variazione strutturale. Il gruppo o atomo entrante doveva necessariamente prendere il posto del gruppo o atomo uscente. Nel 1907, traendo spunto dai lavori citati, Oddo pubblicò la prima memoria riguardante "una nuova ipotesi strutturistica" [10], che portava al superamento dello "esclusivismo rigido delle formole strutturistiche di Kekulé" e ad "ammettere che come i corpi celesti, così pure gli atomi risentono più o meno l'attrazione di tutti gli atomi vicini;...", alla suddetta ipotesi l'autore diede il nome di mesoidria: "...un atomo di idrogeno, trovandosi vicino a due elementi polivalenti, possa dividere tra essi la sua valenza, assumendo posizione

di equilibrio stabile mediana..."; In un lavoro successivo Oddo scriveva: "...la forza d'affinità tra gli atomi, o valenza, si divide come quella d'attrazione universale; ed alcune particelle d'idrogeno, più specialmente, possono oscillare tra posizioni opposte, col variare degli impulsi. Pertanto i sistemi vibratorii forniti dagli elettroni dentro gli atomi vengono a rappresentare la continuazione di quelli degli atomi dentro le molecole, con meccanismi uguali" [11]. Oddo sembra intuire l'esistenza di un'intima connessione fra la capacità di un atomo di combinarsi con altri atomi (valenza), le proprietà elettroniche degli atomi e la struttura elettronica delle molecole. È opportuno ricordare che la formulazione del modello atomico di Ernest Rutherford è del 1911 e che Gilbert Newton Lewis espone il concetto di legame chimico come condivisione di elettroni solo nel 1916.

La mesoidria in qualche modo anticipava i concetti di legame a idrogeno e di mesomeria. Tale ipotesi strutturalistica serviva a spiegare l'ottenimento di una coppia di isomeri (nitrili/isonitrili, cianati/isocianati) a partire da un unico composto e come questo si riottenesse a partire da ciascun membro della coppia. Secondo Oddo la mesoidria spiegava sia la non facile dissociazione degli acidi carbossilici, sia che, per ogni polipeptide, era stata isolata una sola forma cristallina. Nel caso degli acidi carbossilici, l'atomo di idrogeno contemporaneamente legato ai due atomi di ossigeno non era ionizzabile, *"In soluzione acquosa in parte si idrolizzano dando origine al vero carbossile ionizzabile e perciò conducono per quanto si idrolizzano ..."* [11]. Inoltre, lo sdoppiamento della valenza su cui si basava la mesoidria permetteva di scrivere strutture per il benzene e per il naftalene con la quarta valenza del carbonio delocalizzata. Tali strutture anticipavano quelle che oggi sono accettate e indicate come strutture con gli elettroni p delocalizzati. La mesoidria, che è considerata anticipare il concetto di legame a idrogeno [1], venne accettata da H. Kauffmann (1907) per interpretare le variazioni di colore dei sali organici. Successivamente Kauffmann ne cambiò il nome in *valenzlinien* e la ripropose come sua. Ciò indusse K. Gebhard (1911) a far riferimento a Kauffmann piuttosto che a Oddo in un lavoro in cui propose strutture simili a quelle mesoidriche di Oddo. Gebhard rispose (1912) a Oddo, che gli aveva fatto pervenire una lettera privata in cui ripristinava la "verità", in questo modo: *"Stimatissimo sig. Professore, ringraziamenti sentiti per il gentile invito della di Lei pubblicazione "Sulla Mesoidria". Disgraziatamente io non conosco l'italiano, però osservo dalle formole che Ella è pervenuta ad una conclusione del tutto eguale alla mia*

che contemporaneamente mi permetto inviarle. Appena avrò un po' più di tempo cercherò con l'aiuto di un dizionario di pigliare più esatta conoscenza della di Lei interessante pubblicazione" [10b].

La fantasia e l'interesse per la chimica nei suoi vari aspetti portò Oddo, a ipotizzare nel 1902 (vedi corrispondenza con William Ramsay scopritore dei gas nobili), trent'anni prima dell'ottenimento di un derivato del cripton, che i gas nobili, con più alto peso atomico, potessero combinarsi con altri elementi. *"... l'elio, il neon, l'argon debbono mostrare rigidamente valenza zero, caratteristica del loro gruppo; il cripton invece deve incominciare a manifestare una certa valenza, cioè una certa tendenza a combinarsi; e più decisamente deve prestarsi alle combinazioni lo xenon, ..."* [12].

Nel 1914, Oddo prendendo spunto dalla radioattività degli atomi e principalmente dall'emissione delle particelle alfa (elioni) scriveva: *"Gli atomi quindi non sono acini, come l'immaginano oggi i fisici; bensì anch'essi grappoli ... di atomi più piccoli Fa parte poi di tutti gli elementi radioattivi l'elio"* [11]. Per gli elementi non radioattivi osservava che, dei venti oltre l'idrogeno, più frequenti nella crosta terrestre, il peso atomico era multiplo di quattro (peso atomico dell'elio). Oddo concludeva che anche gli atomi non radioattivi, in gran parte, potevano considerarsi come termini stabili di condensazione di atomi di elio. Ciò lo portò a enunciare la cosiddetta "legge del 4" (conosciuta oggi come regola di Oddo-Harkins) [13].

Oddo, con lo stesso spirito che l'aveva indotto a interessarsi della struttura della canfora, nel tentativo di riorganizzare quanto era conosciuto e nella convinzione di razionalizzare i dati allora a disposizione della comunità scientifica, propose, nel 1920, una nuova classificazione periodica degli elementi. Nella rappresentazione di Oddo la colonna degli elementi *zerovalenti*, posta al centro della Tavola, separava i metalloidi, posti a sinistra, dai metalli posti a destra. *"La classificazione periodica che propongo ci ha permesso di separare nettamente metalloidi e metalli, trovare posto sufficiente e razionale ora e per l'avvenire per tutti i metalli delle terre rare o gli elementi radioattivi; ..."* [14].

Nel periodo palermitano Oddo si dedicò fra l'altro alla stesura dei libri di testo destinati ai suoi corsi: nel 1925 venne pubblicato il trattato di Chimica Generale e Inorganica (seconda edizione stampata nel 1931) e nel 1930 il trattato di Chimica Organica. Inoltre, si dovette fare carico di predisporre il trasferimento dell'Istituto di Chimica da via Maqueda a via Archirafi. Oddo tentò in vario modo di opporsi a tale trasferimento non riuscendovi. Malgrado ciò

mise a disposizione la sua competenza e un notevole impegno per poter adeguare i locali a ospitare un istituto chimico. Purtroppo, come già accennato, a Palermo Oddo non trovò le condizioni e l'ambiente adatto per alimentare la gloriosa tradizione della scuola chimica palermitana, così alla fine della carriera i suoi allievi di maggior rilievo rimasero quelli formati fra Cagliari e Pavia.

Oddo non rivolse la sua attenzione solamente alla chimica accademica; si interessò anche alle applicazioni della chimica e ritenne indispensabile l'impegno dei chimici a sostegno dello sviluppo industriale nazionale [15]. L'impegno alla soluzione di problemi pratici lo indusse a interessarsi all'impiego dello zolfo siciliano per la fabbricazione industriale dell'acido solforico, allo sfruttamento industriale di un giacimento in territorio di Caltanissetta di sali solubili di sodio, magnesio e potassio. Secondo Paoloni [15], Oddo scelse di tornare a Palermo per sostenere questa iniziativa. Oddo condusse pure una sperimentazione per l'estrazione del saccarosio dalle carrubbe con l'obiettivo di valorizzare una coltivazione marginale attraverso l'impiego nell'industria agraria. L'attenzione che Oddo rivolse a temi di carattere tecnico lo portarono a progettare un solfmetro, a brevettare un tipo di filtro per maschere antigas, a proporre un apparecchio per misure crioscopiche.

4. Oddo polemist

Nel corso della sua vita accademica Oddo ebbe a polemizzare e scontrarsi con altri ricercatori, con colleghi, con le gerarchie accademiche, col mondo politico.

Il rapporto di Oddo con le gerarchie accademiche e mondo politico non fu mai semplice. A Pavia, appena trasferito, protestò per le condizioni del laboratorio e arrivò a chiuderlo, coinvolgendo gli studenti, "per mancanza di mezzi e di personale". La sua azione da un lato comportò un aumento della dotazione e un posto di tecnico, dall'altro una nota di deplorazione da parte del Ministro [15].

A Palermo entrò in contrasto con il suo aiuto Emanuele Oliveri-Mandalà e ne chiese la destituzione; presumibilmente la richiesta nasceva anche da una diversa posizione rispetto al regime fascista a cui Oliveri-Mandalà aveva aderito, mentre Oddo era apertamente contrario. Il Ministro rifiutò di destituire l'aiuto e Oddo venne biasimato dal ministro per mancanza di serenità [15].

Oddo ricevette un'altra lettera di biasimo da parte del Ministro a seguito delle accuse, rivolte al direttore amministrativo, di connivenza con la ditta appaltatrice

dei lavori per il trasferimento dell'istituto chimico in Via Archirafi [15].

In diverse occasioni Oddo ebbe a denunciare le Accademie scientifiche: "Bisognerà quindi togliere i poteri alle Accademie se si vuole che la scienza italiana rientri nei confini della nazione e diventi utile al paese. Che sia tolto ad esse subito il diritto a conferire l'eleggibilità al Senato dopo trascorsi alcuni anni di nomina a socio". In un intervento del 1916 ebbe a dire: "... Il gruppo dominante dei miei Colleghi ..., ha potuto esercitarsi come ha voluto e creduto nel giudicare l'opera scientifica mia e dei miei discepoli Al contrario nessuna occasione ufficiale mi ha permesso finora di far sancire in un verbale che cosa ne pensi io dell'opera di tali insigni Colleghi e di quella dei loro discepoli" [16].

L'11 dicembre 1918 tenne a Palermo la lezione inaugurale dell'anno accademico. appena iniziato che ebbe come argomento: "La chimica nella guerra e nel dopo guerra". Oddo, considerando l'indubbia qualità dell'industria chimica tedesca, prevedeva una forte ripresa economica del Paese vinto. Ben altra era la valutazione per l'industria chimica italiana: "... fabbriche ... rivendite di merce ritirata dall'estero ...". Oddo attribuiva lo sviluppo dell'industria chimica tedesca al ruolo svolto da Justus von Liebig la cui "opera diventò veramente originale e grande (fu) nell'aver diretto la sua mente anche allo studio di problemi che più interessavano la vita della sua nazione ...". Le polemiche che aveva avuto con chimici tedeschi (Hantzsch, Ostwald), il mancato riconoscimento ricevuto per le sue idee da altri chimici tedeschi (Bredt, Kauffmann) lo portarono, nel corso del suo discorso, a essere molto duro nei confronti dei tedeschi e della Germania. Infatti, se per un verso citava l'esperienza tedesca come un esempio da seguire, per un altro, non risparmiava critiche ai ricercatori tedeschi e alla Germania "dove le nuove speculazioni e scoperte altrui sono state sollecitamente raccolte, appropriate, utilizzate". Ad esempio, Augustus Wilhelm von Hoffmann chiamato a insegnare a Londra "rimase più tedesco di prima". "E quando tra una gentilezza e l'altra, da cui veniva circondato, ebbe appreso bene da (William) Perkin l'arte di fabbricare i colori; quando vide spuntare l'alba dei colori sintetici, si affrettò a ritornare con tutti i suoi discepoli connazionali in Germania, ad insegnare come quei colori industrialmente si producano, come se ne possono trafugare i segreti nei brevetti delle altre nazioni." [16].

Nel 1935 Oddo venne collocato a riposo a seguito di un provvedimento legislativo, dello stesso anno, che anticipava il collocamento a riposo dei professori universitari al raggiungimento del settantesimo

anno di età. Il provvedimento, che aveva l'obiettivo di eliminare l'influenza dei docenti di formazione liberale, fu vissuto da Oddo come persecuzione personale e lo amareggiò al punto di rifiutare ogni formalità di saluto e lo portò a non mettere più piede nell'Istituto realizzato col suo notevole impegno.

5. Conclusione

Quello che può essere considerato il tratto che accomuna tutta l'attività di Oddo è l'indipendenza culturale, la capacità di uscire da schemi preconfezionati non suoi e di proporre nuove interpretazioni e ipotesi suggestive. *La figura e il ruolo che Giuseppe Oddo ebbe nella chimica palermitana sono paragonabili a quelli che vi aveva avuto Cannizzaro nel secolo precedente* [17]. Pur non condividendo appieno quest'ultima affermazione di Paoloni sono dell'opinione che, al pari dei suoi illustri predecessori, Cannizzaro e Paternò, ebbe una visione globale della chimica e non ebbe timore di interpretare i dati sperimentali disponibili secondo ipotesi del tutto nuove non dettate "da preconcorso entusiasmo per un'ipotesi anziché per un'altra" [4].

Morì a Palermo il 5 novembre 1954. ■

Riferimenti

- [1] G. Trainito, *Discorso commemorativo in memoria di G. Oddo*, in *La Chimica Italiana*, (G. Scorrano Ed.), Società Chimica Italiana, 2008, 401-402.
- [2] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1891, **21**, 505-559.
- [3] J. Brecht, *Berichte*, 1893, **26**, 3047-3057.
- [4] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1911, **41**, 126-131; *Trattato di Chimica Organica*, seconda edizione, Palermo 1948, 817.
- [5] E. Mameli, *L'attività didattica e scientifica di G. Oddo*, in *La Chimica Italiana*, (G. Scorrano Ed.), Società Chimica Italiana, 2008, 402-407.
- [6] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1901, **31**, 138-145.
- [7] G. Oddo, E. Scandola, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1908, **38**, 603-617; *ibidem*, 1909, **39**, 1-47; *ibidem*, 1909, **39**, 569-584.
- [8] G. Oddo, E. Scandola, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1910, **40**, 163-209.
- [9] G. Oddo, E. Puxeddu, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1906, **36**, 1-48.
- [10] (a) G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1907, **37**, 83-105; (b) *ibidem*, 1922, **52**, 42-56.
- [11] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1914, **44**, 200-218.
- [12] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1933, **63**, 380-395.
- [13] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1914, **44**, 219-235; *ibidem*, 1933, **63**, 355-380.
- [14] G. Oddo, *Gazzetta Chimica Italiana*, 1920, **50**, 213-245; *ibidem*, 1925, **55**, 149-184; R. Zingales, Relazione presentata al Simposio "Il sistema periodico da Mendeleev a Levi" Napoli, 10 maggio 2019, pp. 45-62.
- [15] L. Paoloni, *I progetti di Giuseppe Oddo (1865-1954) per lo sviluppo dell'industria chimica in Sicilia*, VII Convegno Nazionale di "Storia e Fondamenti della Chimica" L'Aquila, 8-11 ottobre 1977, in *Rendiconti della Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL*, (F. Calascibetta, Ed.), serie V, vol. XXI, parte II, tomo II, 1997, pp. 371-390.
- [16] G. Oddo, *Discorsi pronunciati durante la permanenza nelle R. Università di Cagliari, Pavia e Palermo*. Raccolta dei testi originali 1898-1928 legati in volume. Dono autografo, 27 luglio 1935, conservato nella Biblioteca Storica del Dipartimento di Fisica e Chimica "E. Segrè", Università di Palermo.
- [17] L. Paoloni, *La Chimica*, in P. Nastasi, *Seminario di Storia della Scienza, Quaderno n. 7*, Maggio 1998, Facoltà di Scienze, Università di Palermo, pp. 41-117.

