

# C<sub>n</sub>S

## La Chimica nella Scuola

n. 3 anno 2021

- › **Metodologie didattiche e percorsi laboratoriali dall'università alla scuola primaria**
- › **La storia di una chimica poco nota e quella di un chimico molto contestato**
- › **Qualche saggia riflessione sul rapporto uomo - pianeta**

## SOMMARIO

---

### EDITORIALE

- 3** Prepariamoci per tempo ad un nuovo anno di didattica

Margherita Venturi

### METODOLOGIE DIDATTICHE PER L'UNIVERSITÀ

- 4** STEM-CPD@EUni: un progetto per lo sviluppo professionale continuo dei docenti delle discipline STEM nelle università europee

Oreste Tarallo e Vincenzo Russo

### L'APPROCCIO STORICO-EPISTEMOLOGICO PER LA SCUOLA SUPERIORE

- 8** Alla scoperta della natura dell'aria - Prima parte: la materialità dell'aria e l'esistenza del vuoto

Eleonora Aquilini, Antonio Testoni e Roberto Zingales

### PERCORSI LABORATORIALI

- 13** Cinetica di reazione e modello SIR: un percorso trasversale di educazione civica tra chimica, matematica ed epidemiologia

Martina Pistolesi e Sandro Jurinovich

### PERCORSI DIDATTICI PER LA SCUOLA PRIMARIA

- 22** Fake news scientifiche: insegniamo ai bambini come riconoscerle

Lorenzo Cassine

### MUSEI SCIENTIFICI E DIDATTICA

- 28** Il sogno di un Museo Scientifico Scolastico Italiano

Luigi Campanella

- 29** Musei di Chimica e Collezioni Scientifiche di Chimica in Italia

Valentina Domenici e Luigi Campanella

### PAGINE DI STORIA

- 33** Clara Cynthia Benson (1875-1964)

Rinaldo Cervellati

- 38** Il sottile confine tra inettitudine e inganno: il caso degli amminoacidi tumorali della serie D

Marco Fontani, Mariagrazia Costa, Francesca Salvianti e Mary Virginia Orna

### DARE VOCE AGLI STUDENTI

- 45** Chimica, che passione!

Alberto Ariosto

### PILLOLE DI SAGGEZZA

- 46** Vincenzo Balzani: l'uomo e il pianeta Terra

### KEYWORDS

- 50** Chimismo: la spiegazione chimica del mondo

Giovanni Villani

### COMUNICAZIONI BREVI

- 53** Il modello collaborativo EChemTest® e la certificazione on line per l'accesso alle università europee: il caso Crotone

Antonio Laganà, Roberta Selvaggi, Daniele Maggiore e Ermanno Lasta

- 58** Le macchine della Chimica: riflessioni di un chimico in pensione

Rosario Nicoletti

### NEWS

- 63** Qualche notizia

a cura di Antonella Russo e Silvano Fuso



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, Antonio Floriano, Maria Funicello, Silvano Fuso, Elena Ghibaudi, Elena Lenci, Anna Maria Madaio, Raffaele Riccio, Antonella Rossi, Antonio Testoni, Francesca Turco, 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

# Prepariamoci per tempo ad un nuovo anno di didattica

**C**ara/o lettrice/lettore, questo numero del CnS uscirà quando ormai le scuole di ogni ordine e grado hanno chiuso le loro attività, o le stanno concludendo. È giustissimo prendersi una pausa, perché siamo tutti sfiancati da più di un anno di pandemia e di didattica a singhiozzo, ma ti consiglio caldamente di leggere e di tenere in serbo quanto è qui pubblicato, perché potrai trovare spunti molto utili per ripartire il prossimo anno.

Sono infatti ricchissime le rubriche che propongono percorsi didattici nei quali non solo si affronta il problema di come insegnare, ma anche di cosa insegnare: si parla di materialità dell'aria e di esistenza del vuoto secondo un approccio storico-epistemologico, di come sia possibile utilizzare le equazioni cinetiche per simulare la diffusione delle epidemie e, perfino, di come si possa affrontare il tema delle fake news nella scuola primaria.

Ma questo non è tutto, perché potrai leggere dell'importanza dei musei scientifici per la didattica chimica e dell'esistenza di un progetto per lo sviluppo professionale continuo dei docenti delle discipline STEM nelle università europee, potrai scoprire figure di chimici non noti o controversi nelle pagine di storia, potrai conoscere il punto di vista dei chimici sul significato di alcune parole, questa volta è il turno di chimismo. Nel presente numero troverai anche, oltre ad alcune notizie dell'ultima ora e qualche considerazione sulla chimica di un giovane studente, due comunicazioni brevi, una per metterti al corrente di un bel risultato ottenuto da una scuola italiana e l'altra per condividere qualche riflessione di un chimico ormai in pensione.

Infine, desidero ricordare la rubrica Pillole di Saggia nella quale sono riportati quattro contributi in cui si parla del rapporto uomo-pianeta. Si tratta di articoli brevissimi, ma densi di concetti e considerazioni che offrono tanti spunti dal punto di vista etico, sociale, ambientale e, soprattutto, didattico; li ho voluti riportare in questo numero del CnS perché stiamo cominciando a vedere la luce in fondo al tunnel, a parlare di fine dell'emergenza e a gioire per

la tanto desiderata ripresa. Non voglio rompere le uova nel paniere, ma non potremmo, o meglio non dovremmo ricominciare a vivere come prima e a consumare come prima, al contrario di quello che molti pensano o sperano. È proprio questo l'insegnamento che dovremmo ricavare dalla pandemia che ha messo in ginocchio il mondo e che ha messo a nudo tutti i limiti e le distorsioni del nostro modo di vivere. Tutto ciò, infatti, è potuto accadere a causa del nostro dissennato comportamento nei confronti del pianeta: degradazione dell'ambiente, esagerata antropizzazione del suolo, inquinamento, perdita di biodiversità, cambiamento climatico, etc. Se non vogliamo che altre pandemie distruggano l'umanità, dobbiamo cambiare rotta e pensare allo sviluppo in un'ottica ECOlogica, che mette al centro il pianeta, e non EGOlogica, che invece considera l'uomo padrone del mondo. E allora il prossimo anno, sperando che tutto sia finito e che si possa rientrare in classe, non dimentichiamo quanto è successo e condividiamo queste considerazioni con i nostri studenti, nelle mani dei quali lasceremo il pianeta. Parliamo con loro di rispetto per l'ambiente e di sostenibilità, celebriamo assieme a loro le giornate mondiali dedicate al pianeta, alle sue risorse e alla biodiversità, ricordiamo

quando si verifica l'Earth Overshoot Day, analizzando i motivi del peggioramento della situazione con il passare degli anni, a parte l'eccezione del 2020 (costrizione o aumento di consapevolezza?). Non sarà assolutamente tempo perso, anche perché lo possiamo fare insegnando la Chimica dato il ruolo fondamentale che essa svolge per realizzare uno sviluppo sostenibile e salvaguardare il nostro pianeta. È giustissimo insegnare i fondamenti della Chimica, ma non ci si deve limitare ad essi; dobbiamo insegnare una Chimica "viva", quella che permea ogni momento della nostra quotidianità. Così facendo prendiamo due piccioni con una fava: motiviamo gli studenti a studiare la nostra disciplina e formiamo futuri cittadini responsabili, maturi e consapevoli, perseguendo quello che è l'obiettivo prioritario della scuola di ogni ordine e grado.



**Oreste Tarallo e Vincenzo Russo**

Dipartimento di Scienze chimiche, Università degli Studi di Napoli Federico II. Complesso Universitario di Monte Sant'Angelo, Napoli

✉ oreste.tarallo@unina.it; v.russo@unina.it

# STEM-CPD@EUni

## Un progetto per lo sviluppo professionale continuo dei docenti delle discipline STEM nelle università europee

### RIASSUNTO

*Il progetto europeo STEM-CPD@EUni è un progetto di partenariato strategico Erasmus+ che vede coinvolti cinque Atenei Europei e l'Associazione ECTN. Il progetto mira allo sviluppo professionale continuo dei docenti che insegnano discipline STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) nelle università europee. L'idea centrale del progetto è quella di creare un nuovo tipo di attore in grado di promuovere lo sviluppo professionale continuo (CPD) nell'insegnamento STEM, il CPD-Ambassador, un docente che si impegna non solo a formarsi per migliorare la qualità e l'efficacia della propria attività didattica, ma che vuole anche pianificare e promuovere attività di formazione professionale continua nella propria realtà locale. Il progetto si basa sul framework TPACK (una sinergia di conoscenza tecnologica, pedagogica e del contenuto). In questo articolo si descrivono le motivazioni del progetto e la strategia che si intende perseguire per realizzare i suoi obiettivi.*

### ABSTRACT

*The STEM-CPD@EUni project is an Erasmus+ strategic partnership project involving five European universities and the European Chemistry Thematic Network (ECTN). The project is aimed at the continuous professional development (CPD) of lecturers teaching STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) disciplines in European universities. The central idea of the project is to create a new figure, able to promote continuous professional development in STEM teaching, the CPD-Ambassador. The project is based on the TPACK framework (a synergy of technological, pedagogical, and content knowledge). This article describes the rationales behind the project and the strategy to be pursued to achieve its objectives.*

### Introduzione

La qualità e il successo dell'istruzione universitaria dipendono da molteplici fattori, che vanno da aspetti meramente organizzativi e logistici (pianificazione dei corsi di studio, disponibilità di aule, laboratori, strumentazione, ...) alle competenze sviluppate dagli studenti al termine del loro percorso di studi. Fra questi aspetti, di fondamentale importanza è lo sforzo e l'impegno dei docenti, la loro motivazione, competenza e la personale idea che hanno su quali siano le buone pratiche di insegnamento. Ancora oggi, è convinzione piuttosto diffusa nelle facoltà scientifiche che le competenze legate all'insegnamento siano una sorta di "dono" o "talento innato" [1], o che vengano acquisite automaticamente insieme all'esperienza. La ricerca didattica mostra che ancora oggi molti docenti insegnano secondo una metodologia "tradizionale", nello stesso modo cioè in cui è stato loro insegnato [2]: questi docenti fondano la loro azione didattica soprattutto sul trasferimento della conoscenza e considerano quale obiettivo principale del loro lavoro la trasmissione delle informazioni [3]. Di conseguenza, tipicamente, i docenti non avvertono la necessità di partecipare a programmi di sviluppo delle proprie competenze didattiche o, se vi prendono parte, una volta terminata la fase di formazione, si ritrovano a sperimentare le resistenze dei colleghi quando vogliono mettere in atto le innovazioni apprese [4, 5].

Da più di 20 anni l'European Chemistry Thematic Network (ECTN, <http://ectn.eu/>) si impegna attivamente nel migliorare in modo sostenibile la qualità dell'insegnamento universitario della chimica. In particolare, il gruppo di lavoro ECTN *Lecturing Qualifications and Innovative Teaching Methods* si sforza di stimolare il personale docente di nuova nomina,

promuovendo metodi innovativi di apprendimento attivo, la cooperazione e *partnership* tra docenti afferenti a diverse università europee nel loro percorso di sviluppo professionale continuo (CPD), nonché lo scambio di conoscenze ed esperienze di insegnamento, il tutto in un contesto internazionale.

A tal fine, questo gruppo di lavoro ha progettato nel 2019 un questionario per monitorare e delineare la situazione dello sviluppo professionale dei docenti di chimica e del personale che svolge attività di assistenza alla didattica (principalmente dottorandi). Il questionario è stato somministrato a personale afferente ad università partner di ECTN (38 diversi istituti di istruzione superiore di 19 diversi paesi europei). Dall'analisi dei dati raccolti è emerso che nel 90% circa delle università coinvolte nella ricerca vengono svolte attività di CPD per i docenti, anche se con metodologie molto differenti: in alcuni atenei, infatti, si propongono semplici seminari (opzionali), in altri sono stati messi a punto programmi di formazione con *workshop* che prevedono anche una fase di *coaching* e *tutoring*, in altri ancora sono stati sviluppati programmi di abilitazione all'insegnamento universitario certificati. Nessuna delle università, tuttavia, richiede che i propri docenti siano in possesso di una certificazione o di una abilitazione per poter iniziare ad insegnare. Dal questionario è emerso, inoltre, che circa il 70% delle istituzioni indagate organizza una formazione pedagogica generale, senza tener conto di alcuna specificità per le discipline scientifiche, cosa che la ricerca ritiene non particolarmente efficace [5]. Solo in sei università (15%) la formazione è specificatamente organizzata per i docenti di chimica.

Vale la pena evidenziare infine che, quando questa indagine è stata realizzata (nel 2019, ovvero prima della pandemia legata alla diffusione del virus Sars-CoV-2), meno della metà (41%) delle università coinvolte nella ricerca utilizzava strumenti di *Information and Communication Technologies* (ICT) nella didattica.

## Il progetto STEM-CPD@EUni

Sulla base di questi risultati, il gruppo di lavoro ECTN *Lecturing Qualifications and Innovative Teaching Methods* ha avviato nel settembre 2020 un nuovo progetto europeo, STEM-CPD@EUni, incentrato sul CPD dei docenti che insegnano discipline STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) nelle università europee [6]. L'idea centrale di questo progetto è quella di creare un nuovo tipo di figura in grado di promuovere lo sviluppo professionale continuo nell'insegnamento STEM, il *CPD-Ambassador*. Un

*CPD-Ambassador* è un docente che ha l'ambizione di migliorare non solo la qualità e l'efficacia della propria didattica mediante l'applicazione di specifiche innovazioni didattiche, ma che si propone anche di incidere positivamente nella propria realtà locale (Dipartimento, Scuola, ...), organizzando attività di formazione per i propri colleghi al fine di implementare diffusamente nella pratica educativa locale tali innovazioni e condividere le esperienze nella comunità degli ambasciatori CPD. È nostra convinzione che la creazione di tale nuova figura nel campo dello sviluppo professionale continuo, il *CPD-Ambassador*, aumenterà la consapevolezza dell'importanza della competenza didattica specifica nelle discipline STEM, contribuendo a definirne le esigenze e individuando l'urgenza della formazione professionale continua in questo ambito, per il miglioramento sostenibile della qualità dell'insegnamento delle scienze e in particolare della chimica.

Il progetto STEM-CPD@EUni è un progetto internazionale che fa capo ad un consorzio composto da 5 università europee: Università di Amsterdam (Paesi Bassi), Università Jagellonica di Cracovia (Polonia), Università di Lubiana (Slovenia), Università di Napoli Federico II (Italia), Università di Oulu (Finlandia) e all'ECTN. Il gruppo è costituito da partner che rappresentano facoltà o dipartimenti di chimica europei con una consolidata esperienza in attività legate allo sviluppo professionale continuo, nonché a progetti educativi internazionali.

## Quadro pedagogico: il modello TPACK

Dal momento che le tecnologie digitali trovano ampia applicazione in diversi aspetti della nostra vita quotidiana, siamo convinti che esse debbano svolgere un ruolo centrale anche nei moderni processi di insegnamento, apprendimento e valutazione. Progettare e utilizzare attività di apprendimento potenziate dalla tecnologia dovrebbe essere quindi una parte imprescindibile della formazione professionale di ogni docente. Il progetto STEM-CPD@EUni affonda pertanto le sue radici nel modello TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) [7], che sostiene che l'insegnamento sia più efficace quando la conoscenza del contenuto (CK), la conoscenza pedagogica (PK) e la conoscenza tecnologica (TK) sono utilizzate in modo integrato e aderente ai contesti in cui si svolge l'insegnamento, ovvero tenendo in debito conto aspetti specifici riguardanti l'insegnamento come il livello richiesto, la disciplina, la situazione degli studenti [8] (Figura 1).

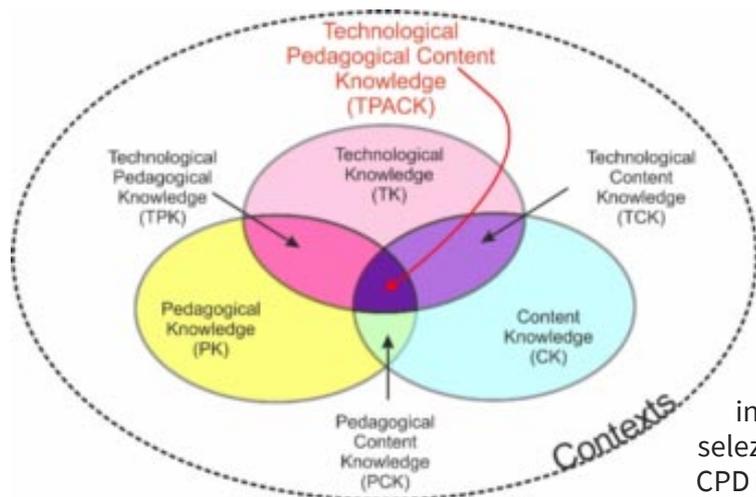


Fig. 1 Il modello TPACK [7].

Utilizzando un approccio TPACK, le attività di sviluppo professionale possono inoltre essere efficacemente integrate con la pratica didattica del docente [9]. Un modo efficace per garantire che i docenti/partecipanti alle attività CPD siano in grado di applicare le conoscenze acquisite nella loro pratica didattica è infatti rendere le attività di CPD parte della loro pratica didattica e armonizzare le attività con le loro specifiche esigenze.

### Attività del progetto STEM-CPD@EUni

Per raggiungere gli obiettivi del progetto e consentire la sostenibilità verranno implementate le seguenti attività.

#### 1) CPD-Ambassadors e Scuole Estive

Per potenziare le attività locali di CPD presso le facoltà e scuole STEM dei diversi atenei coinvolti, sarà sviluppato un programma di formazione per i CPD-Ambassadors che vedrà i suoi punti focali in due scuole estive organizzate nel corso del progetto. La filosofia di queste scuole estive è quella di formare i futuri formatori: durante le scuole estive, i CPD-Ambassadors acquisiranno conoscenze, riceveranno materiale e produrranno anche il proprio materiale per organizzare attività CPD nelle loro università di provenienza.

Per raggiungere questi obiettivi, sulla base di un questionario somministrato fra dicembre 2020 e gennaio 2021 a docenti e responsabili della didattica di tutta Europa, sono state già sviluppate delle linee guida per le attività locali di CPD (consultabili liberamente

sul sito del progetto: <http://ectn.eu/work-groups/stem-cpd/>), adatte alle esigenze e alle aspettative dei docenti europei. Tali linee guida descrivono quali saranno le competenze in uscita del docente, stabiliscono i criteri per la selezione sostenibile degli argomenti delle attività CPD in base ai diversi contesti locali e i criteri per la certificazione dei CPD-Ambassadors. L'obiettivo principale della certificazione dei CPD-Ambassadors è quello di "premiare" e rendere visibile, anche nel contesto europeo, il lavoro che intendono svolgere nelle e per le loro università. I materiali di formazione per i CPD-Ambassadors saranno sviluppati sotto forma di brevi moduli online (microMOOC) e sarà creato il quadro per supportare i CPD-Ambassadors nella creazione di una comunità di pari in seno alla quale poter condividere le loro esperienze locali con altri CPD-Ambassadors. Un'ultima, ma non meno importante fase, sarà quella di valutazione di tutte le attività svolte.

#### 2) Comunità di ambasciatori CPD

Dopo il completamento della scuola estiva, i CPD-Ambassadors rimarranno collegati in una comunità di professionisti STEM-CPD per scambiare le loro esperienze e sostenersi a vicenda nel loro ruolo di ambasciatori presso le loro istituzioni. Presso l'ECTN è già stato istituito il gruppo per collegare i docenti e tutti coloro che riconoscono l'importanza dello STEM-CPD nell'istruzione superiore. Durante il periodo del progetto i membri di questo gruppo possono diventare membri associati del progetto STEM-CPD@EUni e saranno invitati a partecipare a diverse attività del nostro progetto. Tale gruppo promuoverà il confronto ed il continuo aggiornamento dei CPD-Ambassadors al fine di creare una comunità di pari da cui nascono per il reciproco miglioramento, sia nella tecnica di formazione che nella pianificazione, iniziative future.

#### 3) Attività di formazione e workshop

Il progetto prevede la realizzazione di alcune attività di formazione per i partecipanti al consorzio. Nel febbraio 2021 si è svolto il primo workshop dal titolo *Come progettare un MOOC?* Sebbene l'evento fosse

inizialmente previsto presso l'Università di Lubiana (Slovenia), a causa delle restrizioni COVID-19 è stato organizzato online. Obiettivo del workshop è stato quello di far acquisire ai partecipanti abilità e competenze per essere in grado di sviluppare e creare microMOOC per lo sviluppo professionale continuo dei docenti universitari. Il workshop è stato un evento di apprendimento e formazione e pertanto molto tempo è stato dedicato al lavoro di gruppo, a discussioni e tavole rotonde.

## Ringraziamenti

Il progetto è co-finanziato dal Programma Erasmus+ dell'Unione Europea: STEM Continuous Professional Development at European Universities 2020-1-PL01-KA203-081802. Il sostegno della Commissione Europea per la produzione di questa pubblicazione non costituisce un'approvazione dei contenuti, che riflettono solo le opinioni degli autori, e la Commissione non può essere ritenuta responsabile per qualsiasi uso che possa essere fatto delle informazioni in essa contenute.

Si ringraziano inoltre Nataša Brouwer e Stefania Grecea (University of Amsterdam, The Netherlands), Iwona Maciejowska e Aleksandra Lis (Jagiellonian University in Krakow, Poland) Carlos Machado (Global Impact Institute, Czech Republic), Johanna Kärkkäinen e Matti Niemelä (University of Oulu, Finland), Krištof Kranjc e Črtomir Podlipnik (University

of Ljubljana, Slovenia), Sanjiv Prashar (European Chemistry Thematic Network, Belgium & Universidad Rey Juan Carlos, Spain) per l'utile scambio di idee e discussione.

## Bibliografia

- [1] D. Chalmers, D. Gardiner, *Studies in Educational Evaluation*, 2015, **46**, 81.
- [2] A. Oleson, M. T. Hora, *Higher Education*, 2014, **68**, 29.
- [3] L. McAlpine, C. Weston, *Reflection: Issues related to improving professors' teaching and students' learning*, in: *Teacher thinking, beliefs and knowledge in higher education* (N. Hativa, J. Goodyear Eds.), Springer, Dordrecht, 59, 2002.
- [4] L. Postareff, S. Lindblom-Ylänne, A. Nevgi, *Teaching and Teacher Education*, 2007, **23**, 557.
- [5] A. Stes, L. Coertjens, P. Van Petegem, *Higher Education*, 2010, **60**, 187.
- [6] N. Brouwer, I. Maciejowska, A. Lis, C. Machado, S. Grecea, J. Kärkkäinen, M. Niemelä, K. Kranjc, Č. Podlipnik, S. Prashar, V. Russo, O. Tarallo, *VIRT&L-COMM.21.2020.2*, 2020.
- [7] P. Mishra, M. J. Koehler, *Teachers College Record*, 2006, **108**, 1017.
- [8] J. Voogt, P. Fisser, N. ParejaRoblin, J. Tondeur, J. van Braak, *Journal of Computer Assisted Learning*, 2013, **29**, 109.
- [9] N. Brouwer, P. J. Dekker, J. van der Pol, *TPACK in Professional Development in Higher Education*, e-Learning Cookbook, Amsterdam, 2013. ISBN 978 90 8964 646 0, e-ISBN 978 90 4852 312 2.

Eleonora Aquilini, Antonio Testoni e Roberto Zingales

Divisione di Didattica della SCI

✉ ele.aquilini6@gmail.com; ajteston@tin.it; robertozingales@outlook.it

# Alla scoperta della natura dell'aria

*Prima parte: la materialità dell'aria e l'esistenza del vuoto*

## RIASSUNTO

*I problemi della materialità dell'aria e della natura discreta della materia sono legati storicamente al problema dell'esistenza del vuoto. Con Torricelli si comprende che l'aria ha un peso, è materia, esercita una pressione e che il vuoto è compatibile con la materia. Boyle dimostra che l'aria è un fluido elastico e ne interpreta il comportamento ricorrendo ad un modello cinetico-particellare. Entrambi i contributi furono fondamentali per la costruzione del concetto di gas e del modello "microscopico" della materia.*

## ABSTRACT

*The problems of the materiality of air and the discrete nature of matter are historically linked to the problem of the existence of vacuum. Torricelli demonstrated that air has a weight, it is matter, it exerts a pressure, and that vacuum is compatible with matter. Boyle demonstrated that air is an elastic fluid and interpreted its behavior using a kinetic-particle model. Both contributions were fundamental for the construction of the concept of gas and the "microscopic" model of matter.*

## Introduzione

La prospettiva storico-epistemologica che permette di comprendere come certi concetti sono nati e si sono sviluppati è fondamentale nell'insegnamento; lo dimostra il caso emblematico che riguarda la natura dell'aria a cui è dedicato il presente contributo, a cui ne seguirà un secondo nel prossimo numero della rivista. Entrambi questi contributi offrono una serie di "spunti didattici" per affrontare nella scuola secondaria di secondo grado in modo significativo e nell'ottica storico-epistemologica questo tema, che non è affatto banale da far comprendere agli studenti.