Giovanni Polisena

neolaureato in Scienze filosofiche all'università di Bologna.

✉ giovanni.polisena@studio.unibo.it

Articolo tratto da tesi di laurea: Polisena Giovanni, *La scuola di oggi e il mondo di domani. Insegnamento delle scienze, storia e STS*, Bologna, Università di Bologna, 2022.

La scuola di oggi e il mondo di domani

Insegnamento delle scienze, storia e studi della scienza (STS)

RIASSUNTO Lo specialismo scientifico è inevitabile, ma non in ambito didattico. L'approccio degli studi su scienza, tecnologia e società (STS) insieme con la storia della scienza possono consegnare agli studenti e alle studentesse le competenze per affrontare le complessità della società. L'introduzione di questo approccio didattico nelle scuole secondarie di secondo grado potrebbe rappresentare il tassello unificante che manca ai curricula scientifici sempre più frastagliati. A scuola è importante educare gli studenti e le studentesse a dibattere dei valori scientifici, poiché sono quest'ultimi che determineranno le scelte politiche e le visioni sociali di domani.

ABSTRACT Scientific specialism is inevitable, but not in the field of teaching. Science, technology and society (STS) studies' approach along with the history of science can equip students with the skills to face the complexities of society. The introduction of this teaching approach within upper secondary schools could represent the unifying element missing from the increasingly jagged scientific curricula. At school, it is important to educate students to debate scientific values, because these will determine the political choices and social visions of tomorrow.

1. Introduzione

L'emergenza sanitaria da COVID-19 ha mostrato tanto la forza quanto le debolezze e le difficoltà della scienza contemporanea. Se da un lato la risposta alla pandemia è stata rapida, a fronte di un dispendio economico mai visto prima, dall'altro lato, aspetti come infodemia e fobocrazia rivelano un quadro scientifico e sociale complesso [1]. Comprendere che la scienza ha bisogno non solo di scienziati e scienziate, ma anche di un pubblico

preparato è il primo passo da compiere per rivedere gli obiettivi, gli strumenti e soprattutto i valori che un'educazione scientifica all'avanguardia dovrebbe promuovere.

Gli studi sociali della scienza, emersi tra gli anni Sessanta e Settanta, rivalutano l'idea di scienza come pratica che si sviluppa sotto la dimensione intellettuale e speculativa [2]. L'attività scientifica influenza ed è influenzata costantemente da fattori sociali, tecnologici, economici, politici e culturali [3]. Gli approcci didattici STS – *Science, Technology and Society* – si sviluppano cercando di portare gli studenti e le studentesse all'interno di questa rete di relazioni [4]. Non si può più pensare che la scienza 'vera' finisca superate le porte di un laboratorio. In questo senso, non solo i rapporti scientifici diventano sempre più complessi, ma anche i confini scientifici sempre più sfumati. Dove finiscono la politica e l'economia ed inizia la scienza? La pandemia ha mostrato come cercare una linea di demarcazione netta sia un compito difficile, in virtù della stretta collaborazione che investe questi campi. Affrontare le complessità della società non significa accontentarsi di una scienza 'confezionata', ma seguire gli sviluppi intricati che i rapporti scientifici disegnano. Un'educazione scientifica, che guardi al futuro della società senza doverla rincorrere, deve dare la possibilità agli studenti e alle studentesse di dibattere dei valori che caratterizzano l'attività scientifica. Sviluppare una didattica che affronti questioni come la differenza tra scienza pronta all'uso e scienza in costruzione, o in che modo il contesto influenza la genesi e lo sviluppo di un fatto scientifico e viceversa può essere un modo con cui insegnare un volto ancora sconosciuto

della pratica scientifica. L'approccio STS alla storia e allo studio della scienza, se strutturato attraverso un'attenta collaborazione tra più insegnanti e una rivalutazione dei metodi di insegnamento, potrebbe promuovere lo sviluppo di competenze necessarie per affrontare le difficoltà della società di domani.

2. Uno sguardo al sistema scolastico italiano

I report PISA – *Program for International Student Assessment* – segnalano che i risultati ottenuti dagli studenti e dalle studentesse italiane nei test scientifici dal 2006 al 2018 sono costantemente sotto la media OECD – *Organisation for Economic Co-operation and Development* [5]. In Italia, 3 studenti su 4 dimostrano di possedere almeno il livello base di competenza scientifica. Tuttavia, si presentano differenze sostanziali, in primo luogo, tra Nord e Sud: nel Nord, infatti, sono più dell'80% gli studenti e le studentesse che raggiungono il livello minimo di competenza, mentre nel Sud coloro che non lo raggiungono sono più di un terzo. In secondo luogo, è l'istituto frequentato a determinare importanti differenze: “La maggioranza degli studenti che studiano in Istituti professionali (58%) o frequentano Centri di Formazione professionale (55%) non raggiunge il livello base di competenza, mentre tale percentuale scende al 12% nei Licei” [5]. In relazione a questi dati è anche importante ricordare che l'Italia si posiziona, tra gli stati dell'Unione Europea, al penultimo posto per numero di laureati [6]. Non è solo l'investimento tra i più bassi in Europa nel settore educativo terziario a determinare lo scarso numero di laureati in Italia, ma anche una bassa mobilità intergenerazionale [7].

Un ulteriore dato di cui è importante tenere conto lo offre il report Eurydice del 2011 che analizza le attività raccomandate nei Paesi europei per lo studio delle scienze a scuola [8]. Nella scuola primaria italiana, le attività raccomandate rispetto alle quindici proposte sono solamente due: *fare osservazioni scientifiche e formulare potenziali spiegazioni*. Nella scuola secondaria di primo grado, invece, le attività raccomandate salgono ad otto su quindici. In tutti e due i casi, l'insegnamento delle scienze in Italia si avvale di pochissimi strumenti rispetto alla possibilità formativa e didattica europea. È particolarmente preoccupante la poca attenzione data alle tre macro-aree relative a *discussioni e argomentazioni, lavoro di progetto e uso di specifiche applicazioni TIC* (Tecnologie dell'Informazione e della Comunicazione).

Uno studio del IRPPS-CNR – *Istituto di ricerche sulla popolazione e le politiche sociali* – mostra che solo il 30% degli studenti e delle studentesse in-

tervistate ritiene che lo studio delle scienze così come viene fatto a scuola sia utile nella vita di tutti i giorni [9]. Manca, quindi, un consapevole rapporto con la realtà, eppure nel mondo di oggi ogni persona è influenzata dalla scienza e viceversa può influenzarla.

Un'ulteriore mancanza è presente nell'istituto nazionale per la valutazione del sistema educativo di istruzione e formazione. Se l'INVALSI si occupasse anche delle valutazioni scientifiche degli studenti e delle studentesse italiane si potrebbero strutturare confronti con i risultati PISA su cui sarebbe importante riflettere. Infatti, le prove PISA si occupano della valutazione delle competenze e per definizione non sono valutazioni legate in alcun modo al curriculum nazionale. D'altra parte, le prove INVALSI sono connesse strettamente alle Indicazioni Nazionali e alle Linee Guida ministeriali. L'introduzione della valutazione delle scienze nell'INVALSI aiuterebbe una possibile revisione della qualità dei curricula scientifici e delle proposte didattiche nazionali.

Infine, sebbene l'Italia sia tra i Paesi più virtuosi d'Europa, il report di Talents Venture e STEAMiamoci mostra come le iscrizioni alle facoltà STEM – *Science, Technology, Engineering and Mathematics* – siano ancora caratterizzate da differenze di genere importanti [10].

Prendere in considerazione questi dati è fondamentale per delineare una proposta che riveda la qualità dell'educazione scientifica italiana e che abbia come fine anche quello di diminuire le differenze esistenti. L'educazione scientifica che si vuole promuovere ha effetti sull'idea di scienza che si vuole sviluppare:

Historical scholarship since the 1930s has demonstrated that science education is not merely a minor subfield of historical investigation somewhat akin to institutional history but is in fact central to understanding the contours of scientific practice, the formation of scientific personae, and ability of the scientific community to reproduce and survive. The historiography of science education to date has highlighted the ways in which educational settings sustain clusters of values, mental habits, and material practices that make possible the epistemological and social dimensions of science, including the transmission and popularization of scientific knowledge; the conduct of teaching and research; the training of recruits; and the public's views on science, including its social, political, cultural, and economic functions and the image of the

natural world it conveys. What occurs *inside* educational settings has much to do with what is *outside* them. [11]

3. Gli approcci STS per un'educazione scientifica e una cittadinanza attiva e informata

Nella pubblicazione del Progetto SETAC – *Science Education as Tool for Active Citizenship* – finanziata dal Learning Programme dell'Unione europea nel 2010, ciò che si sottolinea è che l'educazione scientifica deve certamente mirare a rispondere all'esigenza di forza lavoro qualificata che il mercato richiede, ma deve anche – forse soprattutto – avere un obiettivo sociale più ampio [12]. L'educazione scientifica deve rispondere al bisogno pressante di una cittadinanza attiva, consapevole e informata, che prepari ad agire in un mondo sempre più influenzato dalla scienza e dalla tecnologia.

Secondo lo studio SETAC, infatti, l'apprendimento scientifico è un'impresa poliedrica che abbraccia lo sviluppo di attitudini, emozioni e identità delle studentesse e degli studenti verso la scienza. Un ulteriore argomento che il progetto SETAC ha voluto discutere è l'importanza di un riavvicinamento tra l'apprendimento formale e informale. Questo tema si collega allo scarso risultato dell'Italia nel quadro strategico ET 2020 – *Education and Training* – sotto la categoria 'partecipazione degli adulti all'apprendimento permanente' (Italia 8,1% – Media Europea 11,1% – Obiettivo ET 2020 15%) [13]. Rivedere il rapporto tra apprendimento formale e informale significa mostrare agli studenti e alle studentesse che l'apprendimento non avviene solo a scuola e su un libro di testo, ma rappresenta una delle capacità più naturali che l'umanità mette in atto per conoscere e affrontare il mondo nel quale vive. In riferimento a tutti questi temi, gli approcci STS possono essere un valido aiuto per chi si occupa di formazione, formale o informale che sia.

Gli approcci STS sono caratterizzati da tre principali obiettivi. Il primo obiettivo è l'importanza di educare gli studenti e le studentesse a comprendere i problemi socioscientifici [14]. Un esempio sono tutte le questioni legate allo sviluppo sostenibile, alla letteratura ambientale, o anche alle questioni di genere.

Il secondo obiettivo è la cosiddetta alfabetizzazione scientifica, intesa come insieme di competenze, conoscenze e atteggiamenti necessari per essere individui autonomi e responsabili. Il paradigma cambia: da una scienza insegnata per i futuri scien-

ziati e scienziate ad una scienza insegnata per i cittadini e le cittadine di domani.

Infine, il terzo obiettivo è interrogarsi su cosa sia la scienza, come funziona e in che modo operano gli scienziati e le scienziate.

The latest report published, *Science Education in Europe: Critical Reflections*, contains the conclusions of science educators from nine European countries. There are brief recommendations that analyse the current situation in science education in Europe and lay out the desired prospects for the future. Perhaps the most striking of these is the first recommendation which predicts the obligatory teaching of the nature of science (NOS) in secondary schools, while courses in individual scientific disciplines would become electives available to students who wish to prepare for careers in science. This is exactly the opposite of the current situation in European secondary schools. [15]

Un insegnamento improntato su NOS – *Nature of Science* – potrebbe essere un nuovo modo con cui affrontare la scienza in classe: per il suo essere una disciplina controversa, per i dibattiti che ne scaturirebbero, per gli svariati contenuti che si potrebbero toccare, per la sua attualità e per le collaborazioni che ci sarebbero tra le insegnanti e il gruppo classe. È vero che NOS è un concetto complesso, perché si trasforma di pari passo con la nostra comprensione della scienza. Tuttavia, perché non insegnare ciò su cui si dibatte e su cui si è in dubbio? Perché non lasciare spazio agli studenti e alle studentesse di discutere di ciò che non è 'confezionato'? Perché la comprensione di una scienza dinamica e in costante trasformazione non può iniziare a scuola?

4. Risultati, metodologie e difficoltà

I vantaggi legati ad un approccio STS possono essere riassunti in quattro punti che rappresentano i risultati più significativi di diverse ricerche valutative [16]. Rispetto a chi frequenta classi tradizionali, gli studenti e le studentesse che hanno frequentato corsi STS:

1. migliorano la loro comprensione della scienza in rapporto alla società e alla tecnologia;
2. migliorano il proprio atteggiamento verso lo studio delle scienze;
3. migliorano il proprio pensiero critico, creativo, e il processo decisionale;
4. migliorano l'applicazione dei contenuti scientifici canonici nella sfera quotidiana.

Tuttavia, questi risultati dipendono fortemente dal lavoro dell'insegnante. La classe, infatti, può ottenere questi benefici solo se il contenuto STS è integrato con il contenuto canonico in modo da avere ben presente gli obiettivi educativi e didattici che si vogliono raggiungere.

Un importante lavoro di riordino ha mostrato le sei correnti principali degli sviluppi STS: quella applicativa, quella storica, quella basata sul ragionamento logico, quella centrata sui valori, quella socioculturale e infine quella sociogiuridica [17]. La corrente storica è quella meno specifica: attraverso la storia è possibile affrontare qualsiasi argomento, sia passato che presente, ma soprattutto rappresenta il terreno comune su cui è possibile sviluppare contenuti diversificati basati su obiettivi interdisciplinari.

Tuttavia, anche l'approccio storico deve superare almeno quattro problemi che spesso affliggono il racconto scientifico tradizionale [18]:

- a. Si mostra la scienza come prodotto confezionato, ma non come processo.
- b. Si parla di scienza fallibile, ma non si trattano mai gli errori commessi.
- c. La scienza è descritta come impresa umana, ma è fatta da pochi individui tutti maschi e occidentali con eccezionali capacità.
- d. La scienza è un'impresa comune, ma esistono divergenze tra l'occidente e l'oriente sui valori che dovrebbero accompagnare il suo sviluppo.

Ridurre la scienza ad un insieme di conoscenze privilegiate situate nell'iperuranio e non tangibili per 'i comuni mortali' se non per essere studiate e mai applicate, significa favorire un credo scientifico. A differenza dei corsi di scienze tradizionali che offrono una risposta a come funziona la natura, l'approccio storico si basa sull'affrontare la scienza stessa come domanda e non come risposta. La storia permette di problematizzare lo sviluppo scientifico, guardando non solo alla complessità di ciò che è successo, ma anche e soprattutto di ciò che sta accadendo:

Chi conosce l'intero corso dello svolgimento della scienza valuterà l'importanza di un qualsiasi movimento scientifico odierno in modo molto più libero e corretto di quanto possa fare colui che, limitato nel giudizio al periodo di tempo che egli stesso

ha vissuto, vede solo la direzione che la scienza ha preso momentaneamente. [19]

I modi attraverso cui un approccio STS alla storia della scienza può essere sviluppato sono presentati nello schema della figura 1.

È evidente che questo approccio, proprio per la sua complessità, deve essere strutturato da diverse insegnanti. In questo senso, lo sviluppo interdisciplinare deve fondarsi sulla costante collaborazione tra docenti.

Negli ultimi decenni si è parlato molto delle strategie di cooperative learning, tuttavia, si è trattato molto meno di quello che si potrebbe definire cooperative teaching. Sia nelle Indicazioni Nazionali che nelle Linee Guida viene enfatizzato il lavoro che il singolo docente deve fare per arricchire la propria materia, mentre poca considerazione viene data alla collaborazione con colleghi e colleghe. Per affrontare argomenti complessi, come quelli sviluppati dagli approcci STS, è importante lavorare in squadra.

Un ulteriore metodo di insegnamento che in Italia non viene quasi mai utilizzato, principalmente perché l'organizzazione scolastica non sembra permetterlo, è la compresenza in classe dei e delle docenti che partecipano al progetto. I vantaggi che la compresenza apporta sono diversi. In primo luogo, ha effetti sulla classe; infatti, se gli studenti e le studentesse vedono collaborazione e impegno da parte del gruppo docenti, allo stesso modo si sentiranno più propense ad interagire con il pro-

1. Conceptual understanding	<p>Historical elements provide the description presentation, comparison, or contraction of scientific (a) thoughts, ideas, concepts, notions, plans, schemes; (b) definition, explanations, models, illustrations, graphics, instrumentation; (c) findings, standards, laws, theories to</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Enrich the presentation of scientific knowledge 1.2. Emphasize the tentative nature of scientific knowledge
2. Procedural understanding	<p>Historical elements provide the description of:</p> <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Process of thinking or thought experiment 2.2. Process of investigation 2.3. Process of concluding, inferring, elaboration, reporting, and application
3. Contextual understanding	<p>Historical elements provide the description of:</p> <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Psychological factors involved in the science making (e.g., motivation, incentives, purposes) 3.2. Social factors (e.g., peer influences, public attitudes, social needs, or political factors that effect on the scientists action to communicate, confirm, confront, or contribute) 3.3. Cultural factors associated to the science research (e.g., personalities, culture of family, organization, social, or ethics, etc.)

Fig. 1 Schema riassuntivo degli approcci storici della scienza (H. A. Wang e D. D. Marsh [20])

getto. La prova di ciò è data dagli studi di valutazione citati precedentemente, che sottolineano come la volontà e l'impegno dell'insegnante fosse la variabile che più di tutte influiva sull'esito positivo delle valutazioni.

In secondo luogo, la compresenza ha un duplice effetto sul metodo di insegnamento dei e delle docenti. Da un lato, la collaborazione tra discipline permette la strutturazione di progetti complessi che toccano fattori di natura diversa mostrandone le influenze reciproche. Dall'altro lato, sono i background formativi di ogni docente che partecipa al progetto che vengono valorizzati, stimolando costantemente l'insegnante ad approfondire i propri studi e instaurare rapporti proficui con colleghi e colleghe.

Le difficoltà che gli approcci STS incontrano a scuola sono dettate da due fattori principali: l'esperienza pre-servizio dei e delle docenti e le politiche scolastiche. Diverse ricerche hanno mostrato risultati scoraggianti riguardo all'orientamento didattico verso una prospettiva STS di futuri docenti pre-servizio [16]. Gli insegnanti pre-servizio hanno identità recentemente formate attraverso i programmi universitari ad hoc. Se insegnamenti riguardanti approcci STS mancano nei programmi universitari, allora molto probabilmente mancheranno anche nel bagaglio di conoscenze di un futuro docente. Ciò comporta inevitabilmente una bassa fiducia verso gli approcci STS, ancora poco conosciuti nei contesti educativi italiani e trattati raramente – o mai – nelle opportune sedi di formazione. In questo modo, si scopre che le politiche scolastiche hanno un effetto maggiore sull'identità professionale di un insegnante rispetto a studi metodologici e di valutazione. La sfida non è solo di implementare il curricolo scientifico di una singola classe, ma anche quello di affrontare le relazioni con colleghi e colleghe, amministrazioni e genitori che reagiscono a tale cambiamento. L'educazione scientifica avviene sempre in un contesto culturale scolastico: se non si interviene sulla rete di attori che costituiscono tale sistema, sarà difficile promuovere gli approcci STS e collaborazioni che si muovano in questa direzione.

5. Conclusioni

L'approccio STS alla storia della scienza mira prima di tutto a coltivare negli studenti e nelle studentesse competenze, conoscenze e atteggiamenti che in futuro saranno indispensabili per essere cittadine autonome e responsabili. In futuro, promuovere progetti che integrino gli approcci STS nella didattica tradizionale, significherà non solo incorporare com-

ponenti educative e didattiche innovative, ma anche organizzative.

Significant change requires a multi-dimensional context of scale that includes diverse stakeholders of social privilege and power, over a long period of time. Successful collaboration requires new partnerships among educators, researchers, and stakeholders, forging new actor-networks in support of STS science education. The largest obstacle to changing the curriculum is change itself. Change is well-known to the scientific community because scientists shift paradigms from time to time, but not without difficulty. [16]

Il futuro della società parte dalla scuola, rivalutando i contenuti e metodi di insegnamento che un'educazione scientifica all'avanguardia dovrebbe promuovere.

Non è nel cambiare solo il curricolo scolastico che si possono integrare conoscenze e competenze importanti. Il cambiamento deve partire nelle opportune sedi politiche e formative. Tranne alcuni casi rari come il progetto *Irresistibile* [21], finanziato dall'Unione Europea, ciò che davvero manca in Italia è la possibilità di investire in progetti sperimentali che diano l'opportunità di valutare efficacemente i risultati positivi, negativi e le difficoltà riscontrate. È necessario che le parti interessate, ovvero istituzioni accademiche, politiche, aziendali e scolastiche, tornino a collaborare più strettamente. Gli approcci STS possono, dal lato educativo e didattico, avvicinare studenti e studentesse a tematiche sociali attuali e di interesse personale, dal lato organizzativo e 'politico', invece, sono i diversi gruppi di interesse a venir riavvicinati e invitati a riflettere su un nuovo modo di investire *insieme* alla scuola. ■

Riferimenti

- [1] H. Clark, E. J. Sirleaf, *How an outbreak became a pandemic. The defining moments of the COVID-19 pandemic*, The Independent Panel for Pandemic Preparedness&Response, 21 Maggio 2021.
- [2] P. Govoni, *Che cos'è la storia della scienza*, Roma, Carocci, 2019.
- [3] G. Gobo, V. Marcheselli, *Sociologia della scienza e della tecnologia*, Roma, Carocci, 2021.
- [4] G. S. Aikenhead, *What is STS science teaching?* in *STS Education International Perspectives on Reform*, New York, Teachers College Press, 1994.
- [5] OECD-PISA, *Sintesi di risultati italiani OCSE-PISA 2018*, Area Indagini Internazionali Invalsi, 2019.
- [6] Eurostat, *40% of 30-34 year-olds have tertiary education*,

- 24/01/2019. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20190124-1> [Consultato il 7 Aprile 2022].
- [7] Openpolis, *In Italia il titolo di studio dei figli dipende troppo spesso da quello dei genitori*, 2021. <https://www.openpolis.it/in-italia-il-titolo-di-studio-dei-figli-dipende-troppo-speso-da-quello-dei-genitori/> [Consultato il 4 Novembre 2021]
- [8] B. Forsthuber, A. Motiejunaite, A. Coutinho, N. Baïdak, A. Horvath, *Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research*, Rete Eurydice, Bruxelles, 2011.
- [9] A. Valente, L. Cerbara, *Percezione della scienza ed educazione scientifica nelle scuole*, IRPPS-CNR, 2008.
- [10] Talents Venture, *Osservatorio Talents Venture e STEA-Miamoci sul Gender Gap nelle facoltà STEM*, Centro Studi Assolombarda, 2020.
- [11] M. K. Olesko, Science Education in the Historical Study of Sciences, in *International Handbook of Research History, Philosophy and Science Teaching*, Dordrecht, Springer Science+Business Media, 2014, p. 1965.
- [12] M. Xanthoudaki, S. Calcagnini, *Qualità nell'educazione scientifica: Dove ci troviamo? Linee-guida per la pratica da un'esperienza europea*, Progetto SETAC, 2010.
- [13] S. Baggiani, A. Mochi, *I sistemi scolastici europei al traguardo del 2020*, INDIRE – Unità italiana di Eurydice, Firenze, 2019.
- [14] D. L. Zeidler, *The Role of Moral Reasoning on Socio-scientific Issues and Discourse in Science Education*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003.
- [15] L. Dibattista, F. Morgese, Incorporation of HPS/NOS Content in School and Teacher Education Programmes in Europe, in *International Handbook of Research History, Philosophy and Science Teaching*, Dordrecht, Springer Science+Business Media, 2014, pp. 2089.
- [16] G. S. Aikenhead, Research into STS Science Education, *Education Quimica*, 2005, **16**, 384-397.
- [17] E. Pedretti e J. Nazir, Currents in STSE Education: Mapping a Complex Field, 40 Years On, *Science Education*, 2011, **95**, 601-626.
- [18] D. Allchin, How Not to Teach Historical Case Studies in Science, *Journal of College Science Teaching*, 2000, **30**, 33-37.
- [19] E. Mach, *La meccanica nel suo sviluppo storico-critico*, Torino, Boringhieri, 1977, p. 40.
- [20] H. A. Wang e D. D. Marsh, Science Instruction with a Humanist Twist: Teachers' Perception and Practice in using the History of Science in their Classrooms, in *Science&Education*, 2002, **11**, 169-189.
- [21] M. Venturi, *L'avventura del progetto Irresistibile. Insegnanti, studenti ed esperti a confronto su temi di ricerca d'avanguardia e aspetti della Ricerca e Innovazione Responsabile nei curricula scolastici*, Bologna, Bononia University Press, 2018.

Giovanni Villani

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (UOS Pisa) – CNR

✉ villani@pi.iccom.cnr.it

Il legame chimico: dalla complessità quantistica alla modellizzazione didattica

Introduzione

Il legame chimico è uno dei concetti fondanti della Chimica, ciò nonostante esso resta un concetto polivalente, complicato, se non complesso. In esso, infatti, confluiscono varie componenti di difficile, se non impossibile, sintesi. Da un lato, rappresenta il punto d'arrivo dei concetti del XIX secolo che i chimici avevano elaborato per spiegare che cosa tenesse insieme gli atomi, con successiva rivisitazione nell'ottica quantistica; dall'altro, tale concetto si deve rapportare con l'approccio fisico al mondo microscopico e con le problematiche "non classiche" della sua descrizione. In mezzo, abbiamo la didattica della Chimica, la necessità di "tradurre" questa complessità per studenti di differenti età e cognizioni scientifiche.

Non è questo il posto per trattare dettagliatamente tali problematiche che richiederebbero ben altro spazio. Qui ci poniamo lo scopo di accennare a tale complessità affinché i professori di ogni ordine e grado possano trasporre tale concetto nel loro lavoro, tenendo presente le sue difficoltà intrinseche e dosando e motivando i differenti modelli che utilizzano.

Il legame tra gli atomi nella prospettiva chimica

Come abbiamo detto, il legame chimico può essere visto come l'approdo finale di un lavoro durato più di un secolo. Che gli atomi avessero bisogno di una "colla" per stare insieme era una problematica evidente dagli arbori dell'atomismo. I primi tentativi di spiegare questo legame furono fatti nell'ottica di agganci di origine meccanica, nella "materializzazione" del legame. In seguito, quando Newton impose in meccanica l'interazione a distanza, il legame tra gli atomi poté essere smaterializzato e diventare un'interazione come quella gravitazionale.