Il riconoscimento dell'esistenza delle sostanze aeriformi è stato ostacolato da difficoltà concettuali, pri-

ma ancora che sperimentali, perché, a differenza di quelle solide e liquide, che possono essere individuate ed esaminate attraverso i sensi (soprattutto vista e tatto), sfuggono all'analisi sensoriale. Boyle (1627 – 1691) affermava che, non potendole vedere, la maggior parte degli uomini di scienza tendeva a ignorarle, perché ciò che non si vede è prossimo al nulla [1]. Eppure, non è verosimile che per millenni l'uomo non si sia accorto dell'involucro invisibile che lo circonda, riconoscendolo indispensabile per la propria sopravvivenza, percependone i movimenti (vento) e sfruttandoli a proprio vantaggio, notandone il manifestarsi sotto forma di bolle, che si liberano da paludi o acque putride stagnanti, o per effervescenza generata versando l'aceto sul calcare (già nota agli Assiri), o durante la fermentazione alcoolica, o il riscaldamento dell'acqua al fuoco. Molti filosofi dell'antichità classica (Anassimene, Empedocle, Platone, Aristotele) attribuirono concretezza all'aria, considerandola uno dei costituenti delle sostanze materiali.

Quando l'osservazione del mondo naturale si fece più attenta e sistematica, si notò che, per riscaldamento di liquidi e solidi si sprigionavano vapori. Gli alchimisti, che sottoponevano i materiali all'azione violenta del fuoco, per ucciderli prima di rigenerarli, notarono che dal corpo morto si allontanava uno spirito, come lo spirito di vino (alcool etilico), lo spirito di vetriolo (anidride solforica), lo spirito muriatico (acido cloridrico), le prime sostanze volatili identificate.

I minatori sapevano che nelle gallerie delle miniere si sprigionano esalazioni nocive, che attribuivano ai coboldi, folletti che difendevano in questo modo il proprio territorio dall'intrusione umana.

Si può, dunque, affermare che, all'inizio del '600, l'esistenza dell'aria e degli aeriformi era un fatto accettato, anche se non ne era chiara la natura: in generale, l'aria era ritenuta l'ambiente indispensabile per la sopravvivenza di uomini e animali, per fare avvenire la combustione ed era vista come un ricettacolo nel

quale potevano dissolversi vapori e miasmi, contaminandola in maniera più o meno evidente.

Più incerta restava la consapevolezza della sua materialità, resa problematica dalla sua inconsistenza. Aristotele, riconosceva un peso all'aria, perché una vescica piena d'aria pesava più di quando era vuota. Attribuiva ai quattro elementi pesi diversi: la terra era pesante in assoluto, l'acqua relativamente pesante, l'aria relativamente leggera, il fuoco assolutamente leggero [2]; essi costituivano quattro sfere concentriche, disposte secondo il peso crescente, senza interruzioni, in modo da escludere il vuoto. Al di là della sfera più esterna, quella del fuoco, c'era l'etere, o quintessenza [3]. I suoi commentatori medievali avevano distinto gli elementi pesanti (terra ed acqua) da quelli leggeri (aria e fuoco), privi di peso, perché attratti dalla propria sfera, al di sopra della terra.

Con l'adozione del metodo scientifico, i filosofi rinunciarono a scoprire la natura intrinseca degli oggetti materiali e le loro forme sostanziali, rivolgendo la propria attenzione a problemi che potevano essere risolti attraverso la sperimentazione, indagando i fenomeni naturali e le loro correlazioni e, soprattutto, dedicandosi a quelle caratteristiche del mondo fisico che potevano essere pesate e misurate, e quindi espresse in termini matematici [4].

Tra il XVII e il XVIII secolo iniziò e si completò il percorso speculativo e sperimentale che avrebbe portato a riconoscere anche gli aeriformi come sostanze materiali, a distinguerli tra di loro e a individuarne le proprietà fisiche e chimiche. Questo percorso fu certamente agevolato sia da una diversa impostazione dell'indagine dei fenomeni naturali e da una maggiore accuratezza nella sperimentazione, sia dall'utilizzo sistematico della strumentazione, vecchia (bilancia) e nuova (barometro, bagno pneumatico, pompa da vuoto, eudiometro).

All'inizio del '600 il medico fiammingo Jean Baptiste van Helmont (1577 – 1644) riteneva che l'aria non fosse un componente delle sostanze, ma che vi si trovasse temporaneamente imprigionata; si impegnò, perciò, a liberarla, analizzandola, esclusivamente in base ai propri sensi, riconoscendone colore, odore e sapore. Notò delle differenze e, perciò, avanzò l'ipotesi che non si trattasse di aria, ma di qualcosa che, pur avendo lo stesso aspetto fisico, fosse sostanzialmente diverso, caso per caso. Negò a questi aeriformi qualsiasi consistenza materiale, ritenendoli una sorta di pre-materia, simile a quella che, verosimilmente, esisteva nel caos primordiale: li chiamò gas, forse come storpiatura dell'originale termine greco [5]. In particolare, si accorse che, in processi molto diversi, come la combustione del carbone, l'azione degli acidi sugli alcali, la fermentazione dei succhi vegetali, si

produceva sempre lo stesso gas, che chiamò gas silvestre (in latino, selvaggio), perché non era riuscito a imprigionarlo in un recipiente.

Intorno al 1630, il medico parigino Jean Rey (1583 – 1645) si accorse che il violento riscaldamento al fuoco di alcuni metalli, come piombo e stagno, non solo li trasformava in una polvere bianca chiamata calce (ossido), ma ne determinava un aumento in peso. Formulò l'ipotesi che l'aria, dotata di peso come tutte le sostanze materiali, si fosse appiccicata ai metalli durante il riscaldamento. Rey non dette seguito a questi esperimenti e a queste ipotesi.

La prima parte del percorso qui descritto è focalizzata sui contributi di Torricelli (1608 – 1647) e Pascal (1623 – 1662), in quanto riteniamo che siano fondamentali per introdurre nuove concezioni come la materialità dell'aria e l'esistenza del vuoto, che rappresentano ostacoli epistemologici e concettuali rilevanti. In particolare, il problema del peso dell'aria s'intreccia al problema dell'esistenza del vuoto.

Torricelli ebbe una grandissima intuizione nel ritenere che l'aria potesse essere “pesata” utilizzando un tubo di vetro chiuso ad un'estremità contenente mercurio e rovesciato in una bacinella. Con Torricelli il concetto di pressione appare come un concetto intuitivo che con Pascal acquista una più chiara definizione [6]. L'esperienza di Torricelli assume un grande ruolo didattico quando si recepisce la differenza, il salto che ci può essere fra l'esperimento e il suo significato. Con l'esperienza di Boyle s'introduce un altro fattore importante per la comprensione del comportamento dei gas, l'elasticità dell'aria. L'aria è un fluido elastico, può essere compresso/espanso ed esiste una relazione di inversa proporzionalità fra pressione e volume, a temperatura costante. Da un lato, questa è un'occasione importante per cogliere la regolarità di certi comportamenti e la conseguente introduzione di una legge che è espressione matematica di un fenomeno fisico [7], dall'altro, l'interpretazione di questi fenomeni rilancia l'ipotesi cinetico-particellare sulla costituzione dell'aria e più in generale della materia. Si tratta allora di ricostruire il contesto storico epistemologico in cui si è posto il problema della materialità dell'aria. In questo modo si concretizzano, in relazione al peso dell'aria, concetti come il peso specifico, la pressione e il volume [8].

## 1 Le ipotesi e gli esperimenti di Torricelli

Per millenni, fino alla prima metà del Seicento, fenomeni come l'aspirazione di un liquido con una siringa o con una cannucchia, il mancato svuotamento di una colonna d'acqua immersa in una ba-

### Un po' di storia dentro la storia

Intorno al 1630, il fisico Giovanni Battista Baliani (1582 – 1666), lavorando all'ampliamento dell'acquedotto di Genova, dovette far superare alla condotta una collina alta circa 20 metri. Utilizzò un sifone pieno d'acqua, ma, dopo averlo posto in opera, si accorse che, in entrambi i rami del sifone, l'acqua era defluita parzialmente, fino ad arrestarsi all'altezza di 10 metri. Chiese il parere di Galilei, che affermò che le colonne d'acqua più alte di 10 metri si frantumavano sotto il loro stesso peso, per eccesso di carico. Baliani, invece, e Isaac Beeckman (1588 – 1637) con lui, riteneva che fosse il peso dell'aria all'esterno a sollevare l'acqua lungo condotte chiuse fino all'altezza di 10 metri, quando si raggiungeva un bilanciamento.

Nel tentativo di far chiarezza sulla questione e con l'intento dichiarato di convincere Galileo [9], intorno al 1641 il giovane matematico e astronomo mantovano Gasparo Berti (1600 – 1644) realizzò a Roma un esperimento, alla presenza dei gesuiti Atanasio Kircher (1602 – 1680) e Niccolò Zucchi (1586 – 1670), e di Raffaele Magiotti (1597 – 1658). Dell'esperimento furono scritti quattro resoconti: quelli di Kircher e Zucchi sono in parte contraddittori e forse condizionati dai loro pregiudizi contro l'esistenza del vuoto. Quello di Magiotti fu scritto parecchi anni dopo. Il più circostanziato risulta quello di Emmanuel Maignon, noto come Magnanus (1601 – 1676), basato su una dettagliata descrizione da parte dello stesso Berti e pubblicato a Tolosa nel 1653, alla luce degli esperimenti e delle riflessioni successive. Berti attaccò verticalmente a una parete

un tubo di piombo lungo 40 palmi, chiuso da un rubinetto all'estremità inferiore, che era immersa in un barile pieno d'acqua; all'estremità superiore del tubo era fissato un fiasco di vetro capovolto, con al fondo un'apertura chiusa da un tappo. Riempiti d'acqua il tubo e il fiasco, e tappato quest'ultimo, Berti aprì il rubinetto lasciando defluire l'acqua dal fiasco, lungo il tubo, entro il barile. L'acqua, però, non defluisce completamente, fermandosi ad un livello di circa 18 cubiti (10 metri), che si mantenne fino al giorno successivo. Tolto il tappo dal fiasco, l'aria vi entrò con il caratteristico sibilo e l'acqua defluisce completamente nel barile. L'esperimento di Berti poneva due quesiti fondamentali: 1) cosa impedisse all'acqua di defluire completamente; 2) cosa rimanesse nella porzione del fiasco e del tubo al posto dell'acqua. L'ipotesi che fosse il peso dell'aria atmosferica a sostenere la colonna d'acqua contrastava con la concezione comune che l'aria fosse un fluido leggerissimo e con la difficoltà di determinare questo peso, che sembrava enorme, mentre l'ipotesi che il fiasco rimanesse vuoto contrastava con il senso comune e con l'autorevole negazione della sua esistenza da parte di Aristotele. Ovviamente, i filosofi naturali più attenti erano in grado di superare queste difficoltà e, quindi, si innescò un ampio e prolungato dibattito scientifico sul peso dell'aria e sull'esistenza del vuoto, che diedero vita a numerosi esperimenti ben congegnati e realizzati, anche se non sempre correttamente interpretati. Maignon era convinto che l'acqua fosse sostenuta entro il tubo dalla forza dell'aria circostante che bilanciava il peso

dell'acqua. Magiotti descrisse l'esperimento a Torricelli, suggerendo che, se si fosse usata acqua di mare, questa si sarebbe fermata nel tubo a un livello più basso. La possibilità che liquidi di diversa densità avessero un comportamento diverso fu presa in considerazione da Vincenzo Viviani (1622 – 1703), che, nella pagina dei Discorsi di Galilei, nella quale si spiega che una colonna d'acqua alta più di 10 metri si spezza sotto il proprio peso, come una fune cui è attaccato un carico eccessivo, annotò di suo pugno (probabilmente con il consenso dello stesso Galileo) che con altri liquidi, come mercurio, vino, olio, ecc., la rottura della colonna sarebbe avvenuta a un'altezza minore o maggiore delle 18 braccia, a seconda del loro maggiore o minore peso specifico, rispetto a quello dell'acqua [10].

Anche Torricelli era convinto che fosse il peso che l'aria esercitava sulla superficie dell'acqua a sollevarla entro il tubo, ma solo finché il peso della colonna d'acqua era minore di quello dell'aria. Accogliendo il suggerimento di Magiotti, progettò di ripetere con differenti liquidi l'esperimento di Berti, immaginandone i risultati nei dettagli: ne parlò a Viviani, che, disponendo dell'attrezzatura, lo realizzò materialmente. Riempì il tubo prima con acquerzente (una soluzione concentrata di alcool etilico) e poi con argento vivo (mercurio). I risultati confermarono le previsioni di Torricelli: il mercurio, avendo una densità 13,6 volte maggiore di quella dell'acqua, richiedeva tubi molto più corti, rendendo l'attrezzatura molto più maneggevole per i futuri esperimenti.

cinella d'acqua vennero spiegati dalla maggioranza degli scienziati e dei filosofi con la "paura del vuoto", che nella teoria fisica di Aristotele rappresentava un concetto centrale. Si pensava, cioè, che il vuoto non potesse esistere e, conseguentemente, si supponeva che la natura si opponesse (oppone resistenza) contro i tentativi effettuati per crearlo: all'apparenza, i fenomeni sopra descritti sembravano causati da questa opposizione. La nascita della scienza moderna si realizzò nel Seicento in contrapposizione radicale alla fisica aristotelica, che aveva continuato ad essere considerata anche nei secoli precedenti un dogma indiscutibile ed in sintonia con la riscoperta, dopo secoli di oblio delle antiche **concezioni atomistiche** di Democrito, Epicuro e Lucrezio, che invece avevano considera-

to l'**esistenza del vuoto** un'ipotesi scientifica fondamentale.

Indubbiamente anche le scoperte di Evangelista Torricelli, un discepolo di Galileo, furono influenzate da questo clima intellettuale profondamente rinnovato. Comunque, gli scienziati del XVII secolo, fino a Cartesio, continuarono a credere nell'opposizione della natura alla formazione del vuoto. Anche Galileo, che, ad esempio, era a conoscenza dell'impossibilità di sollevare mediante le comuni pompe aspiranti una colonna d'acqua al di sopra di circa 10 metri a partire dal pelo libero dell'acqua di un pozzo o di un bacino, non riuscì a trovare una spiegazione soddisfacente di questi fenomeni.

Nel 1644 Torricelli effettuò degli esperimenti con dei tubi di diversa forma e lunghezza, chiusi ad un'estre-

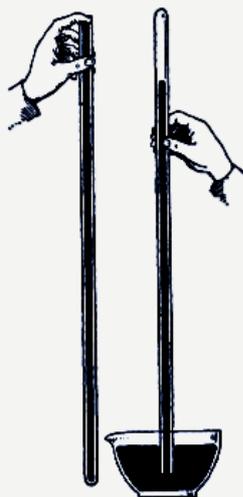


Fig. 1



Fig. 2



Fig. 3

mità, constatando che, in tutti i tubi, il mercurio discendeva fino alla stessa altezza (Figure 1, 2 e 3).

Il dislivello esistente tra il mercurio contenuto nei tubi e quello della bacinella era sempre di circa 76 cm (nei tubi torricelliani si realizzano spazi vuoti tanto più grandi quanto più alti sono i tubi; in realtà, per la proprietà del mercurio di evaporare, come tutti i liquidi, fornendo una piccola quantità di vapori, si crea una situazione di quasi vuoto, che prende appunto il nome di *vuoto torricelliano*).

Per Torricelli, questi esperimenti confutavano innanzitutto la concezione aristotelica della paura del vuoto: infatti se la causa del dislivello fosse stata la paura del vuoto, i dislivelli di mercurio in tubi di diversa forma e volume avrebbero dovuto essere diversi. Demolita in questo modo l'antica concezione, si sentì sufficientemente sicuro per riaffermare la sua ipotesi: se la causa del dislivello del mercurio non poteva più essere ricercata all'interno del tubo (la paura del vuoto), essa poteva essere attribuita a qualcosa di esterno, al peso dell'aria. È l'aria che "spinge" e non il vuoto che risucchia. Questa ipotesi va molto oltre l'apparenza fenomenica. Normalmente non ci si rende conto che l'aria ha un peso. In realtà questa grande scoperta non è ricavabile banalmente dagli esperimenti precedenti.

Se poniamo i ragazzi di fronte a questo fenomeno, la spiegazione che viene ritenuta più convincente da parte loro, in una situazione di primo approccio a tale fenomenologia, è riconducibile alla teoria dell'horror vacui. La spiegazione di Torricelli risulta, di primo acchito, inverosimile e incomprensibile. Come può l'aria avere un peso che preme sulla superficie libera del mercurio tale da sostenere una colonna di mercurio alta circa 760 mm, dato che non avvertiamo alcun senso di oppressione da parte dell'aria?

Questa è la domanda che viene fatta più di frequente dai ragazzi quando si presenta l'idea di Torricelli. E se si chiede loro che cosa ci si dovrebbe aspettare se la stessa esperienza venisse effettuata con tubi di diversa lunghezza, di solito, non hanno dubbi: nei tubi più lunghi il dislivello del mercurio sarà maggiore perché il vuoto è superiore.

Torricelli non si limitò all'aspetto qualitativo, ma formulò un'ipotesi quantitativa, cioè, che il peso della colonna di mercurio alta 76 cm fosse controbilanciato dal (fosse equivalente al) peso dell'aria atmosferica che premeva sul mercurio contenuto nella bacinella.

Torricelli, comunque, non si riferiva al peso assoluto dell'aria atmosferica, ma a quello che gravava su una determinata superficie del mercurio, esattamente equivalente a quella su cui premeva il mercurio contenuto nel tubo di vetro. In sostanza l'aria si comportava come un liquido dal peso specifico estremamente basso e obbediva alle stesse leggi dei liquidi.

## 2 Le conferme di Pascal

L'ipotesi di Torricelli risultò così ben poco evidente che, nonostante le significative conferme sperimentali ricevute negli anni immediatamente successivi, passò molto tempo prima che essa venisse accettata dalla comunità scientifica.

Le prime importanti conferme sperimentali furono fornite dallo scienziato e filosofo francese Blaise Pascal. Oltre che mercurio utilizzò anche acqua e vino (più "leggero" dell'acqua), verificò che l'altezza della colonna d'acqua corrispondeva a quanto previsto dall'ipotesi di Torricelli ( $p_s \text{ mercurio} = 13,6 \text{ g/cm}^3$ ;  $p_s \text{ acqua} = 1 \text{ g/cm}^3$ ;  $[13,6 \text{ g/cm}^3 : 1 \text{ g/cm}^3] \times 76 \text{ cm} =$

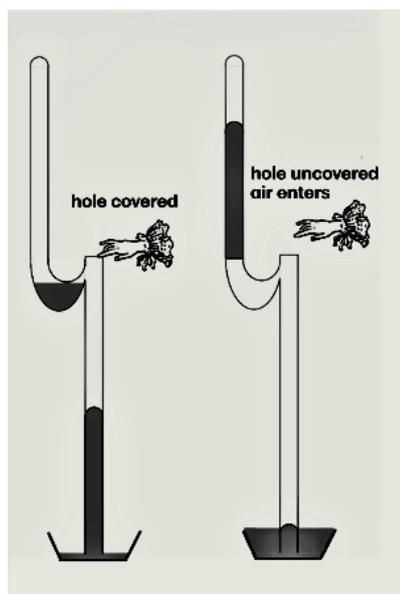


Fig. 4 Esperimento di Pascal.

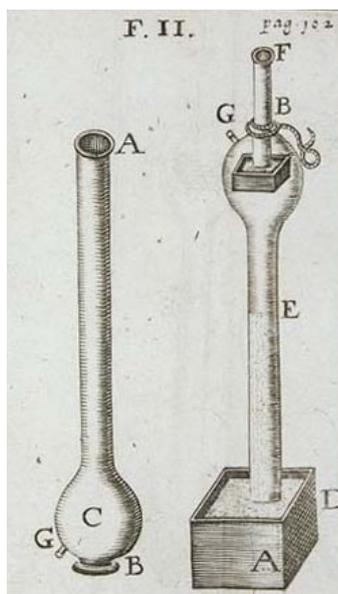


Fig. 5 Esperimento di Auzout.

1033,6 cm) e che la colonna di vino era più alta di quella d'acqua.

Pascal per provare, al di là di ogni dubbio, che è *la pesantezza dell'aria a produrre tutti gli effetti che si osservano per i fluidi che restano sollevati* realizzò anche un altro esperimento, noto come *l'esperimento del vuoto nel vuoto* (1648), ideato da Adrien Auzout (1622 – 1691) e descritto da Pascal nel suo trattato postumo *La pesanteur de la masse de l'air* (Figure 4 e 5):

“Si prenda un tubo con la parte inferiore curva, chiuso nel punto A ed aperto in B ed un altro tubo diritto aperto nei punti M e N, ma inserito e saldato nel punto M all'estremità ricurva dell'altro come si vede in figura (Figura 4). Si chiuda B con un dito ... e si rovesci completamente tutto il tubo ... lo si riempia di mercurio e si rimetta il punto A in alto e quello N in una vaschetta piena di mercurio. Vedremo che il mercurio contenuto nel tubo superiore precipiterà completamente e verrà raccolto nell'interno della curvatura, mentre il mercurio del tubo inferiore rimarrà sollevato fino ad un livello di 26 o 27 pollici... La ragione di questa differenza è data dal fatto che l'aria, esercitando una pressione sul mercurio della bacinella in cui pesca l'estremità inferiore del tubo, mantiene sollevato il mercurio. Non esercitando alcuna pressione, invece, sopra il mercurio che si trova nell'estremità ricurva della curva del tubo superiore... non venendosi a trovare affatto aria ... vediamo il mercurio cadere... Togliendo il dito dall'apertura si vedrà che il mercurio contenuto nella parte curva salirà di colpo fino a raggiungere i 26 o 27 pollici... Poi vediamo ... che quello contenuto nel tubo inferiore si abbassa completamente” [11].

Fu quest'esperienza a convincere molti scienziati ancora incerti ad aderire alla teoria torricelliana: solo

la spinta dell'aria può determinare questi esiti e non certo il risucchio del vuoto.

Anche la seconda importante conferma sperimentale dell'ipotesi di Torricelli fu fornita da Pascal. Nel 1648, Florin Périer (1605 – 1672), salendo sul Puy de Dôme, fu in grado di constatare, in conformità alle sue aspettative, che, partendo dal valore di 76 cm al livello del mare, il dislivello di mercurio continuava a diminuire, a mano a mano che si saliva.

### 3 Conclusioni della prima parte

La storia della scoperta della materialità dell'aria, del suo peso e del vuoto, che fin qui è stata tracciata, ha posto le basi per un itinerario didattico che proseguirà (seconda parte) con i concetti di pressione e di

elasticità dell'aria. Concetti che sono strettamente connessi con lo studio delle proprietà del vuoto e delle macchine per produrlo. Questo lavoro sfocerà poi, da un lato, nella caratterizzazione delle “arie” diverse da quella atmosferica (chimica pneumatica e Lavoisier) e, dall'altro, nell'atomismo daltoniano. Quando nasce il concetto di gas la chimica nasce come scienza ed è un aspetto da non trascurare in un insegnamento significativo che ponga la storia della scienza fra i suoi fondamenti.

### Bibliografia

- [1] R. Boyle, *Works*, T. Birch ed., Londra 1744, v. 5, p. 178.
- [2] B. Russell, *Storia della Filosofia occidentale*, TEA, Milano 1991, p. 213.
- [3] I. Asimov, *Il Libro di Fisica*, Mondadori, Milano 1990, p. 225.
- [4] A. C. Crombie, *The History of Science, from Augustine to Galileo*, Dover Publications Inc., New York 1995, p. 131.
- [5] J. B. van Helmont, *Oriatrike*, Londra, 1663.
- [6] B. Pascal, *Trattato sull'equilibrio dei liquidi*, Boringhieri, Torino, 1968, p. 84.
- [7] C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *Leggere il mondo oltre le apparenze*, Armando, Roma, 2007, pp. 96 - 125.
- [8] G. Cavallini, *La formazione dei concetti scientifici*, La Nuova Italia, Firenze, 1995, pp. 11 - 29.
- [9] W. E. Knowles Middleton, *The History of the Barometer*, Johns Hopkins, Baltimora, 1964, pp. 3-18.
- [10] W. E. Knowles Middleton, *The History of the Barometer*, Johns Hopkins, Baltimora, 1964, pp. 19-32.
- [11] B. Pascal, *Trattato sull'equilibrio dei liquidi*, Boringhieri, Torino, 1968, pp. 113 - 117.

Martina Pistolesi e Sandro Jurinovich

I.T. "C. Cattaneo", Via Catena 3, San Miniato, Pisa

✉ sandro.jurinovich@posta.istruzione.it

# Cinetica di reazione e modello SIR

*Un percorso trasversale di educazione civica tra chimica, matematica ed epidemiologia*

## RIASSUNTO

*La pandemia di COVID-19 ha profondamente segnato la nostra vita e quella degli studenti, costretti alla chiusura delle scuole e alla didattica "a distanza". Per la sua attualità, questo argomento è uno spunto di riflessione per la costruzione di un percorso didattico trasversale di educazione civica che aiuti gli studenti a comprendere ed interpretare con spirito critico l'andamento dell'epidemia ed il senso e l'importanza delle misure di prevenzione del contagio. A partire dallo studio cinetico di reazioni chimiche consecutive e dalla risoluzione matematica delle relative equazioni, si introduce un semplice modello epidemiologico per la descrizione dell'epidemia di COVID-19, sfruttando le analogie e differenze dei due modelli matematici e rafforzando diverse competenze di base di chimica e matematica, in un'ottica multidisciplinare.*

## ABSTRACT

*The COVID-19 pandemic has profoundly changed our everyday lives, and most students experienced school closures and on-line learning. The current events constitute the driving force for designing a cross-disciplinary didactic sequence to help the students to develop a critical thinking about the pandemic and its evolution and to understand the relevance of sanitary prevention measures. Starting from studying the kinetics of consecutive chemical reactions and the mathematical resolution of the related equations, we introduce a simple epidemiological model for the description of the COVID-19 disease. The parallelism between chemical and epidemiological kinetic models has been used to develop skills in both chemistry and maths from a multidisciplinary point of view. The topics proposed here enter in the civic education curriculum, as suggested by the recent Italian education regulations.*

## Introduzione

La Legge n. 92 del 20 agosto 2019 ha introdotto nel curriculum del primo e del secondo ciclo l'insegnamento della disciplina "educazione civica" come disciplina trasversale senza prevedere un aumento del monte ore totale del curriculum. Per l'insegnamento dell'educazione civica occorre quindi "ritagliare" uno spazio di 33 ore annuali all'interno dell'orario di una o più discipline curricolari. La spiccata trasversalità e multidisciplinarietà dell'educazione civica richiede l'applicazione di metodi e strategie didattiche innovative. È inoltre necessario progettare percorsi didattici in grado di costruire competenze trasversali e di rinforzare le conoscenze disciplinari delle materie coinvolte. Tali percorsi devono coinvolgere in modo attivo gli studenti nello studio di una nuova disciplina che, da parte loro, potrebbe essere solo identificata come "una materia in più da studiare".