Restavano aperte varie questioni. Per prima cosa non era possibile "matematizzare" il legame non essendo note né la massa né la distanza tra gli atomi. Questo non era un problema da poco per una scienza moderna che aveva fatto della matematica il suo linguaggio. Inoltre, l'universalità newtoniana cozzava con l'esperienza chimica della selettività delle reazioni tra sostanze chimiche. Con gli occhi di oggi, possiamo dire che tali tentativi non potevano funzionare perché facendo interagire meccanicamente alcuni atomi non si poteva spiegare la novità della molecola. Questo è ben noto ai chimici ed esemplificato nella differenza tra due concetti chimici, quello di miscuglio e di composto. Mettendo insieme meccanicamente idrogeno e ossigeno gassosi si ottiene un miscuglio omogeneo gassoso, miscibile in tutte le proporzioni, con proprietà intermedie tra quelle dei due gas costituenti. Solo quando si "supera" questa miscelazione meccanica, solo quando i due gas reagiscono, si ottiene un nuovo composto, un qualcosa con proporzioni definite e con proprietà completamente differenti dalla media ponderata dei costituenti.

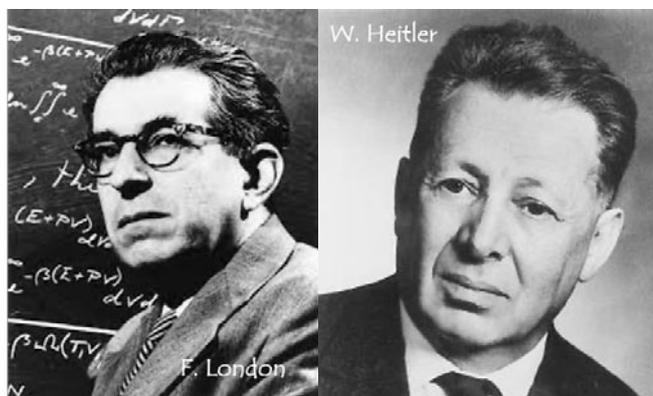
Per superare queste difficoltà i chimici svilupparono due concetti: quello di *affinità* e quello di *valenza*. Il primo cercava di dare una spiegazione della non universalità dell'interazione interatomica: non tutti gli atomi avevano una reciproca affinità e solo quelli affini reagivano. Il secondo concetto, quello di valenza, cercava di dare ordine al fatto che c'erano atomi che interagivano con un solo altro atomo (monovalenti), altri che necessitavano di due partner (bivalenti), ecc. Questa strada chimica al legame portò al concetto di molecola e relativa struttura. La struttura molecolare, la quale identificava chi era legato a chi e con la quale stabilire il trinomio:

una struttura → una sostanza → un set di proprietà

La successiva disposizione nello spazio degli atomi interagenti e la possibilità di differenti tipi di isomeri, cioè differenti molecole con gli stessi costituenti e a volte anche con la stessa struttura ma proprietà differenti, raffinarono il concetto di interazione interatomica e della strutturazione microscopica. L'esistenza di interazioni tra molecole (cioè l'interazione tra atomi di differenti molecole), l'esistenza di interazioni interatomiche meno energetiche, ma che avevano la possibilità di essere sia inter- che intramolecolare (come il legame idrogeno), e la necessità di tener conto degli aspetti dinamici della struttura molecolare hanno complicato l'immagine chimica del legame, ma non ha eliminato questo concetto.

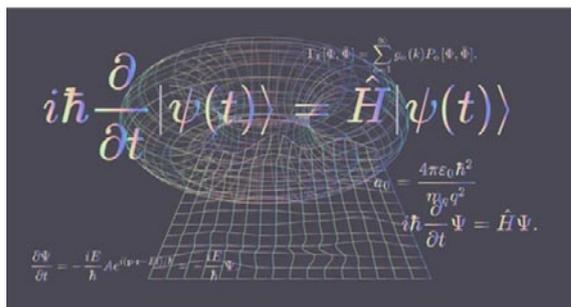
Il legame chimico nella meccanica quantistica

La Meccanica Quantistica, cambiando il concetto di atomo, ha anche dato un senso differente al concetto di legame chimico, all'esplicitazione della "colla" che tiene insieme gli atomi. Il primo sistema chimico studiato con la nuova Meccanica Quantistica fu, come era ovvio, la molecola di idrogeno. Nel 1927 F. London [1900-1954] e W. Heitler [1904-



1981] determinarono l'energia di H_2 . In questo sistema due elettroni tengono insieme due nuclei, costituiti ognuno da un protone.

Quando i due nuclei sono distanti e ognuno ha con sé un elettrone, l'energia del sistema è quella di due atomi di idrogeno isolati e solo la forza tra l'elettrone ed il protone nei due atomi va considerata. Quando i due nuclei sono vicini, quattro forze di interazione sono coinvolte. Con l'aiuto del teorema che Lord Rayleigh [1842-1919] aveva usato per stimare l'energia minima della vibrazione di una campana e dell'indistinguibilità degli elettroni, essi trovarono una semplice funzione da inserire nell'equazione di Schrödinger per avere la funzione



Erwin Schrödinger

d'onda collegata alla distribuzione elettronica. Dal procedimento venne fuori un'energia di legame molto simile a quella trovata sperimentalmente per via spettroscopica.

Era questo il primo passo di una nuova branca chimica: la Chimica Quantistica. Il soggetto di studio di questa branca è l'applicazione della Meccanica Quantistica alle molecole. L'esistenza di sostanze composte, realmente "nuove", è diventata, quindi, più "comprensibile". L'appartenenza degli elettroni all'intera molecola e non più ai singoli atomi rende impossibile una visione molecolare nei termini di aggregato non strutturato di atomi, differenziando i miscugli dai composti. Ovviamente la situazione è tutt'altro che semplice. Anche volendo trascurare le enormi difficoltà "tecniche" dello studio delle molecole in Meccanica Quantistica che hanno portato all'introduzione di numerose approssimazioni e a una pletora di sigle per identificarle, l'ottica fisica degli elettroni "molecolari" si scontra con l'ottica chimica dei legami come una relazione privilegiata tra coppie di atomi.

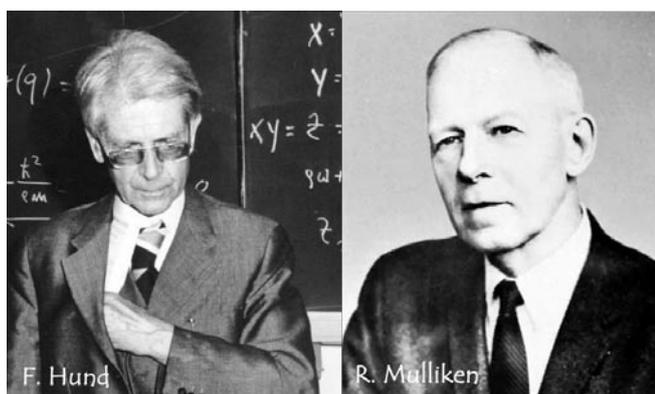
Senza volerci addentrare nella problematica, in buona parte ancora irrisolta, dell'applicazione della Meccanica Quantistica ai sistemi chimici, accenniamo al concetto di orbitale che sostituì il concetto di orbita negli atomi e nelle molecole. Sul finire degli anni Venti del XX secolo, due tipi di orbitali atomici, denominati *s* e *p*, erano ormai noti. Si era trovato che in coordinate polari la soluzione dell'equazione di Schrödinger per un solo elettrone e un nucleo atomico era una funzione simmetrica, detta orbitale *s*, e che il successivo stato elettronico era tre volte degenere, aveva una simmetria assiale e fu chiamato orbitale *p*. Il legame chimico tra due atomi veniva spiegato qualitativamente come sovrapposizione di questi orbitali atomici. La regola di Hund della *massima molteplicità* stabiliva che gli elettroni occupavano negli atomi quanti più orbitali possibili per evitare la loro mutua repulsione.

Nel caso dell'acqua, L. Pauling [1901-1994] diceva che poiché l'ossigeno aveva quattro elettroni nell'ultimo guscio elettronico occupato, quello di valenza, per la regola di Hund uno degli orbitali p era doppiamente occupato e gli altri due davano due legami con l'orbitale s dell'idrogeno. Il problema era che l'acqua in questo caso avrebbe dovuto formare un angolo di 90° tra i due legami O-H; tale problema veniva risolto aggiungendo una repulsione tra i due legami che allargava l'angolo tra di loro, portando verso quello sperimentale. Sfortunatamente questa schematizzazione dei legami chimici nelle molecole non sembrava andare bene per l'atomo di carbonio. Quest'atomo con due elettroni in meno dell'ossigeno aveva solo due elettroni p nel guscio di valenza e, quindi, la sua tetravalenza restava un problema. Nel 1928, Pauling per risolvere questo problema creò il concetto di *orbitale ibrido*. Diceva Pauling che se avessimo supposto che uno dei due elettroni $2s$ fosse stato promosso in un orbitale p , allora avremmo avuto quattro elettroni spaiati nel guscio di valenza. Pauling mostrò che l'energia per promuovere l'elettrone da un $2s$ ad un $2p$ era ampiamente ricompensata dal permettere al carbonio di formare quattro legami anziché due. Affinché i quattro legami fossero equivalenti, tuttavia, occorreva che i quattro orbitali atomici (un orbitale $2s$ e tre orbitali $2p$) si combinassero tra di loro dando vita a quattro orbitali ibridi atomici sp^3 , ibridazione che poi Pauling estese per spiegare altre molecole e relative geometrie. Dopo qualche anno questa trattazione fu matematizzata da J. Slater [1900-1976]. Per questa ragione negli anni Trenta del secolo scorso questo approccio fu chiamato metodo di Heitler-London-Slater-Pauling e poi Valence Bond (VB).

Un metodo alternativo di descrizione del legame chimico come combinazione globale di orbitali atomici, noto come l'approccio degli orbitali molecolari (MO), era stato introdotto nel 1927-28 da F. Hund [1896-1997] e R. Mulliken [1896-1986]. Questo metodo, negli anni Quaranta e Cinquanta

del secolo scorso, con gli apporti di C. Coulson [1910-1974], C. Longuet-Higgins [1923-2004] e E. Hückel [1896-1980], si impose in chimica teorica per una maggiore semplicità di calcolo. Esso si basava sulla fondamentale idea che, come si poteva descrivere un elettrone nell'atomo con i suoi orbitali atomici, allo stesso modo era possibile descrivere un elettrone nella molecola con l'aiuto di un'altra funzione chiamata orbitale molecolare. La sola differenza tra l'orbitale atomico e quello molecolare era che il primo era monocentrico, cioè era centrato su di un solo atomo, mentre il secondo era multicentrico, poiché ciascun elettrone era soggetto all'azione simultanea di tutti i nuclei. L'obiettivo del metodo MO era di determinare l'orbitale molecolare per ogni elettrone della molecola e, in particolare, la sua energia. Come nel caso di un atomo, il modulo quadro di questa funzione d'onda rappresentava la probabilità di trovare il corrispondente elettrone in un dato punto dello spazio e del tempo e, in modo più immediato e globale, la forma della nuvola elettronica associata. Ancora, come nel caso dell'atomo, ogni orbitale poteva "ospitare" (e su questa "rappresentazione spaziale" dell'orbitale evitiamo di dilungarci e per queste problematiche faccio riferimento a un mio lavoro [1]) al massimo due elettroni di spin opposto; come nell'atomo gli orbitali erano riempiti in funzione dell'energia fino all'esaurimento degli elettroni e i restanti orbitali, chiamati virtuali, potevano essere occupati in processi di eccitazione di elettroni. Inoltre, nella sua forma standard, gli orbitali molecolari erano assunti essere una combinazione lineare degli orbitali atomici (approssimazione MO-LCAO). Gli orbitali molecolari presentavano delle simmetrie e venivano, sempre in analogia con gli orbitali atomici, classificati come σ , π , ecc.

Iniziò una "battaglia" tra il metodo VB e quello MO per determinare quale fosse quello più adatto per descrivere le molecole. Una delle principali difficoltà del metodo VB era il problema delle formule di risonanza. L'analogia con il caso classico, in cui il concetto di risonanza era legato alla separazione tra due sistemi con la stessa frequenza e che interagivano, fece pensare che esistessero realmente degli elettroni che fluttuassero tra due possibili configurazioni di equilibrio. Lo stesso Pauling [2] incoraggiò la visione in cui il legame A-B si ottenesse dalla reale sovrapposizione delle forme ioniche e di quella covalente. Questo fu sicuramente il modo in cui la Scuola Marxista interpretò il pensiero di Pauling ed iniziò ad attaccarlo per la deformazione che aveva creato nel concetto di struttura molecolare, che si rifaceva al chimico russo A. Butlerov





[1828-1886] [3], e per avere creato “molecole fittizie”. M. J. S. Dewar [1918-1997] espresse bene l’idea che predominò nel campo della chimica teorica: perché complicarsi la vita con il rappresentare il benzene come la mescolanza di tante formule di struttura per non parlare dei composti più complessi dove ne sarebbero servite un numero enorme? Il metodo MO era molto più semplice e, quindi, era questo metodo che andava usato.

Caratteristiche odierne dei legami chimici e didattica

Riassumiamo ora le principali caratteristiche dei legami interatomici (detti legami chimici), come sono concepiti dall’attuale chimica quantistica.

1. Tutti i legami tra gli atomi sono di natura elettrica perché tra le quattro forze fisiche fondamentali (gravitazionale, forte, debole ed elettromagnetica) l’ultima è responsabile quasi completamente dei legami chimici. Tuttavia, si distinguono due grosse classi di legami interatomici: ionici e covalenti, ma queste due classi sono connesse da tutti i casi intermedi. Anche storicamente, è stato presente questo duplice tipo di legami chimici. I primi sono più abbondanti nella chimica inorganica; i secondi nella chimica organica. I legami ionici si formano per trasferimento, praticamente completo, di un elettrone da un atomo all’altro e per successiva reciproca attrazione tra queste due unità cariche di segno opposto. I legami covalenti si formano, invece, per una condivisione, in maniera simmetrica o no, di una coppia di elettroni. I punti seguenti si applicano principalmente ai legami covalenti.
2. Esistono vari tipi di legami: σ , π , ecc., differenziati per simmetria. Come per gli orbitali atomici, gli orbitali molecolari che danno vita ai legami chimici hanno caratteristiche ricollegabili alla simmetria spaziale.
3. La formazione dei legami chimici può essere

vista in termini di interazione tra particolari combinazioni monocentriche di orbitali atomici (ibridi) più che tra semplici orbitali atomici. A volte, l’ibridazione viene quasi considerata come una sorta di “preparazione” dell’atomo alla formazione dei legami tra gli atomi. Ovviamente, questa visione “temporale” non è corretta e l’orbitale ibrido, se si vuole utilizzare questo modello, si forma gradualmente all’avvicinarsi degli atomi che si devono legare.