Una strategia efficace per catalizzare l'attenzione e l'interesse degli studenti è quella di realizzare un percorso didattico che metta in gioco le competenze disciplinari acquisite in certe materie e l'interesse dei ragazzi verso una tematica vicina alla loro esperienza nel quotidiano. All'interno di questo contesto, presentiamo un percorso didattico progettato e sperimentato in una classe quinta dell'Istituto Tecnico "C. Cattaneo" di San Miniato ad indirizzo Chimica e Materiali durante il mese di marzo, in modalità "a distanza". Il percorso intreccia la chimica e la matematica, proponendo un parallelismo tra lo schema cinetico che descrive un sistema di reazioni consecutive ed il modello epidemiologico "SIR" in grado di descrivere, seppur con alcune limitazioni, l'evoluzione dell'epidemia COVID-19. La riflessione scientifica sulla situazione pandemica contribuisce allo sviluppo di un pensiero critico negli studenti e

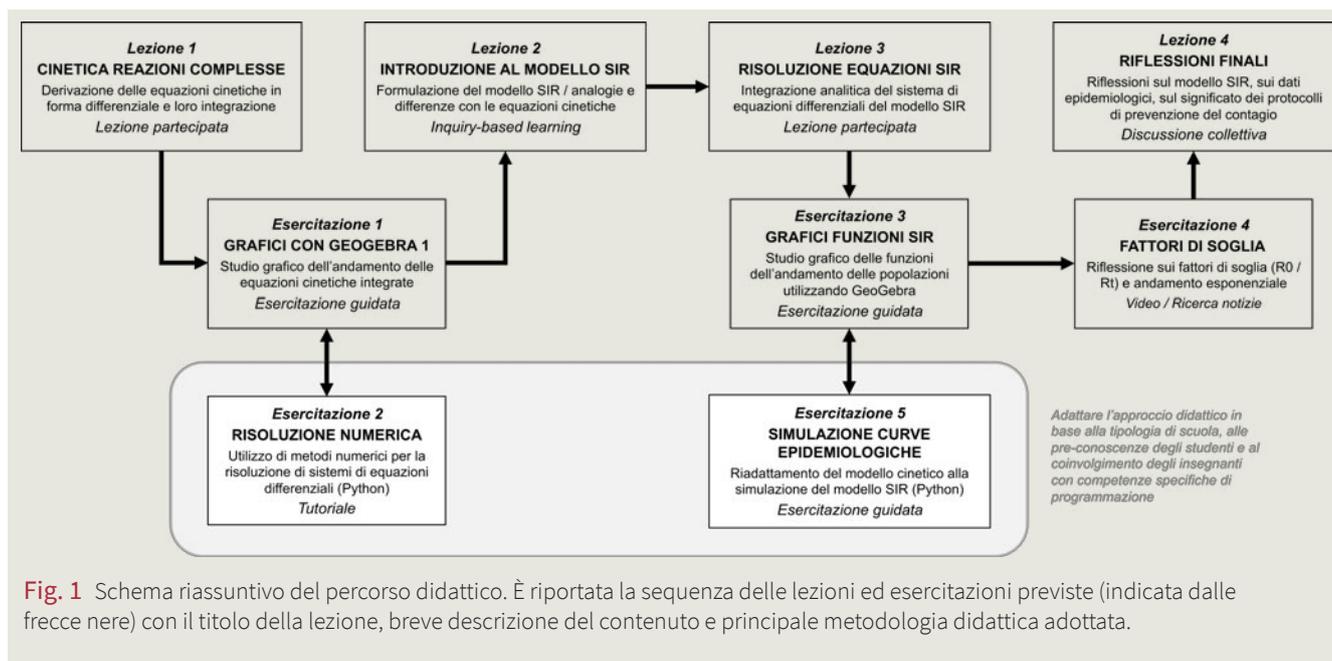


Fig. 1 Schema riassuntivo del percorso didattico. È riportata la sequenza delle lezioni ed esercitazioni previste (indicata dalle frecce nere) con il titolo della lezione, breve descrizione del contenuto e principale metodologia didattica adottata.

di una consapevolezza rispetto ad argomenti che risultano di spiccata attualità.

I materiali didattici che accompagnano questo articolo (appendici di approfondimento, guide alle esercitazioni, schede di lavoro per gli studenti, ecc.) sono raccolti in un *Padlet* [1] dedicato.<sup>1</sup> I docenti interessati a sperimentare il percorso in classe hanno così a disposizione, in un unico contenitore digitale, tutte le risorse necessarie.

### Il percorso didattico

Il percorso didattico è costituito da una sequenza di lezioni ed esercitazioni in cui l'insegnante presenta nuovi contenuti attraverso modalità di insegnamento attive. Principalmente si utilizzano le metodologie della lezione partecipata e della discussione collettiva in una chiave *inquiry-based learning* [2], facendo spesso ricorso allo strumento della domanda, nella forma di domanda-stimolo o domanda-provocatoria. La domanda stimola l'interesse e la curiosità degli studenti ed è utile per collegare i diversi temi. Nelle esercitazioni, invece, è richiesto un ruolo più attivo degli studenti che sono chiamati a costruire grafici, analizzare dati, fare simulazioni, ecc., anche utilizzando strumenti digitali.

Lo schema del percorso didattico è riassunto nella figura 1 e descritto in dettaglio nei paragrafi successivi. Il percorso può essere svolto totalmente a distanza o in modalità mista (*blended*),<sup>2</sup> per una durata complessiva stimata in 13-15 ore totali. Il percorso può essere riadattato anche per le classi terminali di un liceo scientifico tradizionale o scienze applicate, avendo cura di consolidare opportunamente le pre-conoscenze richieste.

### Obiettivi didattici, prerequisiti e valutazione

Il percorso permette di conseguire sia obiettivi di competenza trasversali di cittadinanza che specifici obiettivi disciplinari, anche attraverso problemi reali che richiedono di essere affrontati in chiave interdisciplinare. Il percorso promuove anche lo sviluppo della coscienza civile e sociale degli studenti favorendo un atteggiamento di convivenza rispettoso delle regole. Grazie all'impostazione didattica, gli studenti migliorano le loro capacità di prendere parte ad una discussione, affrontare problemi, indicare soluzioni. Alcune esercitazioni, che prevedono l'utilizzo di un programma *Python*, permettono di acquisire conoscenze specifiche di programmazione. Gli obiettivi didattici ed i prerequisiti sono descritti in

<sup>1</sup> Il *Padlet* è un nuovo strumento digitale che permette di creare "bacheche virtuali" condivisibili per raccogliere ed organizzare materiale multimediale di diverso tipo.

<sup>2</sup> In quest'ultimo caso è consigliabile svolgere le lezioni 1-4 in presenza e le esercitazioni 1-5 in modalità a distanza, riservando alle lezioni una maggiore possibilità di interazione diretta e di partecipazione attiva e sfruttando il fatto che, da casa, ciascuno studente può usare i propri dispositivi per poter effettuare le esercitazioni.

dettaglio nell'appendice 4, disponibile nelle risorse on-line [1].

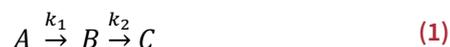
Gli obiettivi di apprendimento possono essere valutati *in itinere*, attraverso le esercitazioni e la partecipazione alle lezioni. Viene proposta una verifica sommativa finale strutturata (test a risposta multipla) con lo scopo di valutare sia le conoscenze acquisite (disciplinari e trasversali) che le competenze, attraverso la discussione di semplici situazioni problematiche o casi di studio. Il test a risposta multipla è disponibile in formato PDF nelle risorse on-line [1] ed importabile sulla piattaforma *Socrative* con codice test SOC-57550581.

## Descrizione dettagliata delle unità di apprendimento

In questa sezione si riporta una descrizione dettagliata delle attività da proporre in ciascuna lezione, commentando i punti salienti e mettendo in evidenza le domande, gli spunti di riflessione e i passaggi logici che collegano ciascun nucleo al successivo, secondo l'ordine indicato nello schema in figura 1. La descrizione didattica delle esercitazioni e le schede di lavoro da utilizzare con gli studenti sono disponibili nelle risorse on-line [1].

### Lezione 1 - Cinetica di reazioni elementari consecutive

Un semplice sistema di reazioni consecutive può essere descritto con lo schema:



in cui una sostanza *A* si converte in un intermedio *B* (isolabile) che, a sua volta, può reagire dando il prodotto finale *C* della reazione. Le due costanti  $k_1$  e  $k_2$  caratterizzano la velocità delle due reazioni. Supponendo che entrambe le reazioni siano del primo ordine rispetto ai reagenti, possiamo scrivere le seguenti equazioni cinetiche in forma differenziale per ciascuno dei componenti, come illustrato in Tabella 1.

Se vogliamo conoscere l'evoluzione della composizione chimica del sistema che sta reagendo ad un certo istante di tempo, dobbiamo integrare le equazioni (2-4)[3]. L'integrazione della prima equazione (2) nell'intervallo temporale tra  $t = 0$  e  $t$ , al quale corrispondono le concentrazioni iniziali  $[A]_0$  e la concentrazione al tempo  $t$ ,  $[A]$ , è immediata per gli studenti che hanno già imparato ad integrare le equazioni cinetiche del primo ordine:

Equazione (2)	Equazione (3)	Equazione (4)
Il componente <i>A</i> diminuisce nel tempo perché si trasforma in <i>B</i> con una velocità direttamente proporzionale alla sua concentrazione.	Il componente <i>B</i> si forma da <i>A</i> con la stessa velocità con cui <i>A</i> scompare, ma contemporaneamente reagisce per formare il componente <i>C</i> con una velocità che è proporzionale alla concentrazione di <i>B</i> .	Il componente <i>C</i> si forma unicamente da <i>B</i> con una velocità che è proporzionale alla concentrazione di <i>B</i> .
$-\frac{d[A]}{dt} = k_1[A]$	$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A] - k_2[B]$	$\frac{d[C]}{dt} = k_2[B]$

Tab. 1 Equazioni differenziali che descrivono la variazione dei componenti A, B, C e nel tempo per il sistema di reazioni consecutive elementari.

$$[A] = [A]_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (5)$$

La soluzione (5) può essere sostituita nell'equazione (3), ottenendo:

$$\frac{d[B]}{dt} = k_1[A]_0 \cdot e^{-k_1 t} - k_2[B] \quad (6)$$

Si fa notare agli studenti che l'equazione non dipende più esplicitamente da  $[A]$  e possiamo riscriverla nella forma:

$$\frac{d[B]}{dt} + k_2[B] = k_1[A]_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (7)$$

A questo punto, è fondamentale far riconoscere agli studenti che l'equazione differenziale (7) ha la forma di un'equazione lineare completa che gli studenti hanno imparato a risolvere nel corso di matematica. Per aiutarli in questo processo di riconoscimento è utile sfruttare un parallelismo visivo tra l'equazione differenziale scritta in "forma chimica", ovvero utilizzando simboli e costanti tipiche del linguaggio della cinetica e una "forma matematica", tipica del linguaggio più astratto e simbolico della disciplina, anche mediante l'utilizzo di colori per evidenziare le corrispondenze:

$$\frac{d[B]}{dt} + k_2[B] = k_1[A]_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (8)$$

$$y'(t) + f(t)y = g(t)$$

Dato che nel nostro caso la variabile indipendente è data dal tempo, poniamo:

$$\frac{d[B]}{dt} = y'(t) \quad (9)$$

$$k_2 = f(t)$$

$$k_1[A]_0 \cdot e^{-k_1 t} = g(t)$$

La soluzione generale dell'equazione differenziale (8), che gli studenti hanno visto nel corso di matematica e che è riportata nei libri di testo, è:

$$y = e^{-\int f(t)dt} \cdot \left( \int g(t) \cdot e^{\int f(t)dt} dt + c \right) \quad (10)$$

dove  $c$  è una costante. Sostituendo nella soluzione generale (10) le corrispondenti funzioni e costanti esplicitate nelle equazioni (9) si ottiene la funzione (11).

$$[B] = \frac{k_1}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \cdot [A]_0 \quad (11)$$

Tutti i passaggi matematici per l'integrazione della (7) utilizzando la soluzione generale (10) sono riportati nell'appendice 1 e possono essere svolti in classe insieme agli studenti. Sostituendo il risultato ottenuto per  $[B]$  nell'equazione (4) si ottiene:

$$\frac{d[C]}{dt} = \frac{k_2 k_1}{k_2 - k_1} \cdot (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) \cdot [A]_0 \quad (12)$$

che può essere facilmente integrata separando le variabili:

$$\int_0^{[C]} d[C] = \frac{k_2 k_1}{k_2 - k_1} \cdot [A]_0 \int_0^t (e^{-k_1 t} - e^{-k_2 t}) dt \quad (13)$$

Applicando le regole di integrazione per le funzioni esponenziali e le proprietà di linearità degli integrali si ottiene infine:

$$[C] = \left( 1 + \frac{k_1 e^{-k_2 t} - k_2 e^{-k_1 t}}{k_2 - k_1} \right) \cdot [A]_0 \quad (14)$$

Nell'esercitazione 1, gli studenti sono chiamati a studiare graficamente con *GeoGebra* [4] l'andamento della concentrazione dei tre componenti nel tempo, osservando i risultati ottenuti in due condizioni estreme: a)  $k_1 \ll k_2$ , in cui la velocità della reazione che converte  $B$  in  $C$  è molto maggiore rispetto alla reazione che converte  $A$  in  $B$ ; b)  $k_1 \gg k_2$ , in cui la concentrazione di  $A$  diminuisce rapidamente in quanto si ha un'immediata formazione del composto intermedio  $B$ , come illustrato nei grafici in figura

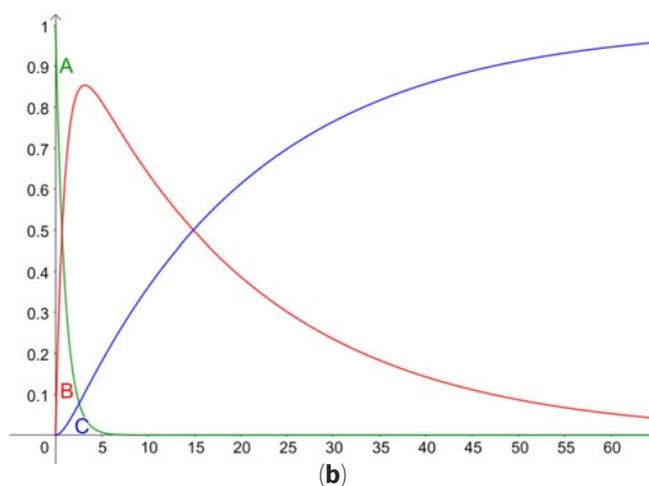
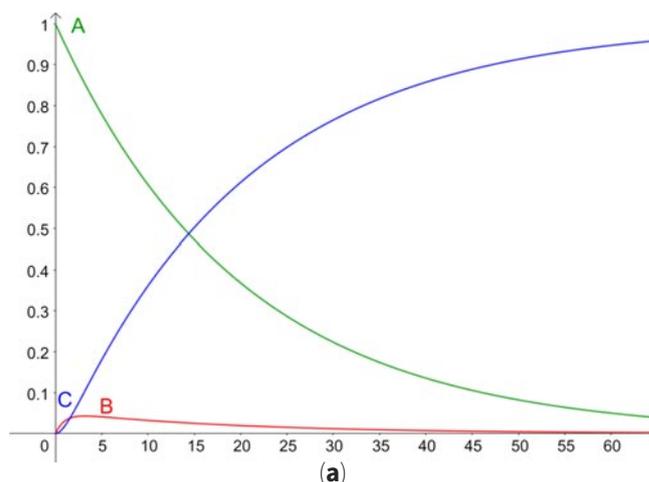


Fig. 2 Grafici realizzati con GeoGebra delle funzioni che descrivono la concentrazione dei tre componenti nel tempo. Il valore della concentrazione iniziale di  $A$  è fissato a 1, i valori delle costanti cinetiche sono: caso a)  $k_1 = 0,05$ ,  $k_2 = 1$ ; caso b)  $k_1 = 1,00$ ,  $k_2 = 0,05$

2. Le curve cinetiche possono anche essere ottenute utilizzando metodi di integrazione numerica attraverso un programma *Python*, uno dei linguaggi di programmazione più usati al mondo [5] che presenta anche una rapida curva di apprendimento [6] (vedi esercitazione 2).

### Lezione 2 - Introduzione al modello SIR

Dopo la discussione sull'andamento delle funzioni che descrivono il sistema di reazioni consecutive elementari, si pone agli studenti la seguente domanda: *osservate l'andamento della curva relativa al componente B nel caso in cui  $k_1 \gg k_2$ , a che cosa assomiglia la forma della curva? Avete già visto andamenti simili? Se sì, dove?* Gran parte degli studenti riconosce nella forma della funzione  $[B](t)$  un andamento simile a quello della curva epidemiologica che descrive il numero dei positivi al COVID-19, co-

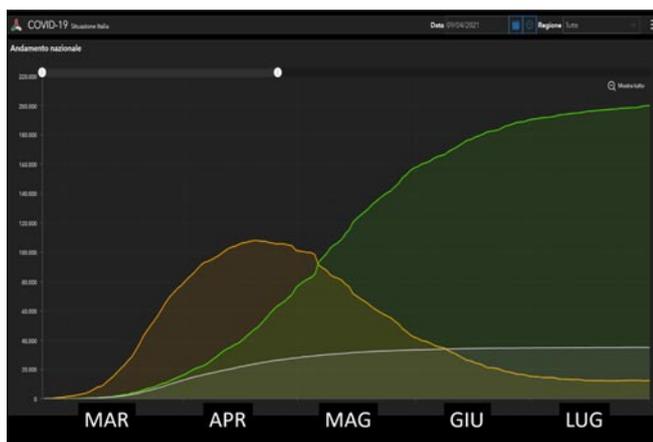


Fig. 3 Screenshot dei grafici dell'andamento dell'epidemia di COVID-19 relativi alla prima ondata (periodo febbraio-luglio 2020) estratti dalla banca dati della protezione civile. La curva arancione rappresenta il numero dei soggetti infetti nel tempo [7]

stantemente al centro delle notizie sui media negli ultimi mesi (vedi Figura 3).

Ci chiediamo quindi se ci sia un qualche legame tra i due andamenti, e la domanda precedente permette di introdurre la lezione 2, incentrata sul modello matematico per descrivere un'epidemia, mantenendo elevato il livello di curiosità. Il parallelismo tra cinetica di reazione (un campo affine al percorso di studi, ripreso e approfondito all'inizio di questo percorso) e la curva epidemiologica, permette di introdurre un argomento nuovo, al di fuori del "normale" programma disciplinare, ma che, sfruttando conoscenze di chimica e matematica vicine agli studenti, viene percepito in modo più familiare e meno difficile rispetto ad introdurre direttamente questa lezione decontestualizzata dal percorso.

### Il modello SIR

Un'introduzione ai modelli matematici per descrivere le epidemie può essere fatta attraverso il primo modello epidemiologico proposto nel 1927 dagli studiosi Kermack e McKendrick, meglio conosciuto con l'acronimo SIR [8]. Il modello *SIR* suddivide un'intera popolazione di  $N$  individui in tre classi distinte:

- Suscettibili (*S*), sono gli individui inizialmente sani che possono contrarre la malattia;
- Infetti/infettivi (*I*), sono gli individui malati ed in grado di trasmettere la malattia per contagio diretto;
- Rimossi (o guariti) (*R*), sono gli individui che,

<sup>3</sup> Il modello *SIR* introduce delle semplificazioni, ad esempio assume che gli individui abbiano comportamenti identici, trascura le differenze di età, di sesso, di collocazione geografica ecc. Inoltre, richiede che la popolazione non sia soggetta a flussi in ingresso o in uscita, come ad esempio nascite, decessi, immigrazioni o emigrazioni, che non vi siano tempi di incubazione della malattia e che tutti gli individui infetti siano anche infettivi ed ugualmente contagiosi.



Fig. 4 Diagramma di trasferimento per il modello SIR

dopo aver contratto la malattia, sono guariti e non più in condizione di ammalarsi nuovamente (sono definiti rimossi perché non fanno più parte dell'insieme delle persone in grado di ammalarsi e quindi divenire infette).

Nel modello *SIR* si assume che la somma degli individui che appartengono alle varie classi (o compartimenti) sia costante nel tempo, ovvero che:

$$N(t) = S(t) + I(t) + R(t) = N_0 \quad (15)$$

Il modello *SIR* è in grado di descrivere qualitativamente l'andamento di patologie la cui diffusione è basata sul contatto umano (ad esempio, influenza, morbillo, ecc.) [8], e può essere applicato, in prima approssimazione,<sup>3</sup> anche per la modellizzazione dell'andamento dell'epidemia di COVID-19 [9]. Il modello matematico per la descrizione dell'epidemia di COVID-19 è in realtà molto più complesso e richiede l'introduzione di più compartimenti e di considerazioni che tengono conto delle peculiarità della malattia e del modo in cui il sistema sanitario è in grado di rispondere, che vanno oltre gli scopi didattici di questo percorso [10, 11].

Nel modello *SIR*, all'esordio dell'epidemia ( $t = 0$ ) supponiamo che vi sia almeno un individuo infetto  $I(0) = 1$  e che tutto il resto della popolazione sia sana ( $S(0) \approx N$ ). Con il passare del tempo vi sarà un'evoluzione del numero di individui all'interno di ciascuna classe. Il passaggio da una classe ad un'altra è descritto dallo schema di trasferimento illustrato in figura 4.

Osservando lo schema di trasferimento, si chiede agli studenti: *che cosa vi ricorda questo schema?* Tutti gli studenti concordano che lo schema è simile a quello delle reazioni consecutive. In effetti, a prima vista, stiamo trasformando il "reagente" (suscettibili) in un "composto intermedio" (infetti) che a sua volta può evolvere nel "prodotto finale" (guariti).

Una volta riconosciuta la similitudine con lo schema cinetico visto precedentemente, chiediamo agli studenti di scrivere un sistema di equazioni differenziali in grado di descrivere il modello *SIR*, come abbiamo fatto in precedenza con le equazioni cinetiche e sottolineando che, in questo caso, le costanti cinetiche che regolano la “velocità di reazione” vanno intese come costanti di velocità relative al “trasferimento” degli individui da un comparto all’altro. La risposta più diffusa, in analogia con quanto visto precedentemente è:

$$\begin{cases} -\frac{dS}{dt} = k_1 S \\ \frac{dI}{dt} = k_1 S - k_2 I \\ \frac{dR}{dt} = k_2 I \end{cases} \quad (16)$$

Chiediamo, quindi, agli studenti di tradurre in parole la prima equazione differenziale. Una possibile risposta è: *la velocità con cui i suscettibili diminuiscono perché si infettano è direttamente proporzionale ad una costante  $k_1$  e al numero di suscettibili.*

Per approfondire il problema, poniamo una domanda provocatoria: *secondo voi, non cambia nulla nella velocità di diffusione della malattia se ci sono 1, 10 o 1000 individui infetti in grado di contagiare i suscettibili?*

Gli studenti concordano che anche questo fattore è importante: è evidente che maggiore è il numero degli infetti e più velocemente il contagio si diffonde. Dobbiamo quindi correggere l’ipotesi iniziale inserendo una dipendenza di proporzionalità diretta con il numero di infetti (moltiplicando *S* per il numero di infetti sia nella prima che nella seconda equazione), un po’ come se si trattasse di una sorta di reazione “del secondo ordine” anche se in questo caso sarebbe uno dei prodotti ad influenzare la velocità di reazione. Si ottiene quindi il sistema di equazioni corretto:

$$\begin{cases} -\frac{dS}{dt} = k_1 SI \\ \frac{dI}{dt} = k_1 SI - k_2 I \\ \frac{dR}{dt} = k_2 I \end{cases} \quad (17)$$

Infine, si proietta alla LIM il sistema di equazioni che identifica il modello *SIR* in epidemiologia, dove si può riconoscere che le costanti cinetiche che siamo abituati a chiamare  $k_1$  e  $k_2$  in chimica diventano  $\beta$  e  $\gamma$  rispettivamente, ed assumono un preciso signifi-

cato fisico [12], come illustrato in dettaglio nell’appendice 3 ed approfondito nell’esercitazione 5.

$$\begin{cases} -\frac{dS}{dt} = \beta SI \\ \frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases} \quad (18)$$

### Lezione 3 – Risoluzione equazioni del modello *SIR*

A partire dal sistema di equazioni differenziali (18), sommando le tre equazioni si ottiene l’espressione (19) che la variazione totale di suscettibili, infetti e rimossi è nulla, ovvero che il loro numero (totale) rimane costante nel tempo.

$$\frac{d}{dt}(S(t) + I(t) + R(t)) = 0 \quad (19)$$

Questo risultato è coerente con le ipotesi iniziali fatte sulla popolazione che abbiamo ipotizzato essere chiusa ed omogenea, come descritto dall’equazione (15). Nella Tabella 2 riportiamo una serie di domande per stimolare la discussione e far ragionare gli studenti sul significato delle equazioni differenziali del modello *SIR*. Con riferimento a tre diverse condizioni iniziali per quanto riguarda il numero di infetti, si cerca di ipotizzare quale sarà l’andamento della funzione *I(t)*.