4. Esistono legami sostanzialmente localizzati, nei quali è coinvolta una coppia di atomi, e legami delocalizzati che coinvolgono molti atomi. Il benzene con l’orbitale π delocalizzato sui sei atomi di carbonio è un esempio di legame delocalizzato, mentre, sempre nel benzene, i legami C-H sono localizzati.
5. Generalmente un legame coinvolge due elettroni; vi sono casi in cui coinvolge un solo elettrone (H_2^+ , per esempio) o più di due elettroni. In pratica, anche un solo elettrone in un orbitale legante dà una stabilizzazione energetica alla molecola e ci sono legami, come quello del benzene, che coinvolge sei elettroni, anche se in differenti orbitali.
6. Nei metalli gli elettroni sono delocalizzati in tutte le direzioni, trasformando i livelli discreti di energia delle molecole in un intervallo continuo di energia (bande).
7. Esistono dei tipi di interazioni di energia intermedia tra i comuni legami chimici e le forze fisiche di attrazione elettrostatiche. Un esempio è costituito dal legame a idrogeno che si forma tra un idrogeno, legato ad un atomo elettronegativo, ed un altro atomo elettronegativo della stessa molecola o di un’altra molecola. Tali legami sono responsabili della “liquidità” dell’acqua a temperatura ambiente e di molte proprietà biochimiche.

Dopo aver sgrossato le problematiche sottese al concetto di legame chimico, resta il problema didattico di come trasporre questa complessità. Ovviamente, non c’è una ricetta unica. La soluzione che il docente deve ricercare risente, infatti, sia delle problematiche generali, come il “pubblico” a cui si rivolge (tipo di scuola ed età degli studenti per la scuola secondaria e tipo di corso e a chi è indirizzato per l’università) sia dall’adattamento a quella particolare classe o allo specifico corso. Esistono, ovviamente, delle regole generali da tener presente. Ne elenchiamo un paio importanti. Per prima cosa bisogna ricordare che l’atomo quantistico odierno è un concetto scientifico difficile

da visualizzare e, quindi, difficile da rendere “usuale”, tanto all’università quanto a scuola. L’idea di rifugiarsi nella “formalizzazione”, nella “matematica”, può sembrare una scorciatoia applicabile all’università, ma non è esente da rischi. La formalizzazione, infatti, senza una comprensione concettuale alla base lascia ben poche competenze con il passare del tempo. Tale scorciatoia non è, ovviamente, praticabile a scuola, ma forse proprio questa difficoltà non aggirabile dovrebbe spingere il professore ad un approccio storico e modellistico chiaro ed un approccio qualitativo/concettuale semplificato, ma non banalizzante. La complessità, in pratica, non è semplificabile con la semplice eliminazione, ma con la problematizzazione, quando e nella misura in cui gli studenti la rendono possibile.

Esiste un problema di interdisciplinarietà per il concetto di legame chimico. Abbiamo visto che in tale concetto coesistono l’approccio chimico e quello fisico, abbiamo accennato alle difficoltà in-

trinseche di visualizzazione di questo concetto. Se aggiungiamo che nello stesso periodo di inizio XX secolo la “rivoluzione” non avvenne solo nelle scienze naturali, ma anche nell’arte (si pensi al romanzo *Ulisse* di Joyce [1882-1941] o ai quadri astratti), nella filosofia, nella musica, ecc. forse un approccio interdisciplinare potrebbe, in ambito scolastico, aiutare lo studente a farsi un’idea “moderna” del mondo contemporaneo. ■

Riferimenti

- [1] G. Villani, E. Ghibaudi, L. Cerruti, The orbital: a pivotal concept in the relationship between chemistry and physics? A comment to the work by Fortin and coauthors, in *Foundations of Chemistry*, 2018, 20, p. 89 – 97.
- [2] L. Pauling, *The nature of the chemical bond*, Cornell University Press, Ithaca (New York), 1939.
- [3] G. Villani, *La Chiave del Mondo. Dalla filosofia alla scienza: l’onnipotenza delle molecole*, CUEN, Napoli, 2001, Capitolo VII.

Domenico Misiti

Dipartimento di Chimica e Tecnologie del Farmaco, Università La Sapienza di Roma

✉ domenico.misiti@fondazione.uniroma1.it

La mia scoperta dell'America

La prima esperienza americana di un giovane ricercatore

RIASSUNTO L'autore racconta la sua prima esperienza di vita americana come ricercatore in un eccellente Laboratorio di Ricerca Californiano. Avrà anche modo di riferire le sue emozioni e quelle percepite nei suoi incontri a New York in occasione dell'assassinio del Presidente J. F. Kennedy avvenuto in coincidenza con il suo arrivo negli Stati Uniti.

ABSTRACT The author tells his first American life experience as a researcher in an excellent Californian Research Laboratory. He has also the opportunity to report his emotions and those perceived in his meetings in New York on the occasion of the assassination of the President J. F. Kennedy which just coincided with his arrival in USA.

Antefatto

Correva l'anno 1963 quando, come ricercatore, facevo parte dell'Istituto Superiore di Sanità (ISS) nel Laboratorio di Chimica Terapeutica diretto da Daniele Bovet, premio Nobel della Medicina nel 1957.

Ero entrato in Istituto nel 1957, laureato da poco più di un anno, e l'interesse del gruppo di chimici del quale facevo parte si occupava di sintesi organica di potenziali farmaci, attivi sul sistema nervoso centrale (SNC). Negli anni 1959-60 avevo avuto un'esperienza di ricerca all'estero avendo trascorso un anno in un Laboratorio di Sintesi di Molecole Marcate a Gif sur Yvette nella *Banlieu Parigina*.

Nella primavera di quell'anno il Prof. Karl Folkers, biochimico di fama internazionale in odore di Nobel, era venuto in visita nel Laboratorio di Bovet all'ISS. Folkers era professore di Biochimica all'Università di Stanford a Palo Alto in California ed era stato da poco chiamato a dirigere il prestigioso *Stanford Research Institute International* (SRI) sempre nell'area di Palo Alto. Gli interessi scientifici di Folkers erano centrati sui meccanismi

biochimici presenti nella chimica delle sostanze naturali e Bovet durante la visita del Prof. Folkers mi mandò a chiamare presentandomi all'ospite americano. È stata per me un'occasione "storica", avevo sempre coltivato un grande interesse per la chimica delle sostanze naturali e nello stesso tempo sentivo la chimica di sintesi che avevo fino allora coltivato come un esercizio interessante, ma limitato nei confronti della grande lezione della chimica ispirata alla e dalla Natura. Visto l'interesse da me dimostrato nel nostro colloquio, Folkers propose a Bovet la possibilità di un mio soggiorno di studio a Palo Alto in California a partire dall'inizio dell'anno accademico, nel mese di novembre di quell'anno.

Congedandosi mi invitò a proseguire il nostro incontro, per definire meglio i campi di interesse, all'indomani per il *lunch* nell'Hotel Hilton dove soggiornava con sua moglie. Fu così che si concretizzava un mio sogno di sempre: conoscere l'America e poter lavorare in California in una delle più eccellenti Università Americane.

La preparazione del viaggio

Andare in America allora non era così comune e semplice come lo è attualmente. Nonostante i miei 29 anni ero molto intimorito a recarmi in un paese tanto lontano che conoscevo solo attraverso i racconti di colleghi più anziani. Ripensandoci oggi i miei timori di allora mi appaiono quasi ridicoli, basta considerare che una mia nipotina di appena 12 anni è stata in America già un paio di volte e non esita a collegarsi con WhatsApp con conoscenti che vivono a New York da sempre. Scoprirò che allora per parlare con i miei avrei dovuto prenotare una telefonata per tempo attraverso il servizio *Italcable* e, per facilitare il collegamento, addirittura avrei dovuto recarmi presso un ufficio postale.

La segretaria di Folkers mi aveva informato dettagliatamente per posta su quanto dovessi fare in previsione del mio soggiorno californiano: il visto; il **J1** per poter lavorare, essere pagato e avere un'assicurazione sanitaria; la dichiarazione di non essere comunista e altre incombenze come divieto di portare alimenti, salumi ecc., ecc. Mi affrettai a concorrere ad una Borsa di viaggio *Fulbright Scholarship* che l'Ambasciata americana bandiva ogni anno per studiosi che intendessero trascorrere un soggiorno di studio negli USA. Fra l'altro il mio inglese non era molto brillante ed ero piuttosto preoccupato perché avevo capito che avrei dovuto tenere dei seminari periodici e qualche lezione in un corso di Master. Per questo mi impegnai a cercare un supporto tipo *full immersion* per migliorare le mie capacità linguistiche. La fortuna mi favorì in modo particolare dato che ebbi l'opportunità di frequentare un simpaticissimo pensionato americano, affezionato al *Jack Daniel's*, che si dimostrò ben felice di occuparsi della mia preparazione *in American language*. Mi rallegrò l'idea di sapere che a New York viveva una piccola comunità di parenti, emigrata negli USA nel dopoguerra, e anche che a San Francisco avrei trovato un consistente gruppo di amici italo-americani che mi avrebbero sicuramente dato un aiuto per superare le mie incertezze iniziali.

Per misura cautelare avevo programmato di trascorrere una settimana nella "grande Mela" prima di raggiungere la California per ambientarmi e per cominciare a respirare aria americana. Oggi sarebbe stato un gioco da ragazzi trovare una collocazione a Manhattan con Internet e Google, ma allora, non essendo pratico, su consiglio di amici, ero stato capace solo di prenotare per il mio soggiorno una stanza all'YMCA (*Young Men's Christian Association*), una specie di "ostello sicuro" per giovani di matrice cristiana, presente a New York così come in molte altre città nel mondo. Passai l'estate a Roma per concludere qualche lavoro di laboratorio e per perfezionare il mio inglese.

La partenza e il viaggio

E finalmente arrivò il giorno della partenza! Un agente di viaggi del quale si serviva l'ISS mi aveva trovato un volo della Compagnia TWA in partenza da Roma verso le 9 del 22 novembre. Il volo durava poco più di nove ore e sarei arrivato a New York nel primo pomeriggio, ora locale. Ricordo ancora quel giorno con commozione, tutta la famiglia o quasi volle venire all'aeroporto a salutarmi come se partissi da emigrante, tanti consigli e avvertimenti sui pericoli delle metropoli americane, io

un po' frastornato ed eccitato, ma con un po' di malinconia per dover partire da solo, lasciando a Roma mia moglie. Non ricordo molto del viaggio, anche se in precedenza non avevo mai fatto un viaggio aereo tanto lungo; ricordo solo che per la maggior parte del tempo scivolai in una sonnolenza che mi ha sempre accompagnato nei viaggi aerei e non solo.

New York City

L'arrivo in aeroporto che allora si chiamava semplicemente "*New York International Airport*" è stata per me un'esperienza indimenticabile. Sembrava di vivere in un'atmosfera surreale, la proverbiale organizzazione *American style* era come anestetizzata, le persone semi paralizzate, il personale adibito ai controlli dei visti e dei passaporti portava avanti il proprio compito in modo distratto e senza interesse. Tutti parlavano concitatamente con un'espressione di incredulità e di commozione indicibile. Capii subito che qualcosa di terribile doveva essere successo e realizzai anche che il mio inglese, conquistato a fatica, era molto diverso dalla lingua che sentivo intorno a me. Era iniziata così la mia esperienza americana che sembrava avere piuttosto i connotati di una avventura.

Qualche ora prima il Presidente degli Stati Uniti John Fitzgerald Kennedy era stato colpito mortalmente mentre, accanto alla moglie Jacqueline, in macchina aperta percorreva in visita ufficiale la via principale di Dallas in Texas.



Il Presidente J. F. Kennedy con la moglie Jacqueline, il Governatore del Texas John Connally e la consorte Nellie nella limousine presidenziale, pochi istanti prima dell'assassinio

Alla meraviglia seguì lo sgomento, fui assalito da una paura che a fatica cercavo di controllare, avevo quasi dimenticato di ritirare il bagaglio e mi sentii perso in un mondo che ho sentito ostile e a me estraneo. Alla fine, recuperai la mia valigia che era rimasta tristemente sola, vomitata da una bocca

enorme su un *tapis roulant*. Mi affrettai a uscire e senza tanta attenzione mi avvicinai ad un taxi che sopraggiungeva. Fui apostrofato non certamente in stile "british" da un enorme signore di colore in livrea che continuava a gridarmi qualcosa che non capivo, aumentando sempre più il tono di voce. Voltandomi scorsi subito che c'era dietro di me una lunga fila di persone che correttamente erano in attesa del loro turno che veniva assegnato dal signore in livrea che mi aveva apostrofato tanto vivacemente. Costernato e dispiaciuto appresi che avrei dovuto prendere il numero che una macchinetta distribuiva all'uscita dell'aeroporto. Facendo uno sforzo di immaginazione linguistica realizzai che il grido minaccioso del signore in livrea tradotto opportunamente suonava pressappoco così "Take a ticket". Finalmente un taxi mi portò alla mia destinazione che era un enorme caseggiato non ricordo più di quanti piani che riconobbi subito per la scritta YMCA in caratteri luminosi. Con il *taxi driver* provai a scambiare qualche parola per esercitarmi, ma mi accorsi che anche lui non era di lingua madre locale, non so se portoricano o messicano. In ogni caso era visibilmente sconvolto dalla perdita dell'amato Presidente democratico.

West Side YMCA



L'YMCA era situato in una zona centrale di Manhattan, era conosciuto come *West Side YMCA* ed era molto vicino al Central Park e a poca distanza dai più importanti musei di New York City. Avevo ripetutamente e abbondantemente mangiato e bevuto in aereo e desideravo solo avere la mia stanza, riposare e riordinare le idee. L'organizzazione del sistema di accoglienza era esemplare, non c'era bisogno di parlare, era necessario solo mettere delle X nelle caselle che rappresentavano i propri desiderata a fronte delle opportunità offerte dalla casa. Si poteva così scegliere di avere l'acqua calda nel lavandino

in camera, il riscaldamento, la televisione e la radio e altre *facilities* che si potevano utilizzare a tempo introducendo la quantità opportuna di monete. Partendo dall'Italia mi ero rifornito di dollari e di *travel cheques*, ma non avevo molta disponibilità di monete; non fu un problema perché al piano terra c'erano in abbondanza macchinette che cambiavano banconote in monete. Le stanze erano in stile monastico, sufficientemente confortevoli anche se poco illuminate, con le pareti grigiastre forse bianche all'origine, con un lettino stretto ma fortunatamente comodo, con cuscino e coperte riposte in un armadietto a parte.