Come descritto nella Tabella 2, il caso 3 non è al momento risolvibile e quindi non possiamo conoscere come variano gli infetti nel decorso dell’epidemia. Possiamo però, studiando la derivata, determinare in quali condizioni la funzione *I(t)* è crescente (fase espansione dell’epidemia) o decrescente (fase di remissione), ponendo:

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - \gamma I \geq 0 \quad (20)$$

Da essa si ottiene che all’inizio dell’epidemia ( $t = 0$ ), la funzione *I(t)* che descrive il numero degli infetti sarà crescente (derivata positiva) se il rapporto  $\beta N / \gamma \geq 1$ . Tale rapporto rappresenta il noto fattore di soglia, o indice  $R_0$  (*erre-con-zero*) che più volte ha avuto risonanza mediatica nell’ultimo anno.

Dopo la lezione 3 seguono tre esercitazioni, descritte nelle risorse on-line [1], che permettono di approfondire il modello *SIR* attraverso lo studio grafico delle funzioni che descrivono l’andamento dell’epi-

Caso	Domanda stimolo	Soluzione	Spiegazione fisica
1	Cosa succede se il numero di infetti al tempo $t=0$ è esattamente zero? $I(0) = 0$	$\frac{dI}{dt} = 0$ Se la derivata nel punto $t = 0$ è nulla, significa che $I(t)$ deve essere costante. Dalla condizione iniziale ipotizzata $I(0) = 0$ ne consegue che, per qualunque tempo $t > 0$ , $I(t) = 0$	Se non vi sono infetti, l'epidemia non si può diffondere e quindi, indipendentemente dal valore di $t$ , il numero di infetti sarà sempre nullo.
2	Cosa succede se inizialmente il numero di infetti coincide con l'intera popolazione? $I(0) = N$	Se $I(0) = N$ , necessariamente gli altri due compartimenti devono essere vuoti, ovvero $S(0) = R(0) = 0$ , e quindi: $\frac{dI}{dt} = -\gamma I$ che risulta facilmente integrabile ottenendo: $I = Ne^{-\gamma t}$	Se all'inizio dell'epidemia non vi sono persone sane (sono tutte infette), il numero degli infetti decade in modo esponenziale con la costante di tempo $\gamma$ .
3	Cosa succede se il numero di infetti è compreso tra 0 ed $N$ ? $0 < I(0) < N$	Si ottiene, separando le variabili: $\frac{dI}{I} = (\beta S - \gamma) dt$ $\int_{I_0}^{I_t} \frac{dI}{I} = \int_0^t (\beta S(t) - \gamma) dt$ $I(t) = I_0 e^{\int_0^t (\beta S(t) - \gamma) dt}$	Non possiamo risolvere in maniera esplicita l'integrale perché al momento non conosciamo la forma della funzione $S(t)$ !

Tab. 2. Domande stimolo e relative soluzioni per iniziare la discussione in classe sulla risoluzione delle equazioni del modello SIR e loro interpretazione fisica.

demia, anche in funzione del fattore di soglia  $R_0$  (esercitazioni 3-4) ed una simulazione delle curve epidemiologiche nel dominio del tempo attraverso metodi di integrazione numerica utilizzando *Python* (esercitazione 5).

#### Lezione 4 – Riflessioni finali

Riflessione sul significato matematico di  $R_0$

Il fattore di soglia  $R_0$  è stato introdotto nella lezione 3 e la sua importanza nel determinare  $I_{max}$  è stato indagato nell'esercitazione 3. Adesso che gli studenti hanno una comprensione più profonda del significato del fattore di soglia, è interessante proporre la visione di un video su YouTube (<https://youtu.be/1jmAGxE6Bh4>)

in cui il prof. Silvio Mercadante, docente di matematica al Politecnico di Torino, citando alcune affermazioni scorrette fatte da qualche giornalista sulla “crescita esponenziale”, spiega in modo chiaro la relazione tra  $R_0$  e la diffusione esponenziale dell'epidemia e la conseguente necessità matematica di “restare distanziati”.

Riflessione sulle norme di comportamento per il contenimento del contagio

Le simulazioni dell'esercitazione 5 sottolineano l'importanza dell'introduzione delle norme di prevenzione del contagio da COVID-19. Possiamo proiettare sulla LIM i pannelli grafici riportati in figura 5 per sti-



(a)



(b)



(c)

Fig. 5 Pannello grafico con riassunte le regole da seguire per contenere il contagio da Coronavirus (a); cartello che indica l'obbligo di indossare la mascherina (b); regioni colorate a “zone” come da DPCM del 2 marzo 2021 (c)

Comportamento raccomandato	$\beta = \rho c$		$\gamma = \frac{1}{D}$	Effetto complessivo sulla curva $I(t)$
	$\rho$ Probabilità di contrarre infezione da un contatto	$c$ Tasso di contatti "pro-capite"	$D$ Durata del tempo in cui un infetto rimane tale	
Lavarsi spesso le mani	👎	×	×	👎
Non toccarsi occhi, bocca e naso	👎	×	×	👎
Evitare le strette di mano e gli abbracci	👎	×	×	👎
Restare a casa se si hanno sintomi	×	×	×	👎
Usare fazzoletti; piegare il gomito	👎	×	×	👎
Evitare luoghi affollati	×	👎	×	👎
Evitare contatti ravvicinati	👎	×	×	👎
Utilizzare sempre la mascherina	👎	×	×	👎
Restrizioni a spostamenti	×	👎	×	👎
Chiusura dei ristoranti	×	👎	×	👎
[...]				

Tab. 3 Schema riassuntivo dell'effetto delle norme di prevenzione del contagio da Coronavirus sui parametri del modello SIR ed effetto globale sulla curva epidemiologica

molare la discussione e chiedere agli studenti: *sa-preste mettere in relazione il comportamento raccomandato con l'effetto sui valori dei parametri  $\beta$  e  $\gamma$  che entrano nel modello SIR?*

Si può proporre un *brainstorming* in classe prendendo in esame ciascun comportamento e cercando di individuare come questi comportamenti modificano i valori di ciascun parametro specifico. È utile preparare lo schema (vuoto) illustrato in Tabella 3 da proiettare sulla LIM insieme al pannello grafico.

Non è subito immediato identificare il parametro su cui il comportamento ha effetto ed in classe possono sorgere interessanti momenti di confronto e discussione. È possibile anche ampliare la tabella aggiungendo comportamenti sbagliati, proposti dagli studenti, che potrebbero avere effetti diversi.

Un'ultima interessante osservazione che può essere fatta riguarda il parametro  $\gamma$ : compilando la tabella non si identifica nessun comportamento in grado di influenzarlo. Riflettendo sul significato di  $\gamma$ , legato alla durata dell'infezione, è evidente che questo dipenda esclusivamente dalla "natura" della malattia e dalla risposta immunitaria delle persone. Solo l'intervento con farmaci efficaci a contrastare l'avanzamento della malattia potrebbe contribuire ad abbassare  $D$ .

*Riflessione sull'importanza del concetto "appiattare la curva"*

Grazie alle simulazioni dell'esercitazione 5, gli studenti hanno compreso il legame tra l'andamento de-

gli infetti e i parametri del modello *SIR*, ma *perché è così importante "appiattare la curva" ("flatten the curve") e che cosa significa?* Prima di poter arrestare la diffusione del contagio è necessario rallentare i contagi attraverso le misure di prevenzione; questo permette agli ospedali (e al sistema sanitario in generale) di avere la possibilità di gestire le risorse (personale, posti letto, attrezzature mediche) in modo da garantire le migliori cure possibili agli infetti. Appiattare la curva significa rallentare i contagi (ridurre il valore della derivata  $dI/dt$ ) e di "spalmarli" in un arco di tempo più lungo garantendo a chi contrae forme più serie della malattia di poter ricevere cure tempestive e adeguate. Per discutere questo punto è utile utilizzare le illustrazioni di Siouxsie e Morris [13] riportate in figura 6.

## Conclusioni

Nell'ambito dell'insegnamento dell'educazione civica proponiamo un percorso didattico multidisciplinare con il duplice scopo di consolidare conoscenze e competenze disciplinari e di raggiungere gli obiettivi trasversali previsti dalle Linee Guida Ministeriali. Il percorso propone una riflessione critica sulla tematica dell'epidemia di COVID-19, attraverso un approccio di didattica laboratoriale ed *inquiry-based learning*. L'idea è quella di introdurre il tema consolidando specifiche preconcoscienze degli studenti legate al proprio ambito disciplinare che serviranno da sostegno per affrontare un argomento

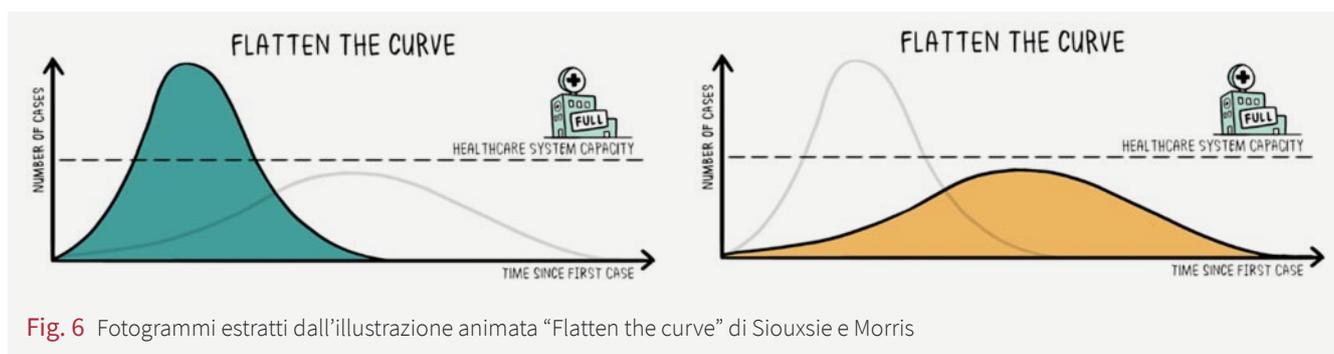


Fig. 6 Fotogrammi estratti dall'illustrazione animata "Flatten the curve" di Siouxsie e Morris

nuovo che esula dal curriculum ordinario. A partire da un approfondimento sulla cinetica di reazione e sulla risoluzione delle equazioni differenziali viene introdotto e discusso il modello epidemiologico *SIR*. Il modello offre una descrizione matematica approssimata dell'evoluzione della pandemia di COVID-19 permettendo agli studenti di capire come un'epidemia si sviluppa, quali sono i metodi per contrastarla e di comprendere il senso delle misure di restrizione per il contrasto alla diffusione del contagio che la popolazione e gli studenti hanno vissuto e stanno vivendo in prima persona, per scongiurare una diffusione esponenziale del contagio, diventando così cittadini consapevoli.

La scelta di affrontare il percorso a partire da argomenti con cui gli studenti hanno più confidenza, legati all'area chimica-matematica, e di trattare un caso di studio complesso fortemente legato all'attualità, contribuisce ad incentivare il livello di partecipazione e di coinvolgimento degli studenti. Le esercitazioni basate sulla simulazione delle equazioni cinetiche e del modello *SIR* attraverso un programma in *Python* per effettuare l'integrazione numerica permette, inoltre, agli studenti di comprendere l'importanza del coding e della programmazione per la risoluzione di problemi complessi in un'ottica *STEM*.

## Bibliografia

- [1] S. Jurinovich e M. Pistolesi, *Risorse on-line percorso didattico di educazione civica: Cinetica di reazione e modello SIR*, 2021; <https://padlet.com/sandrojurinovich/dpjk2kom7419gp> (accessed Apr. 19, 2021).
- [2] M. Pedaste *et al.*, Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle, *Educational Research Review*, vol. 14, pp. 47–61, Feb. 2015; doi: 10.1016/j.edurev.2015.02.003.
- [3] P. J. Keeler, W. Atkins e J. De Paula, *Chimica Fisica*. Zanichelli, Bologna, 2004.
- [4] *Geogebra – Graphing*; <http://www.geogebra.org/graphing> (accessed Apr. 19, 2021).
- [5] *TIOBE Index*, 2021; <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (accessed Apr. 19, 2021).
- [6] A. Nagpal and G. Gabrani, Python for Data Analytics, Scientific and Technical Applications, in *2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI)*, Feb. 2019, pp. 140–145; doi: 10.1109/AICAI.2019.8701341.
- [7] *Protezione Civile, Opendata*; <https://opendatadpc.maps.arcgis.com/apps/dashboards/b0c68bce2cce478eaac82fe38d4138b1> (accessed Apr. 19, 2021).
- [8] W. O. Kermack and A. G. McKendrick, A contribution to the mathematical theory of epidemics, *Proceedings of the Royal Society of London. Series A*, vol. 115, no. 772, pp. 700–721, Aug. 1927; doi: 10.1098/rspa.1927.0118.
- [9] I. Cooper, A. Mondal, and C. G. Antonopoulos, A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities, *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 139, p. 110057, Oct. 2020; doi: 10.1016/j.chaos.2020.110057.
- [10] G. Giordano *et al.*, Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy, *Nature Medicine*, vol. 26, no. 6, pp. 855–860, Jun. 2020, doi: 10.1038/s41591-020-0883-7.
- [11] Q. Lin *et al.*, A conceptual model for the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in Wuhan, China with individual reaction and governmental action, *International Journal of Infectious Diseases*, vol. 93, pp. 211–216, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.ijid.2020.02.058.
- [12] M. Martcheva, *An Introduction to Mathematical Epidemiology*, vol. 61. Boston, MA: Springer US, 2015.
- [13] S. Wiles and T. Morris, Flatten the curve; [https://it.wikipedia.org/wiki/Distanziamento\\_sociale#/media/File:Covid-19-curves-graphic-social-v3.gif](https://it.wikipedia.org/wiki/Distanziamento_sociale#/media/File:Covid-19-curves-graphic-social-v3.gif) (accessed Apr. 19, 2021).

**Lorenzo Cassine**

Studente di Scienze della Formazione Primaria, Università di Torino

✉ lorenzo.cassine@gmail.com

# Fake news scientifiche

## *Insegniamo ai bambini come riconoscerle*

### RIASSUNTO

*L'avvento del COVID-19 e la campagna vaccinale hanno riacceso, nelle democrazie occidentali, il dibattito sul rapporto esistente fra scienza e democrazia. Nel tempo del web 3.0 e della post-verità, nel quale i ragazzi che frequentano le nostre scuole sono esposti a grandi flussi di notizie ed informazioni da fonti molto eterogenee, è necessario aiutarli a sviluppare capacità di comprensione e senso critico. Questa attività si pone l'obiettivo di fornire indicazioni e metodi agli studenti che già utilizzano i comuni motori di ricerca, affinché imparino a riconoscere le false notizie e la disinformazione scientifica.*

### ABSTRACT

*The advent of COVID-19 and the vaccination campaign have rekindled, in Western democracies, the debate on the relationship between science and democracy. In the time of web 3.0 and post-truth, in which the children who attend our schools are exposed to large flows of news and information from very heterogeneous sources, it is necessary to help them develop understanding and critical sense. This activity aims at providing information and methods to children who already use common search engines, so that they learn to recognize false news and scientific disinformation.*

### Premessa

**A** fine 2016 l'Oxford English Dictionary ha scelto come parola più significativa ed influente a livello internazionale dell'anno *post-truth*, ovvero "post verità". In ambito giornalistico è tutt'ora usata per descrivere il periodo storico in cui viviamo, in quanto segnato da "circostanze in cui i fatti oggettivi sono meno influenti nel plasmare l'opinione pubblica rispetto alle emozioni e alle convinzioni personali" [1].

La pandemia globale, le conseguenti misure di distanziamento e le campagne di vaccinazione hanno favorito la proliferazione di teorie antiscientifiche già esistenti in passato, i cui sostenitori sono riusciti a ritagliarsi uno spazio mediatico rilevante.

Si è però anche assistito alla nascita di una corrente di pensiero opposta, che vorrebbe ridare centralità ed importanza alle posizioni della comunità scientifica, screditando i suoi più pericolosi detrattori. Ciò ha portato alla diffusione di uno slogan: *la scienza non può essere democratica*. Infatti, come afferma Roberto Burioni, virologo ed immunologo divenuto noto per le sue battaglie contro la diffusione di falsità sui vaccini, questioni come *la velocità della luce non si decidono per alzata di mano* [2].

Ragionando in questi termini sembrerebbe quindi esistere un'incompatibilità fra l'iter del metodo scientifico, che agendo come bocca della verità smaschera gli approfittatori e i *venditori di dubbio*, e i principi del nostro regime democratico, che danno spesso la possibilità di esprimersi in pubblico a chi diffonde notizie e informazioni antiscientifiche, causando non di rado problemi a tutta la collettività. È necessario però osservare la questione anche da un'altra prospettiva.

Mauro Dorato in *Disinformazione scientifica e democrazia* argomenta in modo esemplare come democrazia e scienza, oggi ancor più di ieri, debbano invece essere considerati come essenziali l'una per l'altra, se vogliamo far fronte alle sfide del nostro tempo. Questo professore di filosofia della scienza presso l'Università degli Studi Roma Tre evidenzia nel suo saggio che nella nostra società le conoscenze sono *distribuite in modo ineguale*, in conseguenza della *crescente specializzazione sia delle scienze naturali, sia di quelle giuridiche, economiche e sociali* [3]. Ciò rende necessario il ricorso al *principio di delega* tipico delle forme rappresentative di democrazia, perché *le teorie che possiamo verificare diretta-*

mente in base alla nostra esperienza individuale sono un numero risibile e non basterebbero alla nostra sopravvivenza, e perché quanto più cresce la conoscenza scientifica, tanto più essa si specializza e nascono linguaggi tecnici sempre meno accessibili al grande pubblico.

Il professore afferma, però, che è anche necessario contrastare i nuovi meccanismi propaganda, che fanno leva su questa mancanza di accessibilità, e allo stesso tempo scongiurare la possibilità che la democrazia rappresentativa degeneri in tecnocrazia. Per questo motivo, pur considerando l'inevitabile fatto che ogni cittadino non può che essere privo di conoscenze iperspecialistiche [...], il buon funzionamento di una democrazia non può prescindere da un livello quanto più possibile elevato di alfabetizzazione scientifica ed è fondamentale che il cittadino capisca di quali esperti ci si possa fidare. L'obiettivo principale dell'attività è proprio questo: aiutare gli studenti, nelle situazioni in cui non hanno modo di verificare in prima persona la realtà di un fatto, a capire con il confronto ed il ragionamento a chi consegnare la propria fiducia.

## Itinerario didattico

L'attività è stata originariamente pensata per studenti al 5° anno di scuola primaria, ma con i dovuti adattamenti è anche applicabile nell'ambito della scuola secondaria di primo e secondo grado. Per realizzarla occorrono solo una LIM, un'aula computer e una connessione ad internet.

### 1. Introduzione

Ad inizio attività l'insegnante deve far sì che i suoi studenti diventino in prima persona vittime di una fake news, raccontando loro un fatto inventato che possa in qualche modo coinvolgerli emotivamente. Segue un esempio della sua possibile presentazione:

“Buongiorno ragazzi. Non so se qualcuno di voi ha visto il telegiornale questa mattina, ma si è da poco diffusa la notizia che un piccolo asteroide sta per entrare nell'atmosfera terrestre. Secondo le stime degli scienziati ci sono alcune possibilità che l'impatto possa avvenire proprio in Italia. Potrebbe portare gravi danni”

Si lascia a discrezione dell'insegnante la definizione di altri dettagli. In linea generale si consiglia di raccontare avvenimenti emozionanti, ma non eccessivamente catastrofici o surreali, perché nella classe potrebbero diffondersi scetticismo o preoccupazioni

eccessive. Altre notizie inventate potenzialmente efficaci possono essere:

- un nuovo insetto pericoloso per l'uomo è arrivato in Italia dall'Oriente
- un oggetto simile ad un UFO è stato avvistato nei nostri cieli
- una cura miracolosa contro una grave malattia è stata inventata dagli scienziati

Nel caso in cui si abbia a disposizione una LIM, si suggerisce la proiezione di un'immagine presa da internet che possa aumentare il realismo della narrazione. Se esposta con chiarezza e serietà, la notizia può stupire ed interessare gli studenti, portandoli a chiedere all'insegnante maggiori dettagli.

Passati alcuni minuti, l'insegnante comunica ai ragazzi che ha volutamente raccontato loro una notizia falsa, precisando, però, che non si trattava di un semplice scherzo. A questo punto propone loro di riflettere sul perché abbiano creduto alla notizia presentata, annotando gli interventi fatti sulla lavagna. Tramite domande stimolo, l'insegnante può cercare di focalizzare l'attenzione della classe su tre elementi:

- la credibilità del fatto raccontato
- le emozioni suscitate dalla notizia
- la fonte della notizia (in questo caso l'insegnante) e la sua affidabilità

### 2. Analisi del fenomeno

A questo punto si procede introducendo il termine centrale dell'attività: “fake news”.

Treccani definisce la fake news come *locuzione inglese entrata in uso nel primo decennio del XXI secolo per designare un'informazione in parte o del tutto non corrispondente al vero, divulgata intenzionalmente o inintenzionalmente attraverso il Web [...] e caratterizzata da un'apparente plausibilità, quest'ultima alimentata da un sistema distorto di aspettative dell'opinione pubblica e da un'amplificazione dei pregiudizi che ne sono alla base, ciò che ne agevola la condivisione e la diffusione pur in assenza di una verifica delle fonti* [4].

Possiamo semplificare questa definizione per renderla più accessibile agli studenti presentandola come *falsa notizia creata allo scopo di ingannare il lettore, il cui autore è intenzionato a sfruttarla per guadagnare soldi, o ottenere consenso e visibilità*. È anche bene specificare che spesso non si entra in contatto con una fake news per interazione diretta con chi l'ha scritta, ma tramite altre persone che, credendola vera, hanno deciso di diffonderla.

Di seguito sono riportati i due aspetti più importanti su cui è bene che gli studenti si soffermino.

### A. I mezzi di diffusione delle fake news

È bene ricordare che ognuno di noi può entrare in contatto con notizie false molto facilmente, grazie ai diversi canali di comunicazione a disposizione. L'insegnante mostra a questo punto un elenco di mezzi che ci espongono alle fake news:

- gli articoli di siti web
- le chat dei sistemi di messaggistica
- i post sui social network
- le inserzioni pubblicitarie di internet
- le semplici conversazioni

Allo stesso modo è bene prestare attenzione anche ai media tradizionali, come quotidiani e telegiornali, seppur tendenzialmente più affidabili rispetto a molti siti web.

### B. Il meccanismo psicologico che porta l'utente ad essere ingannato

Per spiegare questo aspetto può risultare molto efficace riportare agli studenti l'esempio fatto da Roberto Burioni nel suo libro *La congiura dei somari* [2]: *vi sembrerà impossibile, ma il motivo per cui crediamo alle bufale è simile alla ragione per cui i nostri denti, se non li spazzoliamo adeguatamente, si cariano. Il professore spiega che ciò avviene perché la progettazione dei nostri denti è perfetta, ma per un mondo diverso da quello in cui viviamo. Con la coltivazione dei cereali l'uomo ottenne risorse di cibo più regolari e cumulabili, migliorando le sue condizioni di vita, ma i denti non erano abituati a quel tipo di cibo, che crea i presupposti per la proliferazione di batteri. I nostri denti attuali sono quindi fatti per un mondo antico, mentre "in quello moderno - mille volte migliore - non funzionano bene.*

Allo stesso modo il nostro cervello un tempo doveva raccogliere e interpretare stimoli esterni nel modo più veloce possibile per il fine essenziale di salvare la pelle del suo possessore, trattando un flusso di informazioni in maniera rapida ed efficiente. In questo modo una capacità utilissima agli uomini preistorici è diventata, al giorno d'oggi, fonte di errore.

In seguito a questa riflessione, condivisa dall'insegnante con gli studenti, si propone alla classe un elenco di diverse emozioni che possono portare un utente di internet a credere erroneamente ad una fake news, ciascuna accompagnata da un esempio di notizia:

- la curiosità, ad esempio per il verificarsi di un fatto paranormale
- la speranza, ad esempio per una nuova scoperta

che possa risolvere un problema del lettore o migliorare la sua vita

- la paura, ad esempio per un pericoloso avvenimento climatico
- la rabbia o il disgusto, ad esempio per il verificarsi di un'ingiustizia o di un crimine.

Una galleria di immagini raffiguranti esempi di fake news che esemplificano quanto esposto nei paragrafi A e B si può trovare nel seguente link: <https://pin.it/iRsQX97>. Questo materiale può anche risultare utile per ideare la notizia da presentare nella prima fase dell'itinerario didattico.

### 3. Osservazione di un sito

Arrivati a questo punto, è bene far entrare gli studenti in un autentico sito di fake news. Viene detto loro di accendere un computer dell'aula di informatica e di cercare il sito *segnidalcielo.it* [5].