Mi affrettai ad accendere la piccola televisione, rigorosamente in bianco e nero, dove si susseguivano all'infinito le scene dell'assassinio del Presidente e di una delle sue guardie di scorta, lo sguardo disperato di Jacqueline sporca di sangue del marito, l'affannosa corsa in ospedale, l'inizio delle indagini sulle modalità dell'agguato, le interviste con il Vicepresidente Lindon Johnson e tanti altri filmati. La voce narrante era difficile da seguire, decisamente l'americano parlato era per me una lingua quasi sconosciuta; questa fu la prima amara sorpresa ma mi feci forza, la stanchezza ebbe il sopravvento e mi fece dimenticare la mancanza della cena e, non certo rasserenato, posi fine alla mia prima giornata americana.

Sabato 23 novembre 1963, New York il giorno dopo

In realtà ricordo che, nonostante la stanchezza, la mia prima notte americana non fu tranquilla, il sonno più volte interrotto, qualche pensiero malinconico, le immagini strazianti di un Presidente che avevo tanto ammirato accanto alla moglie disperata creavano in me un senso di sgomento, di insicurezza e di angoscia.

I bagni erano in fondo ad un lungo corridoio con una porta a battenti come nei *saloon dei film western*. Con grande sorpresa imparai un'altra caratteristica *American style*. Dietro quella porta un ampio corridoio con a destra una lunga fila di lavandini con specchio e acqua calda e, a sinistra, un'altrettanta lunga sequenza di *water* separati da un leggero tramezzo, ma completamente aperti nella parte anteriore. Posso assicurare che lo spettacolo non era per me abituale e devo confessare anche un po' spiacevole e per le mie abitudini assolutamente disincentivante. L'atmosfera era allegra e scherzosa, ma io riuscii solamente a radermi rimandando a migliore occasione le altre necessità quotidiane. In seguito, riuscii a risolvere le mie resistenze alzandomi a notte inoltrata sperando in una maggiore riservatezza.

La chiave della stanza si buttava, uscendo, in una *key box* in ascensore, questo era il termine esatto, sicuro di ritrovarla al ritorno appesa nella rastrelliera della *reception*. Mi impadronii di un giornale con pagamento all'apparenza *optional*, mi pare fosse il *NY Times*. Volevo avere notizie e commenti sulla tragedia di Dallas. Devo confessare che non è stato facile per me leggere un giornale americano. Perfino i titoli erano di difficile comprensione e ancora oggi ho qualche difficoltà. Lo stile giornalistico è molto sintetico e fa spesso uso di sigle o di acronimi riservati a lettori esperti e abituali. Con impegno capii che la versione ufficiale dei fatti era così riassunta.

“Mentre il Presidente Kennedy con la moglie era in visita ufficiale a Dallas era stato ferito mortalmente con colpi d'arma da fuoco partiti da un edificio sovrastante. Il Presidente colpito sarebbe morto poco dopo in ospedale. Ucciso anche un uomo della scorta, mentre la moglie Jacqueline, il Governatore del Texas e sua moglie che occupavano la limousine aperta erano rimasti fortunatamente illesi. L'FBI da subito aveva attribuito l'attentato a Lee Harvey Oswald, un reduce che aveva agito apparentemente isolato. Il Vicepresidente Lindon Johnson aveva nel frattempo giurato come nuovo Presidente USA”.

A dire il vero ebbi subito la sensazione che questa versione dei fatti, oltre che affrettata, fosse troppo semplicistica e, avanzata dalle Autorità per tranquillizzare l'opinione pubblica e non creare derive complottiste nocive al Paese con ricadute negative anche sul piano economico.

Non fui capace di trovare un giornale italiano nella speranza di conoscere l'interpretazione italiana o meglio europea di quanto successo a Dallas e sulle prospettive di un paese colpito al cuore in modo tanto crudele; trovai solo una copia del “Progresso italo americano” (*an Italian-language daily newspaper in USA published in NY City*) un giornale per gli italo-americani scritto peraltro con un linguaggio ibrido molto particolare e semplicistico. In realtà noi italiani siamo leggermente più smalizati e dubitiamo sempre delle notizie riportate dai quotidiani, immaginando verità nascoste e complotti, ma io non riuscivo ad accettare una versione tanto semplice per un evento così grande da sconvolgere il destino di una Nazione. E, in effetti, la storia degli anni successivi ha poi testimoniato e giustificato il mio scetticismo di allora. Ancora oggi dopo indagini, commissioni, processi, libri e trattati, film e serial TV, nessuno più crede che un alienato come Oswald abbia potuto da solo portare a termine questo gigantesco crimine. Il tempo bigio non era incline all'ottimismo così

come sembravano gli americani con i quali ebbi occasione di scambiare qualche impressione. Nel 1989 sono capitato a Dallas, accompagnato da mio figlio Francesco, in occasione della *World Convention* sulla “contestata” *Fusione Fredda* tenuta dai 2 chimici Fleischmann e Pons e la nostra meraviglia fu grande nello scoprire che la ricostruzione dei luoghi dell'assassinio di Kennedy faceva parte di un itinerario turistico, al pari del villaggio ricostruito per ricordare il popolare serial televisivo “Dallas”.

New York sembrava paralizzata in un'atmosfera di incredulità e di impotenza pur mantenendo un apparente attivismo. Comunque, deciso a portare a termine il mio periodo di “apprendistato”, mi accinsi a seguire il classico programma turistico con visita di musei e monumenti che conoscevo già in fotografia e che prevedeva: *Central Park, Statue of Liberty, Guggenheim Museum, Metropolitan Museum of Art (The Met), Museum of Modern Art (MoMa), Green Village, Empire State Building, Rockefeller Center, Times Square, Fifth Avenue, Broadway, Wall Street, Brooklyn Bridge, Saint Patrick Cathedral, Little Italy, Chinatown, le caratteristiche Libraires e i grandi magazzini come Macy's e Saks.*

In serata affaticato e malinconico non ho resistito alla tentazione di cercare un po'di calore umano e di parlare in italiano; così telefonai ad un mio cugino che peraltro era un mio omonimo americanizzato. Anche telefonare da un telefono pubblico non fu impresa facile, ma dopo una serie di prove, con spreco di diversi cents, riuscii a raggiungere lo scopo prefissato. Non ci fu niente da fare, fui quasi costretto ad accettare un invito a pranzo per la domenica; non mi dovevo preoccupare di nulla, sarebbero venuti a prelevarmi intorno alle 10 a.m. direttamente al mio Hotel, che forse meritava un appellativo più modesto.

Domenica 24 novembre

Il pranzo della domenica in un quartiere fuori Manhattan si svolse in un'atmosfera surreale, fui baciato e abbracciato da decine di persone convocate per l'occasione, per tutti ero il figlio del professore Michele che aveva lasciato la Calabria una trentina di anni prima con tutta la sua numerosa famiglia. Ricordo il mio imbarazzo e, vergognandomi leggermente, dovetti confessare la mia scarsa conoscenza della parentela calabrese. Fui peraltro rimproverato per non aver pensato alla loro ospitalità nel mio soggiorno a New York, ma che, peraltro, mi avrebbe procurato non poche difficoltà nello svolgimento del mio programma turistico.

Esauriti i ricordi familiari, l'argomento dei discorsi fu l'assassinio del Presidente democratico Kennedy che realizzai quanto fosse amato e rispettato dalla comunità italo-americana, ben lontana dallo stereotipo di simpatie per organizzazioni mafiose del tipo *Il Padrino*. Ebbi modo al contrario di notare una certa preoccupazione per lo sviluppo futuro della situazione che, a loro dire, non avrebbe favorito le comunità dei nuovi americani. Era opinione diffusa fra i miei parenti più anziani che Kennedy non fosse poi così amato negli USA come io stesso ne ero convinto. In serata appresi dalla TV che Oswald, arrestato poche ore dopo l'attentato, era stato ucciso da Jack Ruby un criminale statunitense fuori controllo nella Centrale della Polizia di Dallas. Sinceramente il tutto mi sembrò una strana coincidenza meravigliandomi non poco dell'accettazione generale di una versione che dava l'impressione di essere piuttosto la sceneggiatura di un thriller ben congegnato.

Lunedì 25 novembre, Funeral Day

Gli ospiti dell'Ostello erano in maggioranza giovani, molti stranieri anche qualche italiano, studenti o *post-doc* con i quali era facile fare amicizia. Quel giorno non si parlava d'altro durante la cerimonia dell'igiene in versione collettiva: a Washington si svolgevano i funerali di Kennedy e la NBC avrebbe curato il collegamento a partire dalle 10 a.m. circa. Ebbi modo di assistere ad un vero e proprio evento storico, la partenza della processione dalla Casa Bianca, al seguito i fratelli del Presidente Robert e Edward, Jacqueline per mano il piccolo John jr. e Caroline, i Marines che portavano il feretro a braccio, la parata militare, la maestosa *St. Matthew Cathedral*, la messa celebrata dall'Arcivescovo di Boston, il commovente elogio funebre con brani dei discorsi di Kennedy, primo fra tutti l'indimenticabile *"My fellow Americans, ask not what your country can do for you; ask what you can do for your country"* (Non chiedete cosa può fare il vostro paese per voi, chiedete cosa potete fare voi per il vostro paese), le musiche solenni che non conoscevo, e l'intervento di 220 personalità straniere da 92 paesi, la presenza di 19 capi di stato (come ebbi modo di leggere in seguito). Queste sequenze commoventi da allora sono entrate a far parte della storia e il film di quell'evento sarà poi diffuso in tutto il mondo e immagino che molti di noi abbiano avuto modo di rivederlo tante e tante volte negli anni successivi. Verso le due un po' frastornato abbandonai il mio punto di ascolto in mezzo ad una folla visibilmente commossa e prosaicamente cercai un piccolo ristorante in cui mangiare.



JFK Funeral day

Lessi in seguito che il feretro era stato traslato nel *Cimitero Nazionale di Arlington* che ebbi modo di visitare qualche anno più tardi e dove, da allora, giganteggia la scritta del già citato brano del discorso di Kennedy. Mi ricordai che per esercitarmi nell'inglese con il mio anziano professore avevo letto molti dei discorsi di Kennedy a partire dal suo insediamento nel 1961 e mi fece molto piacere sentirli evocati per l'occasione. La giornata finì con la visione di un film francese con i sottotitoli in inglese e il fatto di aver capito quasi tutto mi sembrò incoraggiante.

In attesa di volare in California

Il mio volo per San Francisco era fissato per il venerdì 29 e nei giorni che seguirono svolsi con cura e diligenza il programma turistico che mi ero prefissato, leggevo quotidianamente i giornali e seguivo assiduamente in TV le vicende di questa Nazione ferita e incerta. Non avevo un'esperienza diretta antecedente dell'America, ma in quei giorni ebbi la sensazione che l'America non sarebbe stata più la stessa: l'attentato al suo Presidente l'aveva colpita nel profondo mettendo in ombra *"the American dream"* (il grande sogno americano), le aveva fatto conoscere l'insicurezza e intaccato la certezza della sua superiorità mondiale. Confesso che la morte di Kennedy mi aveva colpito come capita quando si perde un ideale. Io, così come tanti giovani democratici italiani, ci eravamo impensieriti di questo leader giovane, brillante, intellettuale uscito da Harvard, ricco e affascinante che esprimeva in modo semplice principi di altissimo valore politico e sociale, facendone un'icona di riferimento.

Una mattina di quei giorni andai alla *Columbia University* nel nord di *Manhattan* a trovare un giovane professore di quella Università che si occupava di Farmacologia del Comportamento e il cui nominativo mi era stato dato da un collega dell'Istituto a cui, fra l'altro, aveva anche preannunciato la mia visita. La Columbia è stata sempre una delle *top ten* università del mondo e nei suoi ruoli figuravano scienziati

di fama, qualche Nobel e professori citati nei libri di testo. L'incontro fu cordiale, piacevole e molto istruttivo; mi spiegò i meccanismi di scelta e di selezione nell'arruolamento del personale a tutti i livelli, seguendo metodi ben lontani dai nostri stantii concorsi universitari. Mi trattenne per il *lunch* che consumammo nella confortevole e allegra *Cafeteria* dell'Università e in quell'occasione ho conosciuto un aspetto che ancora oggi stenta a essere presente nelle nostre Università. Ovviamente parlammo dell'America dopo Kennedy e mi fece piacere riscontrare in lui molte idee da me condivise e non convenzionali. Mi aveva fatto bene questo contatto universitario e mi sentivo più preparato alla mia avventura americana.

Finalmente arrivò il giorno della partenza, lascio New York meno impaurito e leggermente più consapevole e responsabile. Nei lunghi anni che sono passati da quei giorni ho avuto numerose occasioni di tornare e di soggiornare a New York, ma le emozioni provate in quel periodo non si sono più riproposte, rientrando piuttosto nella convenzionalità.

Vado in California

Il volo aveva la durata di circa sei ore, ma il fuso ci faceva guadagnare almeno 3 ore e così arrivai al *San Francisco International Airport* poco prima di mezzogiorno. La prima cosa che notai furono i colori chiari e l'atmosfera festosa e meno austera di New York. Una piccola troupe del mio futuro *Institute* era in attesa con un cartello con il mio nome all'uscita degli arrivi. Il prof. Folkers mi aspettava a Palo Alto, così mi disse la giovane segretaria che faceva parte della troupe di accoglienza. Palo Alto era distante una ventina di miglia di autostrada che costeggiava la meravigliosa *San Francisco Bay Area*. Nella troupe c'erano due Ph.D. che sarebbero stati miei colleghi di laboratorio. Folkers mi accolse con calore, meno formale del Folkers conosciuto in Italia, in tenuta quasi sportiva e più alla mano.