Si tratta di un sito specializzato in disinformazione di carattere fantascientifico. Dopo averlo aperto, agli studenti vengono lasciati 5 minuti per navigarlo in libertà, chiedendo poi di condividere le loro osser-

The image shows a screenshot of the website Segnidalcielo.it. At the top, there is a navigation bar with a grid icon, the logo 'Segnidalcielo', and a search icon. Below the navigation bar, there is a blue button labeled 'DI TENDENZA'. The main headline reads: 'Dai satelliti Hinode Solar, registrato un forte "tsunam...'. Below the headline, there is a large image of Barack Obama with the text: 'L'ex presidente Barack Obama: "Gli UFO esistono, e dico sul serio"'. Below the main image, there are four smaller images with text: 'MESSICO, Tepozlan e la Piramide di Tepozteco epicentro dell'attività UFO', 'Un "PRIMO CONATTO" con Ambasciatori Stellari sarebbe avvenuto anche in RUSSIA', 'Gli UFO atterrano sulla superficie della LUNA. Le immagini riprese da un fotografo!!', and 'IBRIDI ALIENI SONO TRA NOI'.

vazioni con tutta la classe. L'insegnante può anche domandare se qualcuno ha trovato correlazioni fra gli articoli del sito e le caratteristiche delle notizie false esposte nella fase dell'attività precedente.

#### 4. Il factchecking

Su modello della seconda fase di attività, viene presentato ai ragazzi il concetto di *factchecking*.

Treccani parla di questo termine nell'ambito del lavoro giornalistico e lo definisce come *la verifica puntigliosa dei fatti e delle fonti, tesa anche a valutare la fondatezza di notizie o affermazioni riguardanti istituzioni e persone di rilievo pubblico, con particolare riferimento a quanto viene diffuso mediante la Rete* [6].

Un sito italiano specializzato nella verifica dei fatti riguardanti la politica italiana, *Pagella Politica*, elenca i cinque principi base condivisi dai fact-checker (ovvero gli esperti che operano in questo settore) di tutto il mondo: 1) l'impegno all'imparzialità e alla correttezza; 2) l'impegno alla trasparenza nelle fonti; 3) l'impegno alla trasparenza nei finanziamenti e nell'organizzazione; 4) l'impegno alla trasparenza nella metodologia; 5) l'impegno a correggere i propri errori in modo aperto e onesto [7].

Queste informazioni, che fanno riferimento a fenomeni di ambito sociale e politico molto complessi, devono necessariamente essere presentate ai bambini con le dovute semplificazioni. All'interno dell'itinerario didattico si propone, quindi, di presentare il factchecking agli studenti come *processo di analisi di una notizia che possa verificare, al limite del possibile, quanto essa sia vicina ai fatti realmente accaduti*. È bene poi specificare che in questo processo non si deve mai cercare di difendere idee, persone o interessi personali: l'unico obiettivo deve essere la pura ricerca della verità, anche se spesso è molto difficile da individuare con esattezza.

È inoltre opportuno avvertire gli studenti che non tutti i siti che affermano di seguire le regole del factchecking poi le praticano effettivamente. Al contrario, può essere un metodo usato dagli autori di notizie false per risultare ancora più credibili. Sempre nel sito di *Pagella Politica* si spiega che *la pratica del fact-checking – in italiano, letteralmente, la verifica dei fatti – è diventata sempre più di moda, una tendenza cavalcata non solo dai quotidiani generalisti e dai programmi di informazione televisiva, ma addirittura dagli stessi partiti politici* [7].

Si presenta ora alla classe un esempio di factchecking, prendendo in esame un articolo di *Bufale.net* dedicato all'effetto collaterale di un vaccino ancora in fase di sperimentazione che avrebbe fatto ammalare un macaco [8]. Qui risulta esemplare il procedi-

mento con cui, tramite un controllo incrociato di siti ritenuti affidabili, come *ANSA.it* e *ADRKronos.com*, l'autore dell'articolo smentisce senza lasciare dubbi la falsa notizia diventata virale.

È necessario anche soffermarsi con gli studenti sul sito di *Bufale.net*: pagine come questa sono strumenti fondamentali per chiunque voglia accertarsi che una notizia virale sia fondata o meno, in quanto alcune di esse fanno riferimento ad argomenti che richiederebbero ricerche molto impegnative o consultazioni con esperti di settore per avere la conferma definitiva.

L'insegnante, a sua discrezione, può segnalare agli studenti un elenco di siti dedicati al factchecking scientifico; ne sono esempi:

- il blog ed il canale Youtube del chimico divulgatore Dario Bressanini, specializzato nella disinformazione sull'alimentazione [9, 10]
- il blog di Federchimica: *Fatti, non fake!* [11]
- le sezioni di *Butac.it* dedicate alla medicina, al Coronavirus e alla scienza in generale [12]
- la sezione dedicata ai vaccini di *Factanews.it* [13]

Bisogna poi fare un elogio particolare a *Bufale.net* [14] e *Butac.it*: questi blog si pongono infatti l'ambizioso obiettivo di occuparsi di ogni singola notizia diventata virale sul web, per cui rappresentano una fonte di verifica davvero irrinunciabile.

Detto ciò, arriva per gli studenti il momento di affrontare una prova pratica: si presentano ai ragazzi tre notizie, con il compito di verificare se siano vere o false, usando i motori di ricerca dei loro computer. Le news proposte riguardano:

- la pericolosa concentrazione di CO<sub>2</sub> respirata da chi indossa mascherine [15]
- le sostanze dannose contenute nella Coca-Cola [16]
- il sale dell'Himalaya, un alimento in grado di portare grandi benefici a chi ne fa uso [17]

Tutte e tre le notizie sono fake news diventate realmente virali sul web. Chiunque, scrivendo i titoli degli articoli nelle barre di ricerca di Google o Youtube, può scoprire in pochi minuti la verità su di esse.

Prima di iniziare, l'insegnante consiglia agli studenti di inserire nella barra del motore di ricerca i seguenti elementi:

- le parole chiave della presunta notizia
- i termini *bufala*, *fake news*, o *notizia falsa*
- il nome di uno dei siti elencati in precedenza

Un esempio di ricerca potrebbe dunque essere: *mascherine CO<sub>2</sub> bufala butac*.



Nel caso in cui alcuni studenti si trovino in difficoltà, si lasciano comunque a disposizione in bibliografia i link di video ed articoli che permettono di arrivare alla soluzione [18, 19, 20].

Una volta che gli studenti hanno completato la ricerca, può essere interessante fermarsi con loro a riflettere sul modo di presentarsi delle tre notizie e sugli indizi che possono portare, già prima del factchecking, a capire se siano vere o meno. Ecco alcune domande di stimolo:

- le notizie in questione possono suscitare certi tipi di emozione in chi le scopre?
- i divulgatori di queste scoperte hanno fatto riferimento a fonti o a loro competenze?
- i divulgatori hanno fatto uso di valide spiegazioni scientifiche?

Si noti anche l'uso che viene fatto dei video e delle immagini (compresa quella inserita nell'articolo sul sale rosa): grazie ad essi la tesi sostenuta sembra essere decisamente più fondata e convincente.

### Conclusioni

Al termine dell'attività è bene ricordare agli studenti che, nonostante non sia privo di insidie e pericoli, il world wide web rimane un'irrinunciabile risorsa per accrescere le proprie conoscenze.

Si lasciano poi 5 regole da seguire nell'effettuare il factchecking:

- non lasciarsi trasportare dalle emozioni e da convinzioni personali infondate
- riflettere su quale messaggio l'autore voglia passare al lettore
- osservare il linguaggio utilizzato nella comunicazione
- analizzare sempre l'autore ed il suo curriculum, se reperibile
- confrontare e cercare conferme di ogni notizia sospetta da diverse provenienze
- consultare siti ritenuti competenti in materia e/o che si occupano di factchecking

### Possibili fasi aggiuntive

#### Le bufale come satira

Un altro tipo di notizie inventate sono quelle a sfondo satirico. La pagina più popolare sull'argomento è indubbiamente quella di *Lercio.it* [21]. Può essere interessante trarre dal sito in questione alcune notizie per mostrare agli studenti questo tipo di umorismo, ovviamente selezionando i giusti esempi.



In qualche caso questi articoli sono però strumentalizzati: *Bufale.net* segnala che, nonostante questi siti siano fatti apposta per diffondere pillole di satira e qualche risata, [...], a volte le loro simpatiche bufale vengono copiate per fare disinformazione [22]. *Butac.it* segnala addirittura pagine all'apparenza innocue, ma che in realtà usano la satira come scusa per inventare e diffondere notizie che di satirico non hanno assolutamente niente [23].

#### Le fake news sono una novità?

Una breve parentesi storica può essere utile alla classe per comprendere come le notizie false siano un problema per l'uomo sin da tempi antichi. Una delle più celebri è sicuramente quella della *Donazione di Costantino*: un documento divenuto celebre nel Medioevo secondo il quale il primo imperatore romano cristiano avrebbe donato nel 314 al papa Sil-

vestro *I la giurisdizione civile su Roma, sull'Italia e sull'intero Occidente* [24].

Può anche essere interessante notare come nel nostro tempo si sia diffuso il termine *fake news*, alternativo alla semplice definizione di *notizia falsa* o *bufala*, per definire un fenomeno nuovo sotto molti aspetti, nel quale i nuovi mezzi di comunicazione hanno esercitato un ruolo cruciale.

## Ringraziamenti

Desidero ringraziare Francesca Turco, docente di *Fondamenti e Didattica della Chimica* presso Scienze della Formazione Primaria dell'Università degli Studi di Torino, che mi ha dato l'occasione di approfondire ed appassionarmi all'importante tema del rapporto fra la ricerca scientifica e l'informazione in rete.

## Bibliografia e sitografia

- [1] Oxford English Dictionary, *Word of the year 2016*: <https://languages.oup.com/word-of-the-year/2016/> (visitato in data 13/04/2021).
- [2] R. Burioni, *La congiura dei Somari*, Rizzoli Libri, Milano, 2017.
- [3] M. Dorato, *Disinformazione scientifica e democratica*, Raffaello Cortina Editore, Milano, 2020.
- [4] Treccani, *fake news*: <https://www.treccani.it/enciclopedia/fake-news> (visitato in data 18/05/2021).
- [5] Segni dal cielo: <https://www.segnidalcielo.it/> (visitato in data 17/05/2021).
- [6] Treccani.it, *fact-checking*: [https://www.treccani.it/vocabolario/fact-checking\\_%28Neologismi%29/](https://www.treccani.it/vocabolario/fact-checking_%28Neologismi%29/) (visitato in data 18/05/2021).
- [7] Pagella politica, *Parliamo di fact-checking: chi lo fa e perché*: <https://pagellapolitica.it/blog/show/289/parliamo-di-fact-checking-chi-lo-fa-e-perch%C3%A9> (visitato in data 18/05/2021).
- [8] Bufale.net, *Vaccino, una doccia fredda su Oxford: il macaco si ammala - Il Telefono Senza Fili colpisce ancora*: <https://www.bufale.net/vaccino-una-doccia-fredda-su-oxford-il-macaco-si-ammala-il-telefono-senza-fili-colpisce-ancora/> (visitato in data 20/05/2021).
- [9] Dario Bressanini, *Scienza in cucina*: <http://bressanini-le-scienze.blogautore.espresso.repubblica.it>; <https://www.youtube.com/user/dariobressanini> (visitato in data 20/05/2021).
- [10] Dario Bressanini, canale Youtube omonimo: <https://www.youtube.com/user/dariobressanini> (visitato in data 20/05/2021).
- [11] Federchimica, *Fatti, non fake!* <https://fattinonfake.federchimica.it/> (visitato in data 24/05/2021).
- [12] Butac.it: <https://www.butac.it/> (visitato in data 18/05/2021).
- [13] Factanews.it: <https://facta.news/speciale-vaccini/> (visitato in data 20/05/2021).
- [14] Bufale.net: <https://www.bufale.net/> (visitato in data 18/05/2021).
- [15] Mida Riva - Exit News, *I danni portati dalla respirazione nelle mascherine*: <https://drive.google.com/file/d/1Q9StY-Dm0v9pp7PFOZCMiHXLZFB5osp/view?usp=sharing> (visitato in data 23/05/2021).
- [16] Youtube, *Avete mai provato a bollire la Coca cola?* [https://www.youtube.com/watch?v=61TLbmX4V\\_8&t=58s](https://www.youtube.com/watch?v=61TLbmX4V_8&t=58s) (visitato in data 23/05/2021).
- [17] Sorgente Natura, *Sale dell'Himalaya*: <https://sorgentenatura.it/speciali/sale-dell-himalaya> (visitato in data 23/05/2021).
- [18] Maicolengel butac, *La mascherina e la CO<sub>2</sub>*, vol.2, 2020: <https://www.butac.it/la-mascherina-e-la-co2-vol-2/> (visitato in data 24/05/2021).
- [19] Dario Bressanini, *COCA COLA - La verità (bollita e con il latte)*: <https://www.youtube.com/watch?v=D3cB6xb41GY> (visitato in data 24/05/2021).
- [20] Fattinonfake.federchimica.com, *La bufala del sale rosa*: <https://fattinonfake.federchimica.it/dettaglio/blog/2020/08/31/la-bufala-del-sale-rosa> (visitato in data 24/05/2021).
- [21] Lercio.it: <https://www.lercio.it/> (visitato in data 17/05/2021).
- [22] Bufale.net, *black list: la lista nera del web*: <https://www.bufale.net/the-black-list-la-lista-nera-del-web/> (visitato in data 17/05/2021).
- [23] Butac.it, *black list*: <https://www.butac.it/the-black-list/> (visitato in data 17/05/2021).
- [24] P. Ricci, Enciclopedia dantesca, *Donazione di Costantino*: [https://www.treccani.it/enciclopedia/donazione-di-costantino\\_%28Enciclopedia-Dantesca%29/](https://www.treccani.it/enciclopedia/donazione-di-costantino_%28Enciclopedia-Dantesca%29/) (visitato in data 17/05/2021).

Luigi Campanella

Dipartimento di Chimica, Università di Roma La Sapienza

✉ luigi.campanella@uniroma1.it

# Il sogno di un Museo Scientifico Scolastico Italiano

È nostro dovere non perdere lo straordinario impulso culturale lasciato da Athanasius Kircher e da Antonio Neviani che, per molti anni nei locali del Collegio Romano, hanno fatto emergere con il patrimonio storico del Liceo Visconti anche la Storia della Didattica della Scienza. Quando nel 1870 tutte le proprietà del Vaticano passarono allo Stato Italiano, la cultura dell'epoca non era sufficientemente preparata ad accogliere e valutare il valore di questo tipo di Museo che fu insipientemente smembrato e volutamente disperso.

L'esperienza di Kircher e Neviani dimostra che per formare una collezione museale, o didattica sono necessari la finalità del programma e la perseveranza nel progetto, facendo affidamento sui mezzi finanziari forniti dalle istituzioni e sulle tecniche della diffusione dell'informazione nella scuola e nella società.

Merita a tal proposito ricordare un brano tratto da una pubblicazione del Neviani: *Non vi ha dubbio che per l'incremento delle collezioni occorrono alcuni elementi di fatto, senza i quali esse sarebbero impossibili. Locali, arredamento e dotazioni proporzionate; quindi, l'appoggio del Capo d'Istituto e l'interessamento degli Enti superiori; persuaso che questi non possono mancare se l'insegnante è uomo di fede, di studio, amante delle collezioni e della scuola. Intendiamoci: non dell'accumulo di materiale qualsiasi che si lasci dormire nei cassetti e negli scaffali a coprirsi di polvere ed essere preda dei tarli.*

Questo impegno non deve andare disperso anche se, per eventuali difficoltà, i tempi saranno più lunghi del previsto. Pertanto, ai docenti più giovani ed in particolare a quelli delle materie scientifiche si chiede un impegno in favore della realizzazione nelle scuole di propri musei, come contenitori del patrimonio storico, ma anche delle esperienze in itinere che ogni anno si producono e che purtroppo vengono spesso rotta-



P. ATHANASIVS KIRCHERVS FVLVDENSIS  
è Societ: Iesu Anno ætatis LIII.  
*Honoris et observantia: ego sculpsit et D.D. C. Blomare Roma 2. Maij A. 1685.*

mate, mentre rappresentano tasselli preziosi di un percorso didattico e culturale.

Oggi la didattica delle Scienze soffre della mancanza di strumentazione trasparente, quindi didattica. Sempre più spesso gli strumenti ai giorni nostri si configurano come vere e proprie "scatole nere". Nel passato recente e meno recente, purtroppo, esigenze di spazio e di rinnovamento hanno indotto a sacrificare strumenti obsoleti, forse sul piano scientifico, ma straordinariamente utili sul piano didattico in quanto modulari e trasparenti rispetto ai loro contenuti tecnici ed alla loro modalità

costruttiva. Il percorso dimensionale della strumentazione dall'armadio alla scatola ha aggravato questa situazione. In tali condizioni strumentazioni che si sono salvate dalla rottamazione divengono preziose tanto che è stato di recente presentato un programma di catalogazione di tali strumenti con la preziosa indicazione della sede di reperimento.

Molti dei musei nei dipartimenti universitari, pure costretti a sacrifici di necessità per spazio e rinnovamento, sono riusciti a salvare alcuni storici strumenti, svariati dei quali risultano anche operanti e quindi disponibili per essere utilizzati in esperimenti didattici. Incredibilmente, però, è proprio il contributo della scuola in questa direzione che può risultare determinante. Nel Lazio ho costituito una rete di musei scolastici e i pezzi rari in fatto di strumentazione sono veramente tanti. L'idea è, quindi, quella di valorizzare questo patrimonio costruendo intorno ad esso un museo diffuso ad hoc, aperto a tutti i contributi che strutture e docenti della scuola vorranno dare. L'istituendo museo è dotato di ciò che più è necessario per un museo, e cioè il materiale da esporre, senza il quale non ci sarebbe il progetto, ma richiede ovviamente un minimo impiego di risorse umane e infrastrutturali con il sogno di realizzare il MUSSI, Museo Scientifico Scolastico Italiano.

Valentina Domenici <sup>a</sup> e Luigi Campanella <sup>b</sup>

a) Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Università di Pisa

b) Dipartimento di Chimica, Università di Roma La Sapienza

✉ valentina.domenici@unipi.it; luigi.campanella@uniroma1.it

# Musei di Chimica e Collezioni Scientifiche di Chimica in Italia

La specificità della chimica come disciplina museale può essere giustificata sulla base di due diverse motivazioni: la chimica è storicamente una scienza a prevalente conoscenza induttiva, quindi affidata per il suo sviluppo alla sperimentazione e all'evoluzione della strumentazione scientifica. Con la rivoluzione informatica, la strumentazione scientifica ha subito notevoli trasformazioni che possono essere simbolicamente rappresentate dall'espressione "Dall'armadio alla Scatola" ad indicare la progressiva riduzione delle dimensioni di un'apparecchiatura scientifica. Queste, molto ingombranti un tempo, hanno obbligato a rottamazioni selvagge: alcune generazioni di strumenti sono state sacrificate *in toto* privandoci di testimonianze assai preziose. Gli strumenti, nella loro trasformazione dimensionale, hanno anche subito una modificazione strutturale tanto da configurarsi ormai come 'scatole nere' impermeabili a qualsiasi indagine conoscitiva circa le loro componenti e funzionalità. Questa indagine è invece preziosa sul piano didattico. Ecco che così il museo di chimica diviene uno strumento di collegamento con la scuola, inducendo in essa interesse alla conoscenza della storia della strumentazione ed anche aspirazione a divenire testimone attiva di tale storia. Questa è una delle principali motivazioni che dovrebbe spingere tutti i chimici a sostenere la nascita di una rete di patrimoni scientifici, storici e culturali, alla base della stessa rete dei musei di chimica (vedere anche il contributo di Luigi Campanella *Il sogno di un museo scientifico scolastico italiano*, riportato nel presente numero della rivista).

Nel 2010 fu istituita ufficialmente nell'ambito della Società Chimica Italiana (SCI) la "Rete dei musei di chimica" con l'intento di censire e promuovere le realtà museali e le collezioni scientifiche dedicate alla chimica in Italia. Da un primo censimento nel 2005, che si è concretizzato in alcune pubblicazioni [1, 2], il numero di queste realtà è lievemente cresciuto ne-

gli ultimi anni e alcuni cambiamenti, anche logistici e organizzativi, ci sono stati. La distribuzione sul territorio nazionale e la tipologia prevalente di queste realtà museali non è comunque cambiata. La maggior parte dei musei e delle collezioni legate alla scienza chimica sono all'interno di Dipartimenti di Chimica Universitari, o fanno parte di reti museali universitarie. Alcuni esempi di queste tipologie di musei sono il Museo di Chimica "Primo Levi" di Roma, all'interno del Dipartimento di Chimica dell'Università La Sapienza [3], e il Museo di Chimica di Genova [4], che è parte del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Genova. Si distinguono poi alcune strutture che sono state istituite inizialmente per raccogliere strumenti e oggetti scientifici di valore storico in vari ambiti dalla fisica alla biologia, dalla medicina alla chimica e che sono diventati negli anni un vero punto di riferimento per studiosi e ricercatori di Storia della Scienza, come l'Archivio Scientifico e Tecnologico dell'Università di Torino (ASTUT), certamente il più grande e ricco archivio di strumenti e oggetti scientifici in Italia [5], e il Centro Universitario per la Tutela e la Valorizzazione dell'antico patrimonio scientifico senese (CUT-VAP), che raccoglie un campionario molto esteso di oggetti di vetreria catalogata e di oggetti legati alla chimica [6]. Oltre ai musei e alle collezioni universitarie, di cui una breve sintesi è riportata sul sito del professor Gianfranco Scorrano [7], altre collezioni che contengono oggetti di vetreria, strumenti di analisi chimica, documenti e reagentari storici si trovano all'interno di alcune scuole superiori di II grado. Una rassegna dettagliata di queste collezioni scientifiche, compreso uno studio riguardante il loro impatto sull'immagine della chimica, è scaricabile dal sito della SISSA di Trieste [8].

Negli ultimi dieci anni sono state organizzate diverse iniziative per mettere in rete questi musei e queste collezioni scientifiche con un contenuto significativo di oggetti che si rifanno alla scienza chimica. Il prin-

**Fig. 1.** Locandina della giornata studio tenutasi a Villa Celestina di Castiglioncello nel 2012, dedicata ai musei di chimica.



cipale obiettivo di queste iniziative nella forma di giornate-studio è stato quello di condividere percorsi didattici, esperienze maturate negli anni a contatto con varie tipologie di visitatori e riflessioni sul futuro di queste realtà. Un altro obiettivo, solo in parte raggiunto, era quello di iniziare una serie di progetti comuni, percorsi trasversali che potessero aumentare la visibilità a livello nazionale dei musei e delle collezioni di chimica.

Nel 2012, ad esempio, ci fu una prima giornata-studio [9] dedicata a questo tema nella cornice di Villa Celestina di Castiglioncello, in una iniziativa sponsorizzata e fortemente voluta dal Comune di Rosignano Marittimo (LI) (Figura 1).

In tale occasione, alcuni curatori e responsabili di collezioni scientifiche di musei e collezioni di chimica italiane (ad esempio, il Museo di Chimica di Roma, il Museo di Chimica di Genova, la Collezione Ugo Schiff di Firenze, l'ASTUT di Torino, il Polo Museale di Pisa) si sono confrontati su vari aspetti comuni: dalle problematiche legate alle risorse, alla stretta collaborazione tra musei e scuole, a questioni legate alla visibilità delle collezioni scientifiche al di fuori dell'ambito universitario o scolastico. Un aspetto senz'altro interessante di questo primo incontro fu la possibilità di un dialogo aperto e molto costruttivo con alcuni dei maggiori esperti di museologia scientifica, come Paola Rodari, docente del Master in Co-

municazione della Scienza della SISSA di Trieste, Sara Calcagnini, responsabile dei Programmi *Scienza e Cittadini* e *Servizi Educativi* del Museo della Scienza e della Tecnica "Leonardo Da Vinci" di Milano, e Luigi Amodio, direttore della Fondazione IDIS



**Fig. 3** Workshop sui musei di chimica tenutosi a Roma nel 2012 nell'ambito del Congresso ICCE-ECRICE.

della Città della Scienza di Napoli. Inoltre, la testimonianza di Susanne Rehn, curatrice della sezione di chimica del Museo della Scienza e della Tecnica di Monaco, arricchì l'incontro con una testimonianza europea da uno dei più grandi e visitati musei scientifici. Parte dei contributi e delle riflessioni emerse durante l'incontro sono state raccolte sia in articoli divulgativi [9, 10] che in un libro degli atti (Figura 2) edito dalla Casa Editrice La Sapienza di Roma [11]. Nello stesso anno, il 2012, si è svolto a Roma un importante congresso congiunto dedicato alla didatti-



**Fig. 2** Copertina del Volume degli Atti della Giornata studio sui musei di chimica del 23 novembre 2012.



**Fig. 4** Locandina della giornata studio sui vetri di uso scientifico e sulle realtà museali del vetro tenutosi ad Altare nel 2019.



Fig. 5 Fotografia di un momento dell'iscrizione alla giornata studio del 22 novembre 2019, nell'ingresso del Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa.

ca, l'ICCE-ECRICE 2012, nato dall'unione dei due convegni, internazionale (IUPAC) ed Europeo (Eu-Chems), sulla didattica [12]; in questo contesto, un workshop dedicato ai musei scientifici (Figura 3) ha messo in evidenza un altro aspetto importante dei musei di chimica, quello riguardante i musei tematici e i musei dei materiali, come la struttura che fa capo al *Plart Foundation* di Napoli, dedicata ai materiali plastici e un loro uso artistico.