Karl Folkers

In breve, furono elencate le mie necessità: l'alloggio, la macchina, il conto in banca, il posto di lavoro, la *social security*, l'orario di lavoro dello *Stanford Research Institute*, i relativi *coffee breaks* e già un invito a cena a casa del Capo per la stessa sera di venerdì. Capii in se-

guito che in America il venerdì sera era, di norma, una serata speciale riservata alle relazioni sociali. La prima cosa che mi parve subito chiara era che in America tutto era più semplice rispetto al nostro paese. Mi ricordo che Folkers mi mise subito sull'avviso dicendomi "*quando ti trovi a decidere sul da farsi scegli sempre la soluzione più logica, da noi funziona così*".

Palo Alto e Menlo Park

Il *Campus* universitario metteva a disposizione degli alloggi individuali per ospiti stranieri, anche per lunghi periodi ma, dovendo più tardi ricevere mia moglie, dovetti scartare quella soluzione trovando ospitalità temporanea in un accogliente Motel situato nei pressi della mitica "*US Route 101 (El Camino Real)*", la strada che dal nord della *West Coast* finiva a Los Angeles e che nel passato era stata percorsa dai missionari spagnoli per arrivare in Messico. Passai il *week end* a cercare un appartamento che offrisse tutte le opportunità necessarie per ospitare più tardi mia moglie, possibilmente non molto caro. Palo Alto, allora, era una cittadina universitaria molto elegante e piacevole, non so perché mi ricordò la nostra Portofino e di conseguenza gli affitti erano di livello medio alto. Nella ricerca fui molto aiutato dalla segretaria e dal suo *boyfriend*, un simpatico giovanotto che aveva la nonna di origine italiana e che era felice di poter usare le poche nozioni d'italiano che conosceva. Trovammo un'opportunità favorevole in una area di *Apartment houses for rent* nell'attigua *Menlo Park*, abitata da Ph.D. o da ricercatori stranieri, che però si sarebbe realizzata solo nel mese di dicembre inoltrato. A proposito del problema macchina, mi fu consegnata una *Ford Station Wagon* al costo virtuale di 1 \$, ma che andò presto fuori uso a causa di noie serie al motore. In *California*, dati gli alti costi di mano d'opera, in genere non conveniva riparare il guasto ma, piuttosto, procedere ad una radicale sostituzione. Fui pertanto costretto ad acquistare una macchina usata in buone condizioni, mi sembra fosse una *Chevrolet* del 1959 o del 1960. Dovevo però essere in possesso della *California Driver License*, dato che la patente italiana non era riconosciuta dalla società assicuratrice. Scoprirò che per me sarà un problema dato che ricordo di aver dovuto sostenere l'esame per ben tre volte nello spazio di poco meno di due mesi prima di poter circolare, inchiodato sulla segnaletica manuale ancora in vigore in California e sui limiti di velocità differenziati. Al contrario l'acquisto della macchina fu estremamente semplice, sino al punto di ricevere la nuova



targa per posta. Nell'attesa di poter guidare acquistai una strana bicicletta, apparentemente senza freni che però frenava invertendo il senso della pedalata.

Passato il *week end* andai allo SRI a prendere servizio e in quella occasione ebbi non poche sorprese: all'entrata mi aspettava la sempre presente segretaria che mi accompagnò nella succursale della Banca che era nel *Campus*, dove era stato aperto un conto corrente con il primo stipendio e a completamento dell'operazione mi fu consegnato il libretto d'asegni con il mio nome e quello della mia affiliazione stampate su ogni assegno. In seguito, fui accompagnato in quello che sarebbe stato il mio laboratorio e la sorpresa fu grande nell'incontrare, arrivando, una squadra di operai che aveva appena finito di rivernicciare l'intero locale.

Stanford Research Institute International (SRI)



Il laboratorio era abbastanza grande e luminoso ma incredibilmente spoglio e vuoto. Mi fu spiegato che avrei ottenuto tutto quello che ritenevo necessario per il mio lavoro compilando una richiesta dettagliata per avere dalla *stock room* tutto il necessario in breve tempo. Le strumentazioni più importanti erano centralizzate e fatte funzionare da tecnici specializzati. A mia insaputa mi era stato assegnato anche un tecnico di livello 1, cioè operativamente capace, ed un tecnico di livello 3, con funzioni solo esecutive. Avrei avuto anche la possibilità di seguire studenti in tesi di diploma.

Ero abbastanza frastornato e devo dire anche preoccupato, non sicuro di potercela fare da solo. I col-

leghi che avevo incontrato in aeroporto occupavano laboratori simili sullo stesso piano e mi assicurarono il loro aiuto. Realizzai subito, e nei giorni seguenti ne ebbi la certezza, che nel sistema universitario americano da subito venivi integrato e considerato con diritti e doveri come uno di loro, non con la qualifica di ospite, ma piuttosto con quella di *staff member*.

Fortunatamente l'attesa per l'appartamento durò meno del previsto ponendo fine alla mia vita in Motel; finalmente presi possesso del mio piccolo ma accogliente alloggio che da subito realizzai aveva bisogno di una "*ripulita*". Nei fine settimana successivi, perciò, ridipinsi con pazienza bagno e cucina e rinfrescai alla meglio gli altri locali. A questo proposito ricordo la meraviglia del padrone di casa nel vedere il risultato del mio lavoro quando venne a riscuotere l'affitto alla fine del primo mese. Certamente non abituato a tanta efficienza, pretese da me solo il 50% dell'affitto. Non posso trascurare di ricordare la presenza della Manager e di suo marito. In effetti la nostra Manager, una signora ai limiti dell'obesità, aveva una funzione determinante nella vita del piccolo comprensorio. A lei bisognava rivolgersi sia per l'uso degli elettrodomestici, tipo lavatrice, aspirapolvere, tagliaerba, che per avere consigli operativi per stipulare i contratti per le utenze di telefono, luce e gas per il riscaldamento. Fra l'altro mi avvertì con orgoglio *yankee* che avrei potuto avere "gratuitamente" cubetti di ghiaccio a volontà distribuiti da una macchina automatica presente nel nostro comprensorio. Il marito, un ometto silenzioso aveva invece solo compiti esecutivi per i fabbisogni dei vari appartamenti. Mi dovetti abituare a fare tutto per telefono e non fu compito facile abituarsi alla velocità di linguaggio dei vari operatori, ma alla fine sentivo già di essere mezzo americanizzato. Mi accorsi ben presto di essere stato male abituato non essendo molto capace a cavarmela da solo in casa. Incontravo difficoltà nell'uso della lavatrice, nel prepararmi la cena, nella pulizia della moquette *wall to wall* e, egoisticamente, non vedevo l'ora dell'arrivo di mia moglie, ovviamente non solo per queste questioni pratiche. Per la lavatrice avevo trovato una soluzione avendo scovato un magazzino che vendeva per pochi dollari camicie e mutande a dozzine, una specie di usa e getta, anche se a volte rivalutavo quelle usate per un uso ulteriore. Per il problema della cena fui molto aiutato dalle minestre in scatola *Campbell*, immortalate fra l'altro da *Andy Warhol*, e da altre scatolette ipercaloriche. Facilitato dalla generosa disponibilità di cubetti di ghiaccio mi affezionai molto alla "*Coca Cola on the rocks*"

pur sapendo che a causa del suo alto contenuto in caffeina certamente non era un toccasana per il mio sistema nervoso.



Zuppe Campbell e Coca Cola by Andy Warhol

Nella cura del giardino le mie mancanze erano piuttosto evidenti e la Manager sorridendo raccontava che la diversità con gli altri giardini, ordinati e ben rasati, era dovuta alla tradizione del *garden Italian style*.

Mi era stato assegnato un campo di ricerca assai impegnativo e delicato: “*l'estrazione e l'identificazione di intermedi organici coinvolti nella catena di trasporto degli elettroni nelle reazioni luce-dipendenti della fotosintesi nelle piante*”. Data l'instabilità dei composti ero costretto a lavorare in stanza fredda e con luce molto attenuata. Le piante di elezione erano gli spinaci ed è facile immaginare il colore del mio camice che contribuì a farmi meritare il nome di *spinach man*. Ebbi modo di capire quanto importanti fossero i “*coffee breaks*” ai quali anche Folkers aveva accennato al momento del mio arrivo. In effetti i “*coffee breaks*” erano un piacevole momento di incontro e anche di scambio di idee con i colleghi degli altri laboratori. Erano preannunciati dal suono di una campanella azionata da un simpatico e cordiale “negrone” (allora era ancora abitudine chiamarli così) che spingeva un carrello pieno di meravigliosi “*donuts e muffins*”, che venivano serviti insieme all'immane tazza di “*American coffee*” del quale, dopo un'iniziale incertezza, diventai un fedele consumatore, apprezzandone fra l'altro la sua benefica funzione diuretica.

Nei mesi che seguirono lo sforzo nel portare avanti la mia ricerca fu costante e impegnativo e ben presto mi resi conto delle difficoltà che l'argomento assegnatomi comportava. Spesso mi trattenevo in laboratorio oltre l'orario e passavo qualche ora in solitudine per riprovare con maggiore attenzione un'esperienza con risultato non soddisfacente. Folkers aveva creato in laboratorio un'atmosfera molto *friendly* e almeno una volta a settimana avevamo la simpatica abitudine di riunirci in maniera informale dopo la cena, che d'abitudine era verso le 19, per scambiare idee, pareri, esperienze su tutto e su niente. Oltre a queste riunioni nelle quali i miei

amici sfoggiavano il “meglio” del loro guardaroba informale, c'era invece la riunione formale del sabato mattina: il *weekly seminar* durante il quale ognuno di noi, a turno, raccontava i progressi del proprio progetto di ricerca, ricevendo suggerimenti, a volte anche critici, sempre rivolti a migliorare i risultati in un clima di fattiva collaborazione.

Oltre al tempo dedicato alla ricerca avevo approfittato dell'eccezionale opportunità di seguire corsi di lezioni tenuti da personalità che ritenevo un mito per la Chimica e che abbondavano nella Stanford University. Avevo anche occasione di andare a Berkeley che distava una cinquantina di miglia da Palo Alto o per incontrare un caro amico farmacologo dell'ISS che trascorreva un periodo di studio in quella prestigiosa Università, o in occasione di seminari e conferenze nel mio settore di interesse.

In quel periodo le uniche occasioni di svago capitavano nei fine settimana che trascorrevi spesso a San Francisco con gli amici italo-americani, molto accoglienti e di grande compagnia. Ricordo i film *Il Sorpasso* e *il Dottor Stranamore* visti in un cinema di San Francisco, i tanti *barbecue* domenicali all'aperto, e ancora, il mitico *Golden Gate Bridge*, le gite nei paesi della Baia, nella capitale *Sacramento* e nella *Napa Valley* e, infine, un memorabile e trasgressivo viaggio a *Lake Tahoe*, grande lago di acqua dolce delle montagne della *Sierra Nevada* situato al confine tra la California e il Nevada. La località era nota per le stazioni sciistiche, ma anche per la presenza di Casinò dove passammo spensieratamente e in allegria gran parte della notte. Devo confessare che mi ero già abituato allo stile di vita americano e non mi sentivo più fuori posto, non dico integrato ma sufficientemente mimetizzato. Con l'atteso arrivo di mia moglie che diede ordine e maggior senso di responsabilità alla mia lunga solitaria parentesi americana, termina il mio racconto di quel periodo, personalmente singolare, che porterò sempre con me e che mi ha arricchito sia professionalmente che umanamente. Ho voluto raccontarlo dopo 60 anni o poco meno, facendo un grande sforzo di memoria e ricorrendo a qualche documento personale conservato con gelosia come una *reliqua*, coadiuvato anche da Google per stabilire con precisione alcuni particolari. ■

Nota dell'autore

La maggior parte delle figure riportate sono state ottenute tramite il motore di ricerca “Google” a cui va il nostro apprezzamento.

Silvano Fuso

✉ silvanofuso@tin.it

Conclusa la Settima Edizione del Premio Asimov per l'Editoria Scientifica

Si è conclusa il 12 maggio u.s., con una cerimonia nazionale online, la settima edizione del Premio Asimov, nato per avvicinare il mondo della scienza e quello della scuola e promosso dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), con la collaborazione e/o il patrocinio di numerosi enti, istituzioni, università e associazioni: tra queste anche la Divisione Didattica della SCI.

Il Premio Asimov è un'iniziativa rivolta alle scuole superiori con lo scopo di promuovere tra i ragazzi la lettura di libri di argomento scientifico.

Una Commissione Scientifica, formata da docenti di istituti superiori e universitari, scrittori, giornalisti, studenti di dottorato e amici della cultura scientifica, seleziona ogni anno una cinquina di libri, tra quelli pubblicati negli ultimi due anni. I libri finalisti della settima edizione sono stati i seguenti:

- Paolo Alessandrini, *Il Bestiario Matematico*, Hoepli, Milano 2021
- Marco Ciardi, *Breve storia delle pseudoscienze*, Hoepli, Milano 2021
- Agnese Collino, *La malattia da 10 centesimi*, Codice, Torino 2021
- Paul Sen, *Il frigorifero di Einstein*, Bollati-Boringhieri, Torino 2021
- Licia Troisi, *La sfrontata bellezza del cosmo*, Rizzoli, Milano 2020

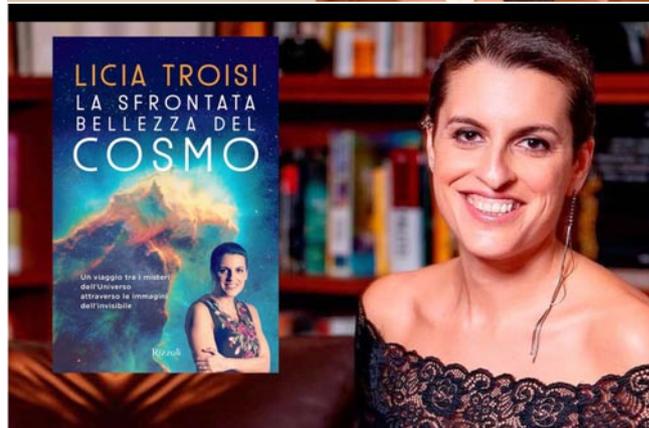
I libri sono stati successivamente letti e votati da una giuria di studenti e studentesse (appartenenti a 272 scuole superiori italiane) che quest'anno hanno superato quota 12.000.