Tra i musei e le collezioni scientifiche tematiche, rivestono un ruolo molto importante nella diffusione della cultura e della storia della chimica anche quelli dedicati al vetro, alle tecniche vetrarie e agli usi scientifici del vetro, come emerso in un più recente convegno che si è svolto presso il Museo di Altare il 22 giugno 2019 (Figura 4) [13] e che ha portato alla pubblicazione di una serie di contributi sul ruolo dei musei che raccolgono, catalogano e valorizzano la vetreria, sottolineandone gli aspetti scientifici, artistici e didattici [14].

Una delle ultime iniziative, prima dell'arrivo della pandemia di COVID-19, che ha inevitabilmente rallentato molti progetti e rimandato nuove iniziative, si è svolta il 22 novembre 2019 presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa: una giornata-studio intitolata *La Chimica nei Musei: Creatività e conoscenza* [15], che è stata promossa dal Gruppo Senior della SCI e dalla Rete dei Musei di Chimica della SCI, con il supporto della Divisione di Didattica della Chimica della SCI e della Sessione Toscana della SCI. L'evento ha avuto il patrocinio dell'Università di Pisa e del Centro Interdipartimentale CAFRE dell'Università di Pisa (Figura 5).

La giornata-studio ha visto la partecipazione di una cinquantina di persone, com-

presi alcuni insegnanti delle scuole secondarie superiori e gli studenti del secondo anno della laurea triennale in Chimica dell'Università di Pisa che seguivano il corso *Fondamenti e metodologie didattiche per l'insegnamento della chimica*. Questo incontro è stata un'utile occasione per fare il punto sulla rete dei musei di chimica in Italia [16] e per allargare la rete a nuove collezioni scientifiche, come quella dedicata all'elettrochimica dell'Università di Bari.

Alcune relazioni si sono inoltre soffermate sul ruolo culturale a tutto tondo dei musei di chimica e al loro contributo nel diffondere la conoscenza anche ai non addetti ai lavori [17,18]. L'aspetto didattico ed educativo di queste realtà, che può essere considerato un forte elemento caratterizzante dei musei, si è arricchito di nuove riflessioni ed esperienze, legate al crescente ruolo delle metodologie didattiche attive e interattive tipiche dei contesti non formali nell'insegnamento delle discipline scientifiche e della chimica in particolare [19].

Anche per questa giornata-studio, grazie al contributo dell'Università di Pisa, è stato possibile raccogliere in una pubblicazione [20] i contributi originali di coloro che sono intervenuti durante l'iniziativa (Figura 6).



Fig. 6 Copertina del Libro degli Atti della Giornata-studio del 22 novembre 2019 organizzata presso il Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale dell'Università di Pisa.

Le attività e i contributi che recentemente sono stati raccolti sui musei e sulle collezioni di chimica in Italia ci spingono a credere che il progetto di riattivare una rete di musei e di collezioni dedicate alla chimica, o che comunque contengano una parte consistente di oggetti, documenti e strumenti legati alla scienza chimica valga la pena di essere proseguito e rafforzato.

Questa nuova rubrica della rivista *La chimica nella scuola* dedicata ai musei scientifici è sicuramente un'ottima occasione per raccogliere tutti i contributi tesi a mettere in evidenza le attività didattiche, i progetti, le mostre e le recensioni ai musei e alle collezioni di chimica e di strumenti scientifici, nonché le riflessioni e gli studi sul ruolo di queste realtà nella società.

### Bibliografia

- [1] V. Domenici, I musei di Chimica in Italia e l'immagine della chimica, *La Chimica nella Scuola*, 2008, vol. III, 156-171.
- [2] V. Domenici, The role of Chemistry Museums in Chemical Education for the students and the general public: Italy, a case of study, *Journal of Chemical Education*, 2008, 85, 1365-1369.
- [3] <https://web.uniroma1.it/polomuseale/museo-chimica>
- [4] <https://museodichimica.unige.it/museo/presentazione>
- [5] <https://www.astut.unito.it/>
- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=-upSOTI1HSs>
- [7] <http://www.disc.chimica.unipd.it/gianfranco.scorrano/pubblica/musei/bibliogr.htm>
- [8] V. Domenici, L'immagine della chimica dai musei e dalle collezioni di chimica in Italia, Tesi di Master in Comunicazione della Scienza, Trieste, 2006: [https://iris.sissa.it/retrieve/handle/20.500.11767/5097/3061/1963\\_34479\\_Domenici-2.pdf](https://iris.sissa.it/retrieve/handle/20.500.11767/5097/3061/1963_34479_Domenici-2.pdf)
- [9] V. Domenici, Musei di Chimica: una giornata studio in *Scienzainrete*: <https://www.scienzainrete.it/articolo/musei-della-chimica-giornata-studio/valentina-domenici/2012-11-29>
- [10] L. Campanella, Musei di Chimica: noia? O no! in blog *la Chimica e la Società*: <https://ilblogdellasci.wordpress.com/tag/muse/>
- [11] Autori vari, *La Chimica nei Musei Scientifici e i Musei di Chimica* (a cura di V. Domenici e L. Campanella), Casa Editrice La Sapienza, Roma, 2014.
- [12] *La Chimica nella Scuola*, numero speciale dedicato ai Proceedings ICCE-ECRICE 2012: <https://www.soc.chim.it/sites/default/files/cns/pdf/2012-3.pdf>
- [13] Giornata-studio sul vetro per uso scientifico: <http://www.icom-italia.org/eventi/giornata-di-studi-il-vetro-per-uso-scientifico-conservazione-e-promozione-di-un-patrimonio-poco-noto/>
- [14] Autori vari, *Il vetro per uso scientifico. Conservazione e promozione di un patrimonio poco noto* (a cura di L. Campanella e A. Macchia), *La materia e la Bellezza*, volume 3, Aracne editrice, Roma, 2020.
- [15] <http://smslab.dcci.unipi.it/dissemination/11-approfondimenti/23-muschim.html>
- [16] V. Domenici, I musei di chimica in Italia in *La scienza in mostra* (Ed. Paola Rodari e Matteo Merzagora), Bruno Mondadori Editore, Milano, 2007.
- [17] L. Campanella, *Se il Museo si apre al pubblico e diventa strumento di conoscenza*: <http://www.associazioneitalianadellibro.it/site/2015/06/26/quando-il-museo-si-apre-al-pubblico-e-diventa-strumento-di-conoscenza/#>
- [18] V. Domenici, Chimica, un patrimonio culturale da preservare in *Scienzainrete*: <https://www.scienzainrete.it/articolo/chimica-patrimonio-culturale-da-preservare/valentina-domenici/2018-09-27>
- [19] I Musei scientifici come risorsa didattica in *Insegnare e apprendere chimica*, V. Domenici, Mondadori Università, Milano, 2018, pp. 202-217.
- [20] Autori vari, *La chimica nei Musei. Creatività e conoscenza* (a cura di V. Domenici e L. Campanella), Pisa University Press, Pisa, 2020.

Rinaldo Cervellati

Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica

✉ rinaldo.cervellati@unibo.it

# Clara Cynthia Benson

## (1875-1964)

### RIASSUNTO

Clara Cynthia Benson è stata la prima donna a ottenere il Bachelor of Arts in chimica dall'Università di Toronto nel 1899 e una delle due che ricevette il dottorato nel 1903, discutendo una tesi sulle velocità di reazione in soluzioni saline, pubblicata dal *Journal of Physical Chemistry*, nello stesso anno. Continuò per poco a fare ricerca in chimica fisica, ma a quel tempo dovette accettare un posto come preparatrice nel dipartimento di Fisiologia. Dal 1906 si occupò di biochimica nel Dipartimento di chimica degli alimenti, diventando prima professore associato, poi ordinario fino al suo pensionamento nel 1945. La Società Canadese di Chimica ha istituito il Premio Clara Benson per onorare annualmente un chimico donna di origine canadese.

### ABSTRACT

Clara Cynthia Benson was the first woman to obtain a Bachelor of Arts in chemistry from the University of Toronto in 1899 and one of the two who received a doctorate in 1903, discussing a thesis on the reaction rate in saline solutions, published by the *Journal of Physical Chemistry*, in the same year. She briefly continued to do research in physical chemistry, but at that time she had to accept a position as a trainer in the Physiology Department. From 1906 she worked on biochemistry in the Department of Food Chemistry, first becoming an associate professor, then a full professor until her retirement in 1945. The Canadian Society of Chemistry established the Clara Benson Award to honor a Canadian female chemist annually.

### Introduzione

Quest'anno ricorre il 125° anniversario della fondazione del *Journal of Physical Chemistry*, nato nel 1896, e vorrei ricordarlo con la biografia e l'opera

di Clara Benson, la prima donna a pubblicare con il suo unico nome un articolo (Figura 1) su questo prestigioso giornale, nel 1903.<sup>1</sup>

### Note biografiche

Clara Cynthia Benson nacque a Port Hope, Ontario (Canada) il 5 giugno 1875, primogenita di Thomas Moore Benson e Laura Abigail Fuller. Laura e Thomas, vedovo, avvocato e giudice, ebbero tre [1, 2] o quattro [3] figli insieme e inoltre allevarono due figlie dal primo matrimonio di Thomas.

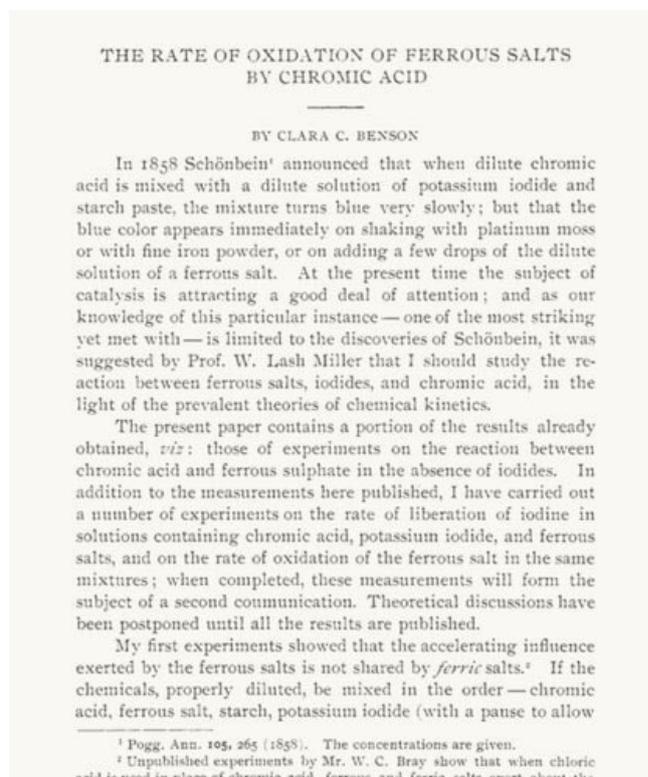


Fig. 1 Prima pagina dell'articolo di Clara Benson [5].

<sup>1</sup> Se si esclude una breve nota di Pierre e Marie Curie, Review: The electric charge on the deflectable radium rays, *J. Phys. Chem.*, 1901, 5, 152.



Fig. 2 Clara Cynthia Benson.

Benson (Figura 2) frequentò la Port Hope High School, quindi entrò nell'University College dell'Università di Toronto nel 1895 per studiare chimica, matematica e fisica (un corso di studi insolito per una donna a quei tempi), solo un anno dopo che il College aveva iniziato ad ammettere donne; tuttavia, esse non potevano ancora frequentare le sale di lettura della Scuola ed era loro negato l'accesso ai cataloghi della biblioteca. Ottenne il Bachelor of Arts in chimica presso l'Università di Toronto nel 1899 (prima donna a riceverlo) e continuò direttamente gli studi per il dottorato. L'Università aveva introdotto il dottorato di ricerca solo nel 1897, per opera del Prof. A. B. Macallum (1858-1934),<sup>2</sup> e Clara Benson fu una delle prime studentesse ad essere accettata nel programma. Conseguì il dottorato nel 1903, rendendola una delle prime due donne (l'altra è la studentessa di filosofia Emma Baker) a ottenere un dottorato di ricerca dall'Università di Toronto (Figura 3). Nella tesi di dottorato, sotto la supervisione di William Lash Miller (1866-1940), Benson ha esaminato le velocità di reazione nelle soluzioni saline inorganiche, in particolare quelle contenenti solfato ferroso, ioduro di potassio e acido cromico. Parte di questa tesi fu poi pubblicata nel *Journal of Physical Chemistry* nel 1903.

Le prime ricerche di Benson erano nel campo della chimica fisica, con un'enfasi sulla cinetica chimica. Come donna, ebbe molte difficoltà a trovare un lavoro come chimico fisico dopo il dottorato, quindi



Fig. 3 Clara Benson (a sinistra) ed Emma Baker (a destra); © Univ. Toronto.

accettò un posto di dimostratrice in scienze alimentari presso la nuova Lillian Massey School of Domestic Science dell'Università di Toronto. Si oppose all'obiettivo di questo programma di preparare le donne a diventare casalinghe firmando, nel 1902, una petizione organizzata dalla Women's Alumnae Association dell'University College. A quel tempo, tuttavia, la chimica degli alimenti era uno dei sottocampi della chimica con migliori opportunità professionali per le donne.

Il posto comportò il passaggio dal Dipartimento di Chimica dell'Università al Dipartimento di Fisiologia, sotto la guida del "Padre della Scuola di Medicina di Toronto", A. B. Macallum.<sup>3</sup> La sua ricerca successiva includeva esami biochimici della composizione dei fluidi e dei tessuti.

Ovviamente fu il trasferimento al dipartimento di Macallum ad affinare il suo interesse per la biochimica. Tuttavia, la sua formazione in chimica fisica le servì ad ottenere il posto. I suoi interessi per la chimica degli ioni erano simili ad alcuni di Macallum e insieme pubblicarono un articolo nel *Journal of Biological Chemistry* nel 1909 sulla concentrazione di

<sup>2</sup> Il Prof. Macallum avrebbe diretto anche Maud Menten, come studentessa di medicina, divenuta famosa per i suoi contributi alla cinetica enzimatica.

<sup>3</sup> Archibald Byron Macallum (1858-1934) è stato un biochimico canadese, fondatore del National Research Council of Canada. È stato una figura influente nello sviluppo della Medical School of Toronto da scuola provinciale a grande istituzione. Il suo lavoro scientifico si è concentrato sulla composizione ionica delle cellule e del sangue.

escrezioni renali diluite [4]. Fu l'unico articolo pubblicato da Macallum su questa rivista; infatti, egli preferiva inviare la maggior parte dei suoi lavori alle transactions delle società reali sia del Canada che della Gran Bretagna (era membro di entrambe).

Quando la scienza alimentare fu incorporata nel curriculum medico dell'Università nel 1905, Benson fu promossa docente di chimica fisiologica (biochimica), diventando la prima donna a raggiungere un grado superiore a quello di dimostratrice. Nel 1906, un rapporto della commissione reale portò alla creazione della Facoltà di Scienze Domestiche, di cui Benson e la preside, Annie Laird, divennero professori associati, rendendole le prime professoressi di Toronto. Benson ha contribuito a sviluppare il programma di chimica alimentare della facoltà e, nel 1926, è stata promossa professore ordinario e capo del Dipartimento di Chimica Alimentare, posizione che ha ricoperto fino al suo pensionamento come professore emerito nel 1945.

Fu l'unica donna tra i fondatori dell'American Society for Biological Chemistry (ora American Society for Biochemistry and Molecular Biology, ASBMB) quando si formò nel dicembre 1906.

Dal 1915, condusse studi estivi presso la stazione biologica di St. Andrews esaminando la chimica dei frutti di mare. Su richiesta del Ministero Canadese della Marina e della Pesca, che stava cercando di aumentare la domanda di pesce da parte dei consumatori, organizzò un gruppo di scienziati alimentari delle università canadesi per lavorare a migliorare i metodi di preparazione del pesce.

Gli interessi per la biochimica le furono utili anche in seguito nella ricerca alimentare e svolse un ruolo chiave nello sforzo canadese durante la Prima Guerra Mondiale. Sforzo dimostrato con successo dal riconoscimento che molte tecniche analitiche sviluppate per i test alimentari potevano essere applicate alle munizioni. Queste tecniche furono adottate dai laboratori di munizioni, aiutando a standardizzare le loro fasi di produzione.

Clara Benson fu molto conosciuta nell'Università di Toronto per il ruolo attivo che svolse nello sviluppo dell'atletica femminile. Era co-presidente del comitato che ha supervisionato queste attività ed è stata nominata Presidente della Women's Athletic Association nel 1921, un posto da lei tenuto fino al pensionamento (Figura 4). Attraverso i suoi sforzi le strutture sono state notevolmente migliorate e rese



Fig. 4 Clara Benson all'epoca del pensionamento, 1945; © Univ. Toronto.

disponibili. L'impianto di atletica femminile, inaugurato nel 1959, porta il suo nome.

Benson ha fatto parte del consiglio nazionale della YWCA (Associazione Cristiana delle Giovani Donne), presiedendo il loro Comitato Esteri, e il suo lavoro con l'organizzazione l'ha portata a sponsorizzare due orfani francesi della Seconda Guerra Mondiale dopo il suo pensionamento.

Era anche un'appassionata collezionista di francobolli. Una delle sue attività erano i viaggi all'estero (ai tempi in cui non c'erano significativi viaggi aerei). È stata in Europa, Africa, Sud America, Asia e frequentemente negli Stati Uniti.

È stata un'insegnante molto rispettata e venerata durante la sua lunga collaborazione con il Dipartimento di Scienza Alimentare.

Il suo ritiro, nel 1945, fu accompagnato dall'inaugurazione di un ritratto di Y. Karsh,<sup>4</sup> appeso nell'Household Sciences Building (Figura 5). Un onore particolare, insieme alla creazione di una borsa di studio a suo nome per gli alunni della Household Science School nel 1950.

Molti anni dopo, la Società Canadese di Chimica, della quale era membro, ha istituito il Premio Clara Benson per onorare annualmente un chimico donna canadese.

Un'osservazione di R. Bradshaw [3]: a quel tempo le sue scelte di carriera probabilmente hanno reso il matrimonio un'opzione molto difficile, vista anche la riluttanza degli uomini a sposare donne più istruite.

<sup>4</sup> Yousuf Karsh (1908-2002), è stato un fotografo armeno-canadese noto per i suoi ritratti di personaggi importanti. È stato descritto come uno dei più grandi ritrattisti del XIX secolo.



Fig. 5 Ritratto di Clara Benson di eseguito da Y. Karsh.

te di loro. Come la sua contemporanea e amica, Maud Menten,<sup>5</sup> è rimasta single tutta la sua vita.

### L'attività scientifica

Durante gli anni del dottorato, Benson si occupò di cinetica chimica, campo di interesse del suo supervisore, William Lash Miller, che le affidò lo studio delle velocità di reazione del sistema bicromato di potassio, solfato ferroso e ioduro di potassio in ambiente acido ( $H_2SO_4$ ).

Clara suddivise la ricerca in due parti, la prima riguardante il sistema bicromato e sale ferroso in soluzione acida, che costituì il primo contributo pubblicato nel 1903 [5]. Leggendo l'articolo, si nota il notevole dettaglio con cui sono descritti esperimenti e risultati. Benson applicò il metodo dell'isolamento per trovare ordini e costanti cinetiche. Il metodo, introdotto da Wilhelm Ostwald (1853-1932) nel 1887, prevede che tutti i componenti della reazione, tranne quello che si vuole indagare, siano in largo eccesso in modo che la loro concentrazione resti praticamente costante. E così fece Benson per il solfato ferroso, ma non poteva fare la stessa cosa per l'acido e il bicromato [5]:

*It was however not possible to determine the order of the reaction with respect to the bichromate and to the acid in the same way (viz., by carrying out experiments in which the concentrations of these two substances respectively were kept low); but by simply doubling, trebling, etc., the concentration of the acid or bichromate while still keeping that of the ferrous*

*salt comparatively small, the influence of the former on the rate was easily determined.*

In effetti, un problema di Clara fu come determinare la quantità di sale ferroso consumato a un certo tempo. Diversi metodi volumetrici e colorimetrici vennero scartati per le troppe interferenze. Infine, Benson ricorse a una tecnica volumetrica indiretta, l'aggiunta di una quantità nota di ioduro di potassio che reagendo con il bicromato in ambiente acido (chromic acid) produce iodio, che può essere titolato con arsenito di sodio ( $NaAsO_2$ ). Scrive Benson [5]: *In the end I found a means of determining the quantity of ferrous salt present by measuring its catalytic effect on the rate of oxidation of potassium iodide by chromic acid; thus the reaction whose study forms the subject of this research furnished the only available method of analysis.*

Ci si può chiedere perché sia ricorsa all'arsenito e non al tiosolfato ( $Na_2S_2O_3$ ) di sodio, e ne spiega la ragione: con il tiosolfato il metodo dà risultati inattendibili se la quantità di ferro è grande.

Benson descrive poi in dettaglio il procedimento: A 500 ml di soluzione contenente bicromato, acido e sale ferrico in quantità note, aggiunse 100 ml di soluzione contenente una quantità misurata di solfato ferroso. Dopo un conveniente intervallo di tempo aggiunse 100 ml di soluzione di ioduro di potassio. Trascorsi quattro minuti, bloccò la reazione (metodo del congelamento) e misurò la quantità di iodio sviluppata con la soluzione di arsenito a titolo noto. Dalla quantità di iodio risalì a quella del bicromato e da quest'ultima al sale ferroso consumato.

Dopo un certo numero di questi esperimenti Benson calcolò la velocità di reazione rispetto al solfato ferroso, poi, per determinare la (pseudo)costante cinetica e l'ordine di reazione, provò con il primo, secondo e terzo ordine, giungendo a stabilire che l'ordine per  $FeSO_4$  era 2.

Esperimenti equivalenti furono fatti per l'acido, stabilendo che anche in questo caso l'ordine era 2.

Nel caso del bicromato le cose non furono così semplici. L'ordine di reazione risultava fra 1,7 e 1,8. Dopo aver scartato la possibilità di una parziale dissociazione dell'acido cromatico, anche il tentativo di spiegare la differenza con l'intero 2 tramite l'azione del prodotto solfato di potassio fu abbandonato dopo una serie di esperimenti effettuati aggiungendo soluzioni di  $K_2SO_4$  alla miscela reagente; concluse che erano necessari ulteriori esperimenti per risolvere il problema.

<sup>5</sup> Maud Leonora Menten, in R. Cervellati, *Chimica al femminile*, Aracne, Roma, 2020, p. 117-124.

Benson notò invece l'azione "catalitica ritardante" del prodotto sale ferrico [5]:

*These facts might be accounted for at least qualitatively assuming that on addition of ferric salt, part of the ferrous sulphate is converted into a ferrous-ferric compound, thus lowering the concentration of the ferrous salt in the solution, and consequently diminishing the rate.*

In conclusione: oltre ad aver trovato un nuovo metodo analitico volumetrico per misurare il sale ferroso in soluzioni acquose acide di bicromato e sale ferrico, Benson stabilì che la velocità di ossidazione del solfato ferroso in soluzioni contenenti bicromato di potassio e acido solforico è proporzionale al quadrato della concentrazione di sale ferroso, e a quello dell'acido, mentre l'ordine della reazione rispetto al bicromato è variabile, e che l'ossidazione è molto ritardata dalla presenza di sali ferrici.

Nel secondo contributo, Clara Benson determinò l'effetto delle concentrazioni dei reagenti sulla velocità di ossidazione del solfato ferroso e dello ioduro di potassio in soluzioni acide contenenti entrambi, da parte del bicromato [6]. Senza entrare nei dettagli, i risultati furono:

- in presenza di sali ferrosi, la velocità di formazione dello iodio è proporzionale alla potenza da 1.3 a 1.6 della concentrazione di bicromato, alla quarta potenza di quella dell'acido, alla prima potenza di quella del sale ferroso, e alla prima (o meno) potenza di quello dello ioduro; l'ossidazione è molto ritardata da sali ferrici;
- in presenza di ioduri, la velocità di ossidazione del solfato ferroso è proporzionale alla prima potenza della concentrazione del sale ferroso, alla terza o quarta potenza di quella dell'acido, e alla prima potenza della concentrazione del bicromato;
- l'aumento della concentrazione dello ioduro prima fa diminuire la velocità, poi l'aumenta;
- lo iodio totale,  $I_T$ , liberato durante l'ossidazione di una data quantità di solfato ferroso,  $F$ , dipende dalle concentrazioni dei reagenti ed è solo approssimativamente proporzionale alla quantità di solfato ferroso,  $I_T/F$ , crescente al diminuire di  $F$ .

Segue poi una lunga disamina delle diverse teorie sulla catalisi per la reazione in oggetto, proponendo la sua, chiamata "ferroiodion", come la più plausibile [6].

M. e T. Creese riportano che il lavoro di tesi è stato suddiviso in tre articoli, tutti pubblicati dal *Journal of Physical Chemistry*, l'ultimo dei quali riporta lo studio della dipendenza dalla temperatura della velocità di formazione dello iodio da ioduro di potassio

e un ossidante [2, p.185], tuttavia nell'archivio della rivista non se ne trova traccia.

Il terzo articolo di Benson riguarda invece la composizione degli strati superficiali di soluzioni acquose di alcol amilico [7]. La ricerca le fu suggerita dal Dr. F. B. Kenrick per verificare se la composizione della schiuma risultante fosse uguale a quella osservata da J. von Zawidski in una miscela di acido cloridrico e acido acetico. Si trattava di osservare se la miscela acqua/alcol amilico producesse una schiuma di sufficiente durata, la cui composizione si poteva misurare in base alla tensione superficiale. Clara mise a punto un'apparecchiatura in bagno termostato e preparò una miscela composta da 4 ml di alcol amilico portato a 1 L con acqua. Fece poi una serie di 15 esperimenti con porzioni misurate di miscela determinando la composizione dei liquidi risultanti dopo vigorosa agitazione della miscela. I risultati mostrano che la schiuma di alcol amilico contiene una percentuale maggiore di alcol rispetto al resto del liquido. La composizione della schiuma fu valutata dalla misura della tensione superficiale di soluzioni diverse di alcol amilico.

Nessuna differenza fu invece osservata nella composizione della soluzione originale e del liquido da cui era stata separata la schiuma.

Sebbene, in termini di produttività, le sue ricerche non sono eccezionali, occorre tener presente che la cinetica chimica era un settore di punta agli inizi del XX secolo e in quest'ottica i risultati ottenuti sono importanti. Benson ha inoltre esercitato un impatto molto significativo sul ruolo della scienza per le giovani donne di Toronto, e non solo, nella prima metà del XX secolo. Non è facile oggi apprezzare come, a quei tempi, fosse davvero difficile per le donne affermarsi in una disciplina scientifica pur frequentando l'università e prendendo anche un dottorato, dal momento che questo settore era essenzialmente appannaggio degli uomini.

## Bibliografia

- [1] Clara Benson, in: [https://en.wikipedia.org/wiki/Clara\\_Benson](https://en.wikipedia.org/wiki/Clara_Benson)
- [2] M. R. S. Creese, T. M. Creese, *Ladies in the Laboratory III*, Scarecrow Press, Lanham (UK), 2010, p. 185-186
- [3] R. A. Bradshaw, Clara Cynthia Benson, *ASBMB Today*, March 2006, 14-17.
- [4] A. B. Macallum, C. C. Benson, *J. Biol. Chem.*, 1909, **6**, 87-104.
- [5] C. C. Benson, *J. Phys. Chem.*, 1903, **7**, 1-14.
- [6] C. C. Benson, *J. Phys. Chem.*, 1903, **7**, 356-388.
- [7] C. C. Benson, *J. Phys. Chem.*, 1903, **7**, 532-536.

Marco Fontani <sup>a</sup>, Mariagrazia Costa <sup>b</sup>, Francesca Salvianti <sup>c</sup> e Mary Virginia Orna <sup>d</sup>

a) Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze; b) Laboratorio di Ricerca Educativa; Dipartimento di Chimica dell'Università di Firenze; c) Dipartimento Scienze Biomediche, Sperimentali e Cliniche "Mario Serio" dell'Università di Firenze; d) College of New Rochelle, New Rochelle, New York, USA

✉ marco.fontani@unifi.it

# Il sottile confine tra inettitudine e inganno

## *Il caso degli amminoacidi tumorali della serie D*

### RIASSUNTO

*Negli anni '30 i primi lavori a stampa di Fritz Kögl e dei suoi collaboratori iniziarono ad apparire sui D-amminoacidi presenti nelle proteine tumorali animali. La controversa storia su cui si basa questo articolo ricorda la disputa sorta tra Kögl e l'impressionante schiera di dissidenti altrettanto determinati e capaci. Il presente lavoro stimola, con aneddoti, la curiosità di saperne di più su ciò che potrebbe essere andato storto negli esperimenti di Kögl nei due decenni tra il 1930 e il 1950.*

### ABSTRACT

*In the 1930s, the first published reports of Fritz Kögl and coworkers began to appear on the D-amino acids in animal tumor proteins. The controversial story, upon which this article is based, is reminiscent of the dispute that arose between Kögl and the impressive phalanx of equally determined and competent dissenters. The purpose of the present work is to arouse interest, complete with anecdotes, in learning more about what may have gone wrong with Kögl's experiments during the 1930s and 1940s.*

### Introduzione

**A**gli inizi del secolo scorso, l'enorme diffusione delle Neoplasie spinse molti stati a fondare istituti per studiarle. Prima della nascita dell'ingegneria genetica l'unica indagine risiedeva nello studio dei processi biochimici. Furono studiate molte macromolecole biologiche. Un impulso per la soluzione dell'antico quesito di come si generava un tumore fu dato quando chimici, biochimici e medici affrontarono il problema con nuovi metodi e nuove idee. Alcune di esse lasciarono sperare in decisivi risultati. Altre, spesso quelle più av-

ventate, finirono per nascondere gravi errori. Una di queste ipotesi riguarda l'eminente medico, Gaetano Fichera (1880 – 1935), primo direttore dell'Istituto Nazionale Vittorio Emanuele III di Milano (poi Istituto Tumori). Con eccessiva fiducia nei pochi dati noti, consegnò alla posterità una dubbia "dottrina", secondo la quale l'origine dei tumori andava ricercata in una disfunzione ghiandola per la quale conì il termine "squilibrio oncogeno" [1]. Quello di Fichera fu un'ardita ipotesi da medico. Tuttavia, molti errori - se così vogliamo definirli - furono commessi anche dai chimici. Uno tra i più grossolani, addirittura in odore di frode, fu perpetrato da Fritz Kögl, un chimico tedesco naturalizzato olandese.

Sebbene i tumori fossero noti fin dall'antichità – Ippocrate conì il termine carcinoma – gli studi moderni iniziano dopo la scoperta delle cellule e successivamente con l'identificazione che le cellule neoplastiche non penetrano dall'esterno, non sono cioè estranee all'organismo, ma originano da una modificazione propria delle cellule del portatore [2]. Il successivo passo avanti fu dovuto a Rudolf Virchow (1821 – 1902), il quale insegnò a distinguere due tipi di tumori maligni: i carcinomi, i quali derivano da cellule epiteliali, e i sarcomi, i quali hanno origine da cellule connettive. Una così detta "chimica dei tumori" prese l'avvio soltanto quando i patologi furono in grado di distinguere istologicamente i tessuti neoplastici e furono condotti i primi esperimenti per comprendere i fondamenti del metabolismo dei differenti tessuti. La chimica dei tessuti cancerosi fu per semplicità così suddivisa:

- la composizione biochimica del tessuto neoplastico
- i processi biochimici che si svolgono in un tessuto malato

Nel contenuto e nei prodotti di ricambio dei tessuti tumorali non fu possibile caratterizzare nessuna molecola espressione del tessuto neoplastico. Tuttavia, alcuni ricercatori vollero credere che nel siero delle persone colpite da neoplasie si celassero proteine o lipidi specifici. All'inizio degli anni Trenta, il professor Fritz Kögl del Laboratorio di Chimica Organica dell'Università di Utrecht, in collaborazione con i dottori Arie Jan Haagen-Smit (1900-1977) e Wilhelmine (Hanni) Erxleben (1903 - 2001), fece una sorprendente scoperta.

Fin dai primi anni del secolo scorso, Emil Abderhalden (1877-1950) e Florentin Medigreceanu (1882 - 1917) avevano osservato che il contenuto di alcuni amminoacidi non differisce quantitativamente nelle cavie sane da quelle affette da sarcomi o carcinomi. Fu presto escluso che tra le proteine degli organi sani e quelle degli organi malati ci potessero essere delle differenze sostanziali; tutt'al più vi erano differenze nel rapporto reciproco delle differenti frazioni proteiche e nelle quantità dei singoli amminoacidi [3]. Al contrario, le minute analisi del professor Kögl e dei suoi collaboratori [4] sembravano indicare la presenza di differenze qualitative tra i costituenti chimici dei tessuti sani e di quelli malati. Com'è noto, tutte le proteine sinora studiate sono costituite da amminoacidi, i quali appartengono ad una sola serie sterica, e precisamente quella L. I D-amminoacidi si trovano in natura solo eccezionalmente.<sup>1</sup>

Kögl asserì che il miscuglio di amminoacidi ottenuto idrolizzando le proteine dei tumori, conteneva alcuni amminoacidi della serie D. Kögl non osservò mai D-amminoacidi nelle proteine dei tessuti normali, mentre rinvenne D-amminoacidi in piccola quantità nei tumori benigni, in maggiore quantità in tutti i tumori maligni, sia spontanei (nell'uomo) che indotti (cavie di laboratorio). Kögl notò che l'acido D-glutammico compariva in quantità più abbondante degli altri amminoacidi. Egli aveva elaborato un preciso protocollo sperimentale: le proteine sia neutre che cariche venivano estratte a freddo con etanolo [5] e tenute a riflusso in tre volumi di acido cloridrico concentrato per sette ore. La completa idrolisi permise

a Kögl di estrarre non meno di quindici diversi amminoacidi in uno stato discretamente puro. Quattro di questi amminoacidi provenienti dall'idrolizzato proteico mostravano una rotazione specifica, che indicava, secondo l'interpretazione data dagli autori, che nei campioni proteici tumorali vi fosse più D-amminoacido di quello che si sarebbero attesi da una semplice racemizzazione del corrispondente L-amminoacido in soluzione. I quattro amminoacidi otticamente attivi erano: leucina, lisina, valina e acido glutammico. I primi tre contenevano una forma D non superiore al 4%, mentre l'acido glutammico spiccava per la sua abbondanza nella forma D. La presenza della forma D variava dal 30 a quasi il 50%. Tale variazione fu indicata da Kögl come un indicatore dello stato di avanzamento della malattia e della sua aggressività [6].

Successivamente isolò il cloridrato dell'acido D-glutammico. A suo avviso, esso avrebbe provato l'esistenza di un ipotetico enzima, il *D-amminoacidossidasi*. Infine, foraggiando cani con proteine tumorali, osservò nelle loro feci una quantità di acido D-glutammico superiore a quella fornita [7].

*Le affermazioni di Kögl, se vere, avrebbero aperto un nuovo approccio allo studio dei tumori. Molti scienziati cercarono conferma delle affermazioni del chimico tedesco. Gli esperimenti di Kögl furono ripetuti in molte parti del mondo, ma i riscontri favorevoli furono pochi ed incerti. Heinrich Th. Wieland (1877-1957) isolò l'acido glutammico con un metodo cromatografico, ma non riuscì a stabilire alcuna differenza nella rotazione ottica dell'acido glutammico estratto dal tessuto normale e da quello canceroso [8]. Abderhalden<sup>2</sup> controllò con scrupolosità i risultati avanzati da Kögl: solo in alcuni casi confermò la presenza di acido D-glutammico, ma in una concentrazione assai più limitata di quelle proposta dal collega [9]. Al contrario Fritz Albert Lipmann (1899 - 1986) e i suoi collaboratori escludono categoricamente la presenza della forma D dell'acido glutammico [10]. Contemporaneamente negli Stati Uniti, Samuel Graff (1905-1973), David Rittenberg (1906 - 1970) e G. L. Foster [11] ricorsero alla tecnica detta *isotopen-**

<sup>1</sup> Grazie agli sforzi iniziali di Emil Fischer (1852-1919) e ai successivi studi di Karl Johann Freudenberg (1886-1983), Paul Karrer (1889-1971), Richard Kuhn (1900-1967) e altri ancora, apparve chiaro che tutti gli amminoacidi proteinogenici hanno lo stesso arrangiamento dei sostituenti intorno all'atomo di carbonio asimmetrico in posizione  $\alpha$ . Tutti questi amminoacidi appartengono alla serie L seguendo la convenzione di Fischer. La preferenza del mondo vivente per la serie L a discapito di quella D è pressoché totale. Soltanto a partire dagli anni Trenta si osservò la presenza di D-amminoacidi naturali. Essi sono stati rinvenuti esclusivamente in alcune muffe e batteri, espressioni forse di forme di vita arcaica.

<sup>2</sup> Emil Abderhalden godette in vita di un grandissimo prestigio. Molti anni dopo la sua scomparsa fu chiarito il carattere erroneo delle sue teorie. Abderhalden, infatti, aveva ipotizzato l'esistenza di un ipotetico *Abwehrfermente*, ossia una proteasi stimolata dalla risposta immunologica. Questa teoria sembrò confermata da numerose osservazioni sperimentali fatte dai suoi collaboratori. Solamente in seguito, grazie ad uno scrupoloso lavoro di Ute Deichmann e Benno Müller-Hill, fu chiaro che i test di Abderhalden furono eseguiti manipolando accuratamente i dati, ossia scartando tutti i risultati negativi.



**Fig. 1** Bruxelles, Ottobre 1937: partecipanti al sesto Congresso Solvay di Chimica. Fritz Kögl è il sesto da sinistra in piedi.

*verdünnungsmethode* (diluizione isotopica), su una miscela L e D dell'acido glutammico. In nessun caso rinvennero più dell'1 % di acido D-glutammico. Tanto più gli esperimenti di Graff sembravano contraddire i risultati del biochimico tedesco, tanto più il gruppo di Utrecht si arroccò sulle proprie posizioni. Kögl, sebbene si trovasse in ristrettezze economiche dovute alle eccezionalità degli eventi bellici, riuscì a metter su un analogo esperimento [12]. Com'era prevedibile, confermò i suoi precedenti risultati [13] ed accusò i detrattori di imperizia. Kögl affermò che i tempi erano maturi per passare ad un concreto utilizzo della sua tecnica in campo diagnostico. Per comprendere appieno la complessa vicenda scientifica che lo vide coinvolto occorre soffermarsi sulla sua "teoria oncogenica".

### 1 La Teoria di Kögl sull'origine dei tumori

Sul finire degli anni Venti alcuni biochimici iniziarono ad interessarsi alla stereospecificità di enzimi chiamati peptidasi. Oltre alle L-peptidasi "naturali" furono osservati enzimi capaci di scindere le forme speculari del peptide L. Per comodità furono chiamate D-peptidasi. Nel 1939 Fritz Kögl e Hanni Erxleben trassero la conclusione che i peptidi provenienti da proteine naturali contenessero esclusivamente amminoacidi della serie D [14]. Il titolo di questa comunicazione scientifica annunciava qualcosa di veramente sorprendente: "Zur Ätiologie der malignen Tumoren", ovvero "Sull'origine dei tumori maligni". La spiegazione che davano al fenomeno dell'insorgenza dei tumori era di natura prettamente stereochimica. Secondo le loro vedute, i D-amminoacidi si incontrerebbero esclusivamente come prodotti di demolizione delle proteine di tessuti neoplastici. L'importanza di questa scoperta, se confermata, sarebbe stata incalcolabile: avrebbe permesso di sta-

bilire la natura del tumore e al tempo stesso di farne una diagnosi.

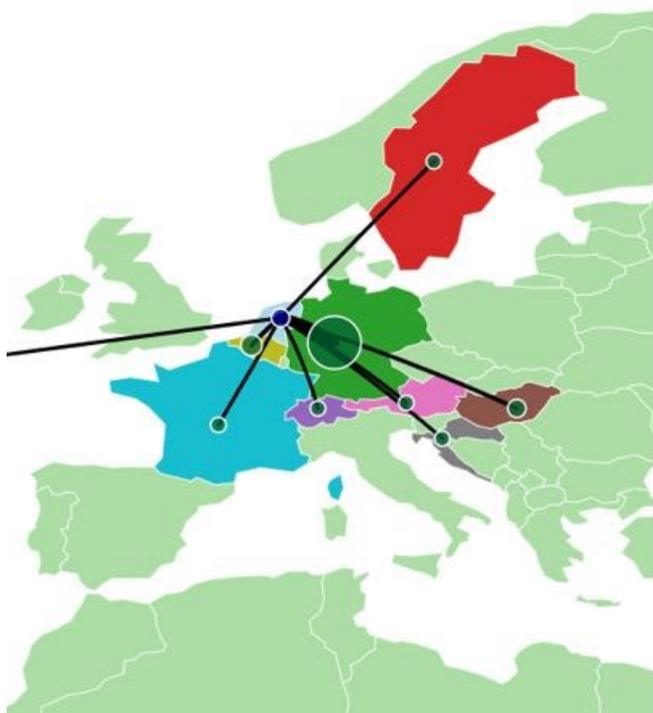
### 2 Novanta anni di controversie

La domanda, se la comparsa di D-amminoacidi fosse legata alla trasformazione delle cellule normali in cancerose, spinse molti ricercatori a ripetere gli esperimenti di Kögl. I risultati in contrasto con il chimico tedesco alimentarono una vivace discussione. La comunità scientifica si divise. Molti videro in questo uomo un geniale sperimentatore ed accolsero acriticamente la nuova teoria. Altri rimasero scettici non riuscendo a ripetere gli esperimenti. Con il passare degli anni, sempre più scienziati iniziarono a vociferare intorno ad una possibile frode scientifica. In dettaglio la teoria di Kögl e Erxleben prevedeva che gli "stimoli cancerogeni" avessero una causa endogena. Fin qua niente di nuovo: lo stesso Gaetano Fichera in Italia da anni andava pubblicizzando una simile teoria. Kögl però si spinse oltre. Forte dei suoi dati sperimentali egli credette che la causa dell'insorgenza dei tumori andasse ricercata nella sintesi proteica enzimatica. Per Kögl la cellula neoplastica, per sintetizzare le proteine, avrebbe perduto la capacità (propria della cellula sana) di utilizzare esclusivamente amminoacidi naturali. A corollario della sua ipotesi, andò affermando che le cellule normali sono incapaci di opporsi all'invasione delle cellule cancerose poiché sono prive degli enzimi proteolitici specifici. Egli affermò che la sua scoperta era talmente importante da dover essere considerata una pietra miliare nella storia della medicina. Per oltre un decennio il suo nome circolò nelle segrete stanze dell'Accademia Svedese come possibile vincitore del premio Nobel.

Kögl ed Erxleben proseguirono le ricerche. Se alle cavie venivano somministrati, come alimenti, tessuti



**Fig. 2** Fritz Kögl, a sinistra, ritratto al fianco di Hans Karl August Simon von Euler-Chelpin, premio Nobel per la Chimica 1929 e membro influente in seno alla Fondazione Nobel.



**Fig. 3** Cartina che illustra la provenienza delle candidature di Fritz Kögl al premio Nobel; fonte Nobel Foundation. Il segmento incompleto a sinistra indica che alcune nomine sono giunte anche dagli Stati Uniti.

“normali”, i ricercatori trovavano esclusivamente acido L-glutammico. Altre ricerche sembravano andare nella direzione di quella indicata da Kögl: ad esempio innesti di tumori sembravano confermare l'improvvisa comparsa dell'enzima D-peptidasi [15]. Ernst Waldschmidt-Leitz (1894-1972) e i suoi colleghi fecero degli esperimenti che sembravano andare in direzione opposta, facendo sorgere non poche discussioni scientifiche ma anche di natura etica: eseguì, su un campione di ratti, 12 iniezioni di DL-valilglicina al 3% [16]. Dopo un certo tempo riscontrò che il siero di questi animali era divenuto capace di scindere la D-leucina. Lo stesso ricercatore ripeté l'analogo esperimento anche sull'uomo. Infatti, dopo che Kögl comunicò i risultati delle analisi dalle quali sembrava che nelle proteine dei tumori si trovassero D-amminoacidi, Waldschmidt-Leitz credette di aver dimostrato che nel siero dei portatori di tumori comparissero D-peptidasi (enzimi capaci di scindere proteine contenenti D-amminoacidi), attraverso una reazione immunitaria [17]. Dal 1941 il numero delle osservazioni in disaccordo con Kögl crebbe vistosamente. Da allora fu più difficile sostenere la teoria della genesi dei tumori. Anche per Waldschmidt-Leitz queste scoperte segnarono un brutto colpo, perché le sue affermazioni errate non passarono inosservate [18]. Aperta la falla nella teoria Waldschmidt-Leitz, seguì la disastrosa

rotta per Kögl e per le sue ipotesi. E. e R. Abderhalden [19], Berger, Baumann e Johnson [20], Hans von Euler (1873 – 1964), Alström ed Hölberg [21] dimostrarono in modo inoppugnabile che dopo iniezioni sottocutanee di D-peptidi nelle cavie non compariva alcuna D-peptidasi.

Sarebbe stato senza dubbio affascinante fornire una spiegazione così elementare in termini chimici, sul come le cellule potessero sottrarsi al controllo genetico di una crescita normale. Le ipotesi di Kögl furono da subito accompagnate da uno strascico di critiche nella forma di estese pubblicazioni scientifiche [22] e comunicazioni brevi [23]. In tutti i casi, gli autori contraddissero i risultati di Kögl. Nel febbraio 1950 apparve anche una dettagliata recensione a firma di James A. Miller (1915 – 2000) dell'Università del Wisconsin, il quale ripercorse con imparzialità l'intera vicenda [24]. Dal canto suo Kögl non subì passivamente la crescente ostilità dei colleghi. Fino al 1943 il suo gruppo di ricerca pubblicò non meno di dieci lavori, dove puntualmente veniva data conferma dei dati che negli altri laboratori di ricerca sembravano irripetibili.

Nel frattempo, altre discrepanze sorsero tra le due scuole: mentre nel gruppo di Kögl riferirono di non aver mai trovato acido D-glutammico nei tessuti sani, tutti gli altri laboratori di ricerca asserirono che una debole percentuale di acido D-glutammico era presente sia nei tessuti sani che in quelli maligni. Proprio questa affermazione indiretta appare come la prova della veridicità delle affermazioni della fazione avversa: infatti gli amminoacidi ottenuti sia dai tessuti sani che malati tendevano a racemizzare. E poiché sia nell'uno che nell'altro caso erano amminoacidi proteinogenici della serie L, per racemizzazione davano luogo a una piccola percentuale di forma D. Dato che le percentuali della forma D sia nei tessuti malati che sani erano uguali, gli scienziati dedussero che non vi fosse nessuna differenza stereoisomerica tra le proteine malate e quelle sane. In retrospettiva possiamo dire che il gruppo di Utrecht non prestò, o non volle prestare, sufficiente attenzione alle critiche che piovevano da tutte le parti del mondo. Appena terminata la guerra, David Rittenberg e David Shemin (1911 – 1991) pubblicarono un nuovo lavoro [25] molto scettico sull'operato di Kögl [26]. Il gruppo di Utrecht rispose alle critiche pubblicando un nuovo articolo [27], apparso nel 1949; in parte ammisero i propri errori, ma sostanzialmente le loro convinzioni rimasero immutate. Fin dagli anni Quaranta era noto che la racemizzazione dell'acido L-glutammico nelle condizioni di idrolisi menzionate da Kögl produceva circa 1% della specie D. Questa prova non lasciava spazio all'ipo-

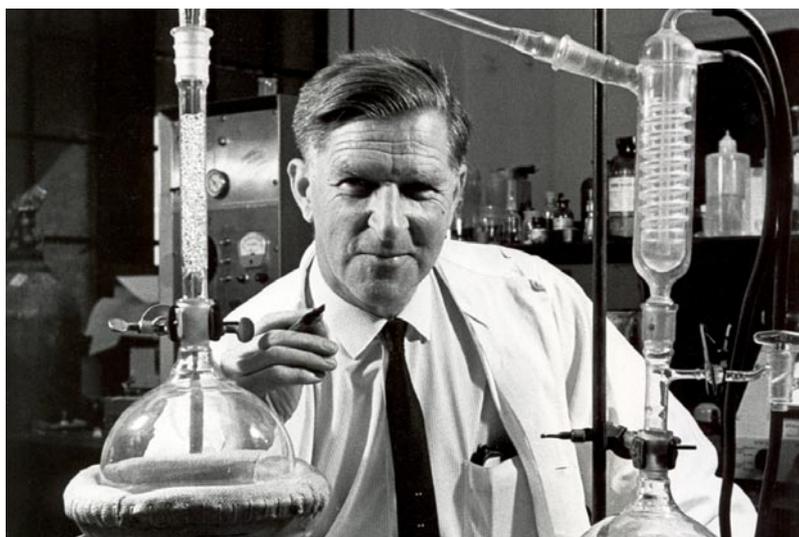


Fig. 4 Arie Jan Haagen-Smit, stretto collaboratore di Fritz Kögl nei primi anni Trenta.

tesi di Kögl e il professore tedesco-olandese l'aveva intuito. Ciò nonostante, si rifiutò di sconfessare il proprio operato. Ancora una volta il peso dell'orgoglio soffocava la verità. Nel corso degli anni furono pubblicati nuovi articoli scientifici dove, con sempre più sicurezza, si affermò che il lavoro di Kögl e Erxleben non fosse tanto il frutto di un errore, ma una vera manipolazione dei dati. La parola frode comparve in entrambe le review dedicate a questi due scienziati tedeschi. La prima pubblicazione [28] apparve nel 1997, mentre la seconda undici anni più tardi [29]. Nel primo lavoro, una monografia di oltre trenta pagine, Samuel Wildman (1912 – 2004) associò il nome di Kögl ad un'altra frode scientifica: la presunta scoperta di due ormoni responsabili della crescita delle piante, l'auxina-A e B. Il secondo lavoro di James Richard Troyer (1929 – 2014), invece, ripercorse l'intera vicenda legata alle scoperte di Kögl. L'autore fece ricadere il peso della frode esclusivamente sulla ricercatrice.

### 3 Fritz Kögl e gli altri autori

Fritz Kögl era nato il 19 settembre 1897 a Monaco di Baviera. Studiò chimica al Technische Hochschule di Monaco sotto la guida di Heinrich Otto Wieland, del quale divenne assistente nei primissimi anni Venti. Dal 1921 al 1926 lavorò nel gruppo di ricerca di un altro premio Nobel, Hans Fischer. Nominato *privatdozent* di chimica organica nel 1925, l'anno seguente si trasferì all'Università di Gottinga. Nel 1931 divenne professore di Chimica Organica e Biochimica presso l'Università di Utrecht [30]. Kögl nei primi anni Trenta insieme con Erxleben e Haagen-Smit, scoprì l'or-

gine della crescita delle piante che chiamò auxina [31].