A sorpresa, l'edizione 2022 del Premio si è conclusa con un pari merito. I libri vincitori sono stati *La malattia da 10 centesimi* di Agnese Collino (Codice Edizioni), che ripercorre la storia della poliomielite e delle relative vaccinazioni, e *La sfrontata bellezza del cosmo* di Licia Troisi (Rizzoli), che fa scoprire i

segreti dell'universo partendo dalle immagini che hanno fatto la storia dell'astronomia.

Le due autrici sono intervenute durante la cerimonia online del 12 maggio e hanno risposto alle numerose domande che sono state rivolte loro in diretta.

Gli studenti e le studentesse hanno comunque recensito anche tutti gli altri libri finalisti. Le loro recensioni sono state valutate dai membri della Commissione Scientifica e gli autori e le autrici delle migliori sono stati premiati nelle cerimonie regionali (sia online che in presenza). Gli studenti rappresentanti di ogni regione hanno, inoltre, partecipato alle



tavole rotonde moderate su ciascuno dei libri finalisti, svolte durante la cerimonia conclusiva. Nelle tavole rotonde hanno potuto esprimere i loro commenti sui libri e raccontare le proprie esperienze al numeroso pubblico che seguiva online.

Le recensioni, per essere ammesse alla valutazione, hanno dovuto superare un severo controllo antiplagio effettuato con apposito software. Solo poche recensioni sono state bloccate, dimostrando la sostanziale onestà degli studenti. Inoltre, il livello qualitativo medio delle recensioni è stato ottimo.

Un enorme sforzo organizzativo e tecnico-informatico (gestito soprattutto dall'INFN di Cagliari) ha consentito il complesso coordinamento dei numerosissimi partecipanti e un'efficiente gestione di tutti i contributi. I numeri di questa edizione sono stati davvero importanti, soprattutto se confrontati con quelli delle scorse edizioni: 18 il numero di regioni partecipanti, 154 le città coinvolte, 272 le scuole, 700 i professori, 12.326 gli studenti registrati.

Dalla prima edizione del 2016 (limitata alla sola regione Abruzzo e con 200 studenti partecipanti), la partecipazione al Premio Asimov è cresciuta costantemente negli anni.

Dal 2018 il Premio Asimov è diventato un progetto del Comitato di Coordinamento della Terza Missione dell'INFN, assumendo un carattere nazionale. Dal 2020 l'iniziativa è arrivata anche oltreoceano con una prima edizione del Premio Asimov Brasil, organizzata dall'Instituto de Estudos Avançados (IdEA) e dall'Universidade Estadual de Campinas (Unicamp).

In ogni regione italiana, un coordinatore regionale, ha gestito i rapporti con le scuole del territorio e organizzato le operazioni locali. Tutte le regioni, in date differenti, hanno programmato cerimonie online e in presenza per premiare gli autori delle migliori recensioni.

Le regioni partecipanti quest'anno sono state le seguenti: Abruzzo, Basilicata, Campania, Calabria, Emilia-Romagna, Friuli-Venezia Giulia, Lazio, Liguria, Lombardia, Marche, Molise, Piemonte, Puglia, Sardegna, Sicilia, Toscana, Umbria e Veneto.



Il giorno 20 maggio, presso la sala Bronzo (Pad. 2) del Salone del libro di Torino, si è svolto infine l'evento "Chi ha vinto il Premio Asimov per la divulgazione scientifica?". Un'ampia rappresentanza degli organizzatori del Premio (Wanda Alberico, Claudia Cecchi, Giuseppe Di Sciascio, Carlo Puggioni, Anna Parisi, Marco Radici, Enrico Vigezzi, Francesco Vissani e lo scrivente) ha incontrato una delle due autrici vincitrici, Licia Troisi, e dialogato con lei, di fronte a un numeroso pubblico. Quest'ultimo ha molto apprezzato l'autrice e le ha posto svariate domande su argomenti che hanno spaziato su scienza, scuola, educazione e molto altro. Purtroppo, l'altra vincitrice, Agnese Collino, non ha potuto partecipare per imprevista causa di forza maggiore. L'evento è stato realizzato in collaborazione con l'Associazione Librai Italiani (ALI), la Commissione Scientifica Nazionale del Premio Asimov e l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare.

Come sempre è stato fondamentale il contributo organizzativo di Francesco Vissani, fisico dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso, che, oltre a svolgere il ruolo di coordinatore per l'Abruzzo, è l'ideatore del Premio e il coordinatore nazionale. Il suo entusiasmo e la sua inesauribile energia hanno ancora una volta rappresentato il motore principale di tutta l'iniziativa. Il Premio Asimov verrà presentato anche alla 41^a International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2022) che si svolgerà a Bologna dal 6 al 13 luglio 2022.

La Commissione Scientifica è già al lavoro per la selezione della nuova cinquina dei libri finalisti dell'ottava edizione del Premio. ■

Riccardo Lucentini, Gianluigi Albano, Ottavia Bettucci, Chiara Corradi, Antonella Maria Maggino, Massimo Trotta, Stefano Cinti

Gruppo Interdivisionale Diffusione della Cultura Chimica della Società Chimica Italiana

✉ scicultura@gmail.com

ChiMiCapisce? 2022

“Ciao, ti va di spiegare la tua ricerca?”

“Certo, lo faccio spesso”

“Ok, ma devi farlo in tre minuti”

“Ehm, ok se mi impegno rientro nei tempi”

“Dai bene, allora ci vediamo il 24 maggio nella sala convegni della sede centrale del CNR, a Roma”

“Ottimo, sarà divertente!”

“Ah, un’ultima cosa: il tuo intervento dovrà essere comprensibile per un gruppo di cento liceali”

“.....”

Lo scorso aprile, il Gruppo Interdivisionale Diffusione della Cultura Chimica in collaborazione con il Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana (SCI), ha lanciato questa sfida a tutti i giovani soci della società, con lo scopo di trovare ricercatori capaci di comunicare al meglio il loro lavoro ad un pubblico non specialistico. Hanno risposto alla chiamata 23 chimici e chimiche da tutta Italia; dodici di questi sono stati selezionati per partecipare alla finale di **ChiMiCapisce?**, il contest della divulgazione della chimica.

La sfida è molto complessa: è necessario trovare il giusto compromesso tra rigore scientifico e comunicabilità, utilizzare il linguaggio più adatto al contesto, aggiungere quella trovata eccentrica che colpisce il pubblico e rimanere fedeli al proprio stile per trasmettere un senso di credibilità. I dodici concorrenti sono tutti riusciti in questa piccola grande impresa, ma solo due sono arrivati ai premi.

L’organizzazione ha, infatti, optato per l’istituzione di due giurie: una popolare, composta dagli studenti e dalle studentesse di alcuni licei romani, e una tecnica, composta dalla dott.ssa Marta Da Pian, coordinatrice del Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana, il prof. Donato Monti, direttore del museo “Primo Levi” del Dipartimento di Chimica dell’Università La Sapienza di Roma, il prof. Luigi Campanella, presidente della rete dei musei scolastici, e dal dott. Gianluigi Albano, consigliere del Gruppo Interdivisionale Diffusione della Cultura Chimica.



I finalisti del premio e i direttivi del Gruppo Interdivisionale Diffusione della Cultura Chimica e Gruppo Giovani della SCI

Questi spettatori interessati hanno assistito a dodici contributi che hanno fornito un ottimo spaccato della ricerca chimica in Italia: batteri fotosintetici, chimica verde, macchine molecolari, spettroscopia elettronica, nanomateriali, biosensori e molto altro. L’assortimento di tematiche e di personalità era tale da soddisfare ogni palato.

Riccardo Demarco, dottorando del Dipartimento di Scienze Chimiche dell’Università di Padova, ha convinto i liceali romani con una presentazione accattivante e uno stile comunicativo che attinge a piene mani dalla sua attività divulgativa sui social network. Il tema della sua ricerca, ovvero il recupero di fibre tessili da abiti destinati alla discarica, ha fatto il resto: quando si parla di sostenibilità e ambiente, le giovani generazioni sono molto coinvolte. Una nota sicuramente positiva, data l’importanza sociale e scientifica dell’argomento.

Il dott. Demarco non ha convinto solo la giuria popolare; anche la giuria tecnica è stata ben disposta nei suoi confronti, assegnandogli un punteggio molto elevato e ponendolo al secondo posto della graduatoria. Il premio della giuria tecnica è andato infatti a Massimo Dell’Edera, PostDoc presso l’Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR di Bari: il suo



A sinistra Massimo Dell'Edera vincitore del contest *ChiMiCapiSce?* 2022 (voto giuria tecnica + giuria popolare), a destra Riccardo De Marco vincitore del premio giuria popolare

racconto sull'utilizzo di nanoparticelle di ossidi per la fotocatalisi e la conversione di energia ha colpito per immediatezza, semplicità e originalità. La sua slide, con protagonista Amadeus, che spiega la differenza tra conduttori e semiconduttori, è già un cult.

La mattinata all'insegna della divulgazione chimica è stata un successo sotto tutti i punti di vista, come racconta Massimo Trotta, consigliere del Gruppo Interdivisionale Diffusione della Cultura Chimica: "È stata una cosa ben fatta. Vedere tanti ragazzi, tanti insegnanti, e tanti giovani talenti scientifici parlare di ricerca, guardandosi negli occhi e guardando negli occhi il pubblico dopo due anni orribili, stimola ottimismo, creatività e voglia di fare. Con la chimica e per la chimica."

Usando il linguaggio più adatto all'evento: "Raga! 'na figata"

Anche Marta Da Pian, coordinatrice del Gruppo Giovani della SCI, si ritiene pienamente soddisfatta della terza edizione del premio. L'alta qualità dei contenuti presentati dai finalisti dimostra l'importanza di applicare tecniche di comunicazione efficace anche in pitch scientifici. L'evento *ChiMiCapiSce?* è stato infatti organizzato subito a seguito del *Workshop Y-Rich*, che si è tenuto il 23 maggio u.s. presso la Sede Centrale della SCI in Viale Leigi a Roma e che ha previsto interventi di professionisti dal mondo dei TED talk, vincitori ERC e recruiter aziendali mirati alla formazione dei giovani nella presentazione dei progetti di ricerca e dei colloqui di lavoro. ■

La Divisione di Didattica dice la sua sul decreto-legge 36/2022 che norma la formazione iniziale degli insegnanti

In data 30 aprile 2022, nella Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana – Serie Generale – n.100 – capo VIII – Artt. 44 e 45, è stata pubblicata la norma che istituisce la formazione iniziale e lo sviluppo professionale in servizio obbligatori degli insegnanti italiani in applicazione del PNRR (decreto-legge 36/2022). La norma sarà a breve convertita in legge e diventerà operativa con la successiva elaborazione dei decreti attuativi.

La Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI) accoglie con favore la decisione di porre termine alla drammatica assenza di un percorso di formazione iniziale specifico per gli insegnanti di



scuola secondaria, assenza che ha inciso pesantemente sulla qualità dell'insegnamento di tutte le discipline e, in particolare della Chimica. Tale deci-

sione potrà rappresentare una svolta formativa e culturale di enorme rilievo per il nostro Paese, con importanti e positive ricadute sulla formazione delle giovani generazioni di cittadini, a patto che si ponga attenzione a non sottomettere la qualità della formazione insegnanti ad interessi di parte, scegliendo di privilegiare considerazioni di carattere pedagogico, didattico e disciplinare rispetto a logiche di altra natura.

In questa delicata fase di messa a punto del testo di legge, la DD-SCI sente l'urgenza di sottolineare alcune criticità presenti nel decreto.

- Il decreto prevede l'acquisizione di 60 CFU, cosa che potrà essere svolta in concomitanza con l'intero percorso universitario, già a partire dal 1° anno di università. Molte associazioni scientifiche e disciplinari hanno evidenziato come un ingresso così precoce sia incompatibile con l'obiettivo di garantire la qualità del percorso formativo: per poter promuovere e sviluppare nel futuro insegnante consapevolezza del compito, sperimentabilità, riflessività è, infatti, indispensabile che la formazione disciplinare di base sia conclusa e consolidata. Pertanto, è fondamentale che il percorso sia almeno post-laurea triennale.
- È necessario che tale percorso sia strutturato e che preveda corsi dedicati, attivati attingendo alle competenze formative presenti nelle università, in stretto contatto con ambienti di ricerca didattica. In assenza di queste condizioni, pare evidente il rischio di cadere in una logica cumulativa di CFU, scelti *à la carte*, con conseguente proliferazione del mercato dei CFU on line.
- È fondamentale che la formazione avvenga prevalentemente in presenza. La dimensione sociale dell'apprendimento, così importante per garantire

il successo del percorso formativo di qualsiasi allievo, non può essere ridotta a puro esercizio verbale nel percorso di formazione degli insegnanti. Pertanto, deve essere specificato un limite di CFU acquisibili on line non superiore al 20%.

- Gli aspiranti insegnanti dovranno svolgere attività di tirocinio e laboratori didattici, essenziali per apprendere i saperi e le pratiche dell'insegnamento. Pertanto, è necessario prevedere tirocini in presenza, cogestiti da università e scuola, in stretta collaborazione con tutor scolastici adeguatamente formati.
- Poiché la pratica didattica è sempre disciplinare, è fondamentale che le didattiche disciplinari trovino adeguato spazio nel percorso di formazione insegnanti, così da favorire il trasferimento sul campo degli esiti della ricerca didattica disciplinare, instaurando un rapporto virtuoso tra università e scuola. A questo scopo sosteniamo la necessità di riconoscere istituzionalmente la ricerca didattica disciplinare in ogni singola disciplina.
- La DD-SCI auspica una collaborazione fittiva tra università e scuola anche per quanto riguarda la formazione continua degli insegnanti in servizio, in particolare tra i nuovi Centri Universitari per l'Insegnamento e l'Istituto di Alta Formazione previsto dal recente decreto ministeriale.

La DD-SCI invita i Ministri e l'aula parlamentare ad apportare i necessari correttivi al testo attualmente in esame, al fine di cogliere appieno l'opportunità unica che ci viene offerta in questo frangente storico-politico: formare generazioni di cittadini in grado di affrontare le sfide del futuro. ■

Il Direttivo della DD-SCI

€ 12,00