Anche in questo caso le loro ricerche furono riconosciute fallaci. Nel mentre, fu eletto membro della Accademia Leopoldina, dell'Accademia delle Scienze di Gottinga e dell'Accademia delle Scienze di Heidelberg, nonché fu elevato al rango di cavaliere dell'Ordine del Leone dei Paesi Bassi. Ricevette anche altri ambiti riconoscimenti: la medaglia Emil Fischer e la Medaglia Scheele dalla Società Chimica Svedese. Durante la Seconda Guerra Mondiale, sostenne la resistenza olandese e poté quindi mantenere la sua posizione accademica in Olanda. Tutta-

via, gli anni olandesi non dovevano essere ancora molti: morì il 6 giugno 1959 di una malattia incurabile, come si diceva all'epoca [32].

Johanne Wilhelmine Erxleben era nata a Brema il 22 giugno 1903. Dopo un percorso scolastico non lineare, a ventitré anni, si iscrisse all'Università Tecnica di Monaco di Baviera. Nel 1929 passò all'Università di Gottinga dove iniziò la lunga collaborazione con Kögl. Nel 1936, dopo che il collega Haagen-Smit emigrò negli Stati Uniti, fu promossa assistente capo; due anni più tardi assunse la cittadinanza olandese e alla vigilia della Seconda Guerra Mondiale fu nominata *privaat-docent*. Durante l'occupazione nazista dei Paesi Bassi, manifestò aperta simpatia per le truppe occupanti. Nel febbraio 1944, quando la guerra si stava mettendo male per la Germania, chiese ed ottenne di riprendere la vecchia cittadinanza. La sua carriera riprese lontano dalle sedi universitarie: divenne prima insegnante di scuola superiore, poi direttrice scolastica del Ginnasio di Bielefeld. Contrariamente a quanto ci si potesse attendere Kögl si mostrò sempre disposto ad aiutarla: nell'immediato dopoguerra le offrì la possibilità di tornare a lavorare in Olanda. Non si può affermare con certezza se egli fosse a conoscenza dell'inganno perpetrato nei suoi confronti o, al contrario, se sia stato costretto a proteggerla per non compromettere la propria reputazione e quella dell'Istituto. Nel 1983, Bucher [33] seguito da Karston [34] avanzarono l'ipotesi che la ricercatrice tedesco-olandese, in odore di simpatie naziste, avesse probabilmente arricchito i campioni con acido D-glutammico così da falsarne i risultati. Di parere discordante fu Wildman il quale, nel 1997, asserì di essere rimasto con la convinzione che sia Kögl che il collaboratore Haagen-Smith "*were not entirely innocent victims*". Detto ciò, non si sa con certezza di cosa fosse a conoscenza. A detta di Haagen-Smith, Kögl non svolgeva da tempo alcuna ri-

Classe	Nomina per l'anno	Nominatore	Vincitore del Premio Nobel
Chimica	1934	Richard Willstätter (1872-1942)	1915
Chimica	1934	Karl Bauer (1874-1944)	
Chimica	1934	Berthold Rassow (1866-1954)	
Chimica	1934	Wilhelm Böttger (1871-1949)	
Chimica	1934	Paul Pfeiffer (1875-1951)	
Chimica	1935	Hermann Fischer	
Chimica	1935	Hans von Euler-Chelpin (1873-1964)	1929
Chimica	1935	Fritz Hofmann (1866-1956)	
Chimica	1936	Hans Fischer (1881-1945)	1930
Chimica	1936	Heinrich Wieland (1877-1957)	1927
Chimica	1936	Hans von Euler-Chelpin (1873-1964)	1929
Chimica	1937	Heinrich Wieland (1877-1957)	1927
Chimica	1937	Adolf Windaus (1876-1959)	1928
Chimica	1937	Hans Fischer (1881-1945)	1930
Chimica	1937	Percy Brigg (1885-1945)	
Chimica	1937	Otto Hahn (1879-1968)	1944
Chimica	1940	Hans von Euler-Chelpin (1873-1964)	1929
Chimica	1940	Leopold Ruzicka (1887-1976)	1939
Chimica	1941	Julius Wagner-Jauregg (1857-1940)	1927
Chimica	1941	Leopold Ruzicka (1887-1976)	1939
Chimica	1943	M Dezelic	
Chimica	1943	Leopold Ruzicka (1887-1976)	1939
Chimica	1944	Leopold Ruzicka (1887-1976)	1939
Chimica	1944	Jan Gillis (1893-1978)	
Chimica	1945	Hans von Euler-Chelpin (1873-1964)	1929
Chimica	1948	Eugène Aube (1884-1975)	
Chimica	1948	Heinrich Wieland (1877-1957)	1927
Chimica	1948	Walter Hieber (1895-1976)	
Chimica	1948	Hans von Euler-Chelpin (1873-1964)	1929
Chimica	1949	Avery Morton (1892-1987)	
Chimica	1949	Johannes Bijvoet (1892-1980)	
Chimica	1949	Jan Theodoor Overbeek (1911-2007)	
Chimica	1950	A Rutgers	
Chimica	1950	Eugène Aube (1884-1975)	
Chimica	1951	R Ruysen	
Medicina	1933	Otto Warburg (1883-1970)	1931
Medicina	1940	Stafan Rusznayk (1889-1974)	
Medicina	1941	Albert von Szent-Györgyi (1893-1986)	1937

cerca di laboratorio sebbene “*he always put his name first on the paper*” e “*he had very little to do with it*” [31]. Kögl passava quasi tutto il giorno chiuso in ufficio, fuori dalla cui porta troneggiava una lampadina. Se era accesa una luce rossa il maestro non andava disturbato per nessuna ragione; se, invece, la luce era bianca l’interessato poteva bussare alla porta e chiedere udienza. Anni più tardi Sabbagh cercò di trovare una spiegazione sul perché Kögl avesse riscosso tanto successo tra i colleghi accademici e non fosse stato neppure “ufficiosamente” accusato dai collaboratori. Egli si soffermò su aspetti sociologici non irrilevanti, i soliti mali che tormen-

tano la scienza allora come adesso: ambizione, fretta nel pubblicare, riluttanza ad ammettere i propri errori, sbavature politiche e perfino il sesso [35]. Una lettera di Haagen-Smith potrebbe gettare nuova luce non sul come fosse iniziata la frode, ma sul perché fosse stato interesse di tutti coprirlo. Kögl veniva chiamato senza troppo affetto, “*Herr Professor*”, di carattere severo fino alla ruvidità: non si poteva porgli domande né tantomeno contraddirlo. Era un *barone* con inclinazioni dittatoriali [36]. Lodisch espresse l’opinione che la frode sia stata perpetrata dai subalterni e in questo caso sembra che le cose siano andate effettivamente così [37]. Tuttavia, se anche fosse vero, il capo non potrebbe uscirne immacolato. Da resoconti ufficiosi, poco più che voci di corridoio tra gli ex-colleghi di Kögl, raccolti con grande riservatezza da van Kolschooten, si evince che circolava un forte scetticismo sull’operato del chimico organico. I colleghi intervistati espressero tutta la loro riserva sull’effettivo contributo dato da Kögl alla chimica. Andarono ben oltre: “Vi era il tremendo sospetto che qualcosa di *maledettamente* falso fosse nascosto nel laboratorio di organica” [38].

## Conclusioni

Non vogliamo esprimere un giudizio, ma cercare di stabilire quale errore sia all’origine della frode: una falsata interpretazione dei dati, un errore non denunciato in tempo. La decomposizione delle proteine con acido cloridrico avrebbe liberato i singoli amminoacidi dalla complessa costruzione. Come sappiamo essi erano nella totalità della specie enantiomerica “L”. Tuttavia, la presenza di un ambiente acido avrebbe catalizzato la formazione dell’enantiomero “D”. Tale reazione si sarebbe conclusa, con l’opportuna cinetica, a racemizzazione avvenuta [39]. L’interruzione di questo processo da parte dei ricercatori di Utrecht per purificazioni, estrazioni o misurazioni chimico-fisiche, possono essere avvenute di volta in volta in tempi diversi. Infatti, in tutti i lavori Kögl non riporta una percentuale costante dell’acido D-glutammico. Essa varia da poche unità percentuali a quasi il 50%. Un indizio che spiegherebbe la presenza di tracce di amminoacidi della serie D. Al tempo stesso non si esclude la

possibilità che qualcuno possa aver “aggiustato” gli esperimenti: Kögl e i suoi collaboratori avrebbero involontariamente interrotto la cinetica della reazione di racemizzazione ad intervalli di tempo non identici, ottenendo di volta in volta percentuali diverse della specie enantiomerica non naturale. Oggi sappiamo che la racemizzazione degli amminoacidi è un dato incontrovertibile; esso viene addirittura utilizzato in paleobiologia e nella scienza forense per stimare l'età di un campione biologico [40].

### Bibliografia

- [1] P. Placucci, *Dal male oscuro alla malattia curabile*, Ed. Laterza, Bari, 1996, pp 57-60.
- [2] H. von Euler, B. Skarzynski, *La biochimica dei tumori*, Ed. Einaudi, Torino, 1945, pp. 15-26.
- [3] H. von Euler, B. Skarzynski, *La biochimica dei tumori*, Ed. Einaudi, Torino, 1945, pp. 69-75.
- [4] F. Kögl, H. Herken, H. Erxleben, *Z. physiol. Chem.*, 1940, **264**, 220.
- [5] F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Phys. Chem.*, 1939, **258**, 57.
- [6] H. Erxleben, H. Herken, *Zeitschr. fuer Physiol. Chem.*, 1940, **264**, 240; F. Kögl, *Naturwissenschaften*, 1942, **30**, 46; F. Kögl, H. Erxleben, *Zeitschr. fuer Physiol. Chem*, 1939, **261**, 154.
- [7] H. von Euler, B. Skarzynski, *La biochimica dei tumori*, Ed. Einaudi, Torino, 1945, pp. 117-127.
- [8] H. Th. Wieland, *Ber. Chem. Ges.*, 1942, **75**, 1001.
- [9] E. Abderhalden, *Ber. Chem. Ges.*, 1942, **75**, 135.
- [10] F. A. Lipmann, O. K. Behernes, E. A. Kabat, D. Burk, *Science*, 1940, **91**, 21.
- [11] S. Graff, D. Rittenberg, G. L. Foster, *J. Biol. Chem.*, 1940, **133**, 745.
- [12] F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Physiol. Chem.*, 1943, **277**, 251.
- [13] F. Kögl, H. Erxleben, A. M. Akkermann, *Z. Physiol. Chem.*, 1939, **261**, 141; F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Physiol. Chem.*, 1940, **264**, 198; F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Physiol. Chem.*, 1940, **264**, 211.
- [14] F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Phys. Chem.*, 1939, **258**, 57; F. Kögl, H. Erxleben, *Z. Phys. Chem.*, 1939, **261**, 49; F. Kögl, H. Erxleben, H. Herken, *Naturwiss.*, 1939, **27**, 472; F. Kögl, H. Erxleben, H. Herken, *Klin. Woch.*, 1939, **18**, 801; C. Dittmar, *Krebsforsch.*, 1940, **50**, 472; R. Schoenheimer, *Annu. Rev. Biochem.*, 1941, **10**, 204.
- [15] H. von Euler, B. Skarzynski, *La biochimica dei tumori*, Ed. Einaudi, Torino, 1945, pp. 322-323
- [16] E. Waldschmidt-Leitz, K. Mayer, R. Hatschek, *Z. Physiol. Chem.*, 1940, **263**, 1.
- [17] E. Waldschmidt-Leitz, R. Hatschek, R. Hausmann, *Z. Physiol. Chem.*, 1940, **267**, 79.
- [18] H. Bayerle, F. H. Podlouchy, *Z. Physiol. Chem.*, 1940, **264**, 189; H. Bayerle, G. Borger, F. H. Podlouchy, *Bioch. Z.*, 1941, **307**, 341.
- [19] R. Abderhalden, *Z. Physiol. Chem.*, 1941, **270**, 1; R. Abderhalden, E. Abderhalden, *Fermentforsch.*, 1940, **16**, 194.
- [20] J. Berger, M. J. Johnson, C. A. Baumann, *J. Biol. Chem.*, 1941, **137**, 389.
- [21] H. von Euler, L. Ahlström, B. Högberg, *Z. Krebsforsch.*, 1941, **51**, 433.
- [22] R. Abderhalden, *Z. Physiol. Chem.*, 1942, **275**, 135; A. C. Chibnall, *Biochem. J.*, 1940, **34**, 285; S. Graff, *J. Biol. Chem.*, 1939, **130**, 13; S. Graff, D. Rittenberg, *J. Biol. Chem.*, 1940, **133**, 745; V. Klingmüller, *Zeitschr. f. Physiol. Chem.*, 1943, 278, 97; T. Wieland, *Ber. Deut. Chem. Ges.*, 1942, **75B**, 1001; T. Wieland, P. W. von Bestimmung, *Ber. Deut. Chem. Ges.*, 1944, **77**, 34; G. E. Woodward, F. E. Reinhart, J. S. Dohan, *J. Biol. Chem.*, 1941, **138**, 677.
- [23] C. Dittmar, *Zeitschr. f. Krebsforsch.*, 1940, **50**, 472; J. M. Johnson, *J. Biol. Chem.*, 1940, **132**, 781; A. Konikova, *Nature*, 1940, 145, 312; B. W. Town, *Nature*, 1940, 145, 312.
- [24] J. A. Miller, *Cancer Research*, 1950, **10**, 65.
- [25] D. Rittenberg, D. Shemin, *Annual Review of Biochemistry*, 1946, **XV**, 247.
- [26] F. Kögl, H. Erxleben, G. J. Veersen, *Zeitschr. f. Physiol. Chem.*, 1943, **277**, 251.
- [27] F. Kögl, J. Halberstadt, *Rec. Trav. Chim.*, 1949, **68**, 387.
- [28] S. G. Wildman, *Plant Growth Regulation*, 1997, **22**, 37.
- [29] J. R. Troyer, *Journal of the North Carolina Academy of Sciences*, 2008, **124**(1), 1.
- [30] H. A. M. Snelders, Kögl, Fritz (1897-1959), in *Biografisch Woordenboek van Nederland*, 12 Februar 2012.
- [31] F. Kögl, A. J. Haagen-Smit, H. Erxleben, *Z. Physiol. Chem.*, 1934, **228**, 90.
- [32] E. Havinga, *Levensbericht F. Kögl*, in *Jaarboek*, 1959-1960, Amsterdam, 1960, 311-316.
- [33] T. Bucher, *Otto Warburg a personal recollection*, in H. Sund and V. Ullrich Eds, *Biological Oxidation*, Springer Verlag, Berlin, 1983.
- [34] P. Karlson, *Naturwiss. Rundschau*, 1986, **39**, 380
- [35] K. Sabbagh, *A Rum Affair: a True Story of Botanical Fraud*. Straus & Giroux Eds., N.Y., 1999
- [36] M. Barinaga, *Science*, 1991, **252**, 1776.
- [37] H. F. Lodisch, *Trends Biochem. Sci.*, **7**, 86.
- [38] F. van Kolfschooten, *Bedrog In De Nederlandse Wetenschap*, L. J. Veen, Amserdam, 1993.
- [39] K. Kaiser, R. Benner, *Limnology and Oceanography Methods*, 2005, **3**(8), 318.
- [40] J. L. Bada, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 1985, **13**, 241; L. Canoira, M. J. García-Martínez, J. F. Llamas, J. E. Ortíz, T. D. Torres, *Int. J. Chem. Kinetics*, 2003, **35**(11), 576; B. J. Johnson, G. H. Miller, *Archeometry*, 1997, **39**(2), 265.

**Alberto Ariosto**

Studente dell'ITIS Ettore Molinari, Milano

✉ ariostoalberto02@gmail.com

# Chimica, che passione!

**M**i presento, sono Alberto Ariosto e frequento il 4° anno del corso “Chimica e materiali” presso l’istituto Ettore Molinari di Milano. Qui è nata la mia passione per la chimica: la sua capacità di astrarre e modellizzare la realtà mi ha incantato fin da subito e mi ha permesso di viaggiare dentro la *materia*, studiandola fino a fondo.

Ad oggi tutto quello che la chimica presenta mi appassiona: è sorprendente pensare che ciò che fino a un secolo fa sembrava irraggiungibile all’uomo oggi si ritrovi nella nostra quotidianità. Grazie alla ricerca ci siamo evoluti sempre di più e a ogni scoperta esisterà sempre un margine di miglioramento, poiché la chimica, come la scienza, non conosce limiti.

In questi anni scolastici ho avuto la fortuna di maturare la mia passione per questa e per le altre discipline scientifiche grazie alle diverse iniziative a cui ho preso parte. Tra queste, sono certo che quelle che reputo più significative nel mio percorso sono quelle relative ai Giochi della Chimica. Penso sia indescrivibile ciò che ho provato la prima volta che ho partecipato alle finali nazionali a Roma: ritrovarsi con altri 100 ragazzi provenienti da tutta Italia, che condividono la tua stessa passione, non è una cosa che capita tutti i giorni e sono certo che quando entrerò nel mondo universitario tutto questo mi mancherà da morire.

Di tutto il mio percorso all’interno dei Giochi della Chimica un ricordo indimenticabile che porterò per sempre nel mio cuore è la partecipazione all’allenamento preolimpico presso il Collegio Ghislieri di Pavia. Qui, infatti, ho avuto l’opportunità di confrontarmi con alcuni ragazzi della mia età che condividevano una fortissima passione per la chimica e ciò mi ha fatto sentire in una vera e propria famiglia. Ricordo ogni singolo momento di quelle due settimane, dalle lezioni avanzate con i professori universi-



tari a tutti i momenti di svago e di condivisione con gli altri ragazzi, con cui tutt’oggi mantengo un legame d’amicizia molto stretto, nonostante la distanza fisica che ci separa.

Arrivato quasi alla fine del mio percorso scolastico non penso quindi di esagerare dicendo che i Giochi della Chimica mi hanno segnato la vita e, di questo, posso solo ringraziare la Società Chimica Italiana, che mi ha dato questa opportunità, e insieme ad essa anche i professori Agostino Casapullo, Giorgio Cevasco e Raffaele Riccio, perché è grazie al loro costante impegno se ogni anno tutti noi possiamo essere parte di questo *mondo*. A tal proposito colgo l’occasione per ringraziare tutti i docenti universitari che curano la stesura dei test a risposta multipla delle fasi regionali e nazionali e i test di selezione preolimpica a risposta aperta.

Sono sicuro, tuttavia, che questo non sarà un addio, ma anzi sarà solo l’inizio: il sogno che maturo nel cassetto è infatti quello di entrare a far parte del Comitato Nazionale e magari, in futuro, avere l’onore di accompagnare i ragazzi che, come me, avranno la fortuna di intraprendere questo fantastico percorso.

Non mi resta ora che augurare a tutti i giovani che prenderanno parte a questo fantastico percorso di dare il meglio di loro e di non fermarsi ai primi ostacoli: ricordatevi sempre che quando comincerete a conoscere la chimica a fondo, comincerete veramente a capire quanto sia fantastica in ogni sua sfumatura.

# Vincenzo Balzani: l'uomo e il pianeta Terra

Di seguito sono riportati quattro contributi di **Vincenzo Balzani**, docente emerito di Chimica all'Università di Bologna, pubblicati su *l'Avvenire*, Bo7, fra la fine del 2020 e l'inizio del 2021. Nonostante siano articoli brevissimi, sono densi di concetti e considerazioni: vere pillole, o meglio perle di saggezza sulle quali meditare.



## Cosa abbiamo imparato dalla pandemia

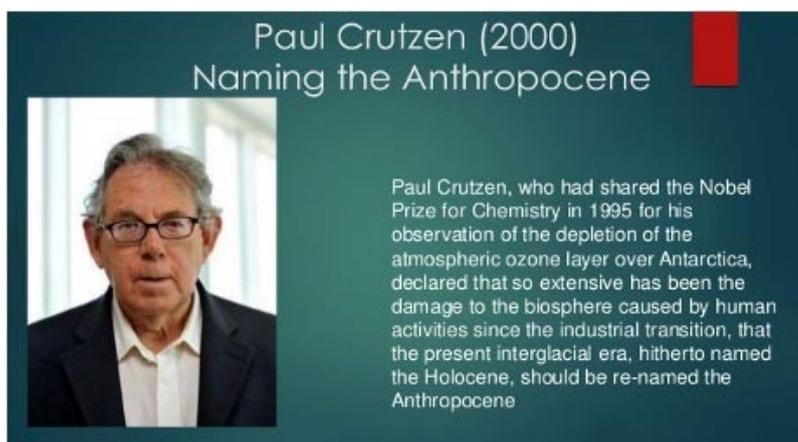
**L**a pandemia, che ci affligge da più di un anno, ci ha insegnato che se vogliamo vivere sani e in pace è necessario rivedere il nostro rapporto con il pianeta e ridisegnare le nostre strutture economiche, sociali e politiche.

L'astronave Terra, includendo l'energia che le arriva dal Sole, è un ecosistema autosufficiente, costituito dall'insieme degli organismi viventi e materia non vivente che interagiscono fra loro in un equilibrio dinamico. La società umana è parte di questo ecosistema globale.

Fino all'inizio del secolo scorso, il piccolo numero di persone sulla Terra, il limitato sviluppo della scienza e la scarsità di energia a disposizione non hanno permesso all'uomo di modificare l'ecosistema globale. Successivamente, l'accresciuto numero di persone, la grande disponibilità di energia fornita dai combustibili fossili e i progressi della scienza e della tecnologia hanno reso possibile una forte espansione dell'attività dell'uomo, che ha modificato gli equilibri dell'ecosistema globale tanto da indurre gli scienziati a considerare che sia iniziata una nuova epoca, denominata Antropocene (*epoca dell'uomo*).

Inebriato dalle sue capacità, l'uomo ha ritenuto di poter agire libero da ogni vincolo considerando il pianeta come un mero fornitore di beni e servizi e una discarica per i rifiuti. Hannah Arendt ha scritto: *L'uomo del XX secolo si è emancipato dalla natura; la natura gli è diventata estranea.*

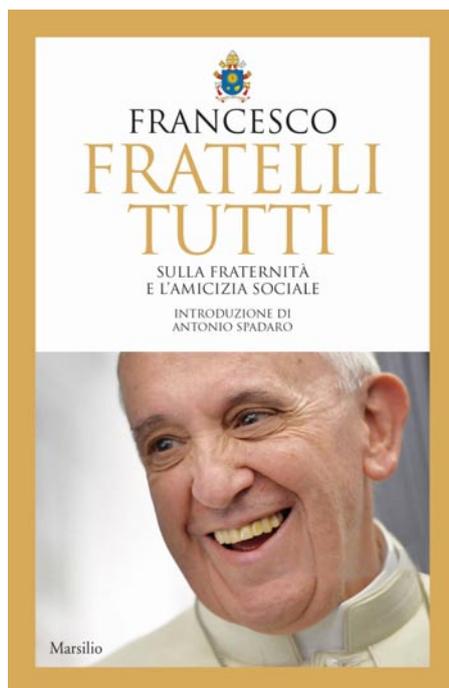
Nella società umana ha così preso il sopravvento l'economia con lo scopo di soddisfare i bisogni dell'uomo mediante lo sfruttamento dei beni naturali. Questi ultimi non sono più visti come valori intrinseci che garantiscono la sostenibilità dell'ecosistema di cui l'uomo stesso fa parte, ma come oggetti il cui prezzo è fissato dal mercato. Un tale comportamento e il conseguente modo di operare hanno provocato una forte degradazione del pianeta, tanto da mettere a repentaglio lo sviluppo della stessa società. Hans Jonas ha ammonito: *È lo smisurato potere che ci siamo dati, su noi stessi e sull'ambiente, sono le immani dimensioni causali di questo potere ad imporci di sapere che cosa stiamo facendo e di scegliere in quale direzione vogliamo inoltrarci.* Questo ammonimento ha trovato eco nell'enciclica *Laudato si'* di papa Francesco: *Il ritmo di consumo, di spreco e di*



alterazione dell'ambiente ha superato le capacità del pianeta.

Se vogliamo continuare a vivere, dobbiamo salvare l'ecosistema Terra, che comprende l'ambiente e la società umana. Pertanto, l'economia, che è un'invenzione dell'uomo, deve operare a favore della sostenibilità ambientale e sociale. Dobbiamo salvare il pianeta se vogliamo salvare noi stessi.

La pandemia, inoltre, come ha scritto papa Francesco nell'enciclica "Fratelli Tutti", ha mostrato quella (benedetta) appartenenza comune alla quale non possiamo sottrarci: l'appartenenza come fratelli. Viviamo assieme sull'Astronave Terra e condividiamo un destino comune: o ci salviamo tutti, o nessuno si salverà.



istruzione è alto, se l'aria è pulita, se i ponti sulle strade sono sicuri, se le leggi sono giuste, se c'è solidarietà ed equità sociale. Bob Kennedy nel 1968, pochi mesi prima di essere ucciso, concluse un suo discorso sul PIL in modo lapidario: *il Pil misura tutto, eccetto ciò che rende la vita veramente degna di essere vissuta*. L'aumento del PIL, che i nostri governanti auspicano perché così riusciremmo a rientrare nelle regole della UE, fa credere di vivere in un mondo illimitato e la pubblicità ci fa immaginare che il nostro pianeta sia un gigantesco supermercato in cui tutto è a nostra disposizione sempre e ovunque.

Ma la realtà non è questa: le risorse del pianeta sono limitate e altri indici ci dicono che lo stiamo sfruttando al di là delle sue possibilità. L'impronta ecologica, che misura l'impatto delle persone sul pianeta Terra, indica che, in media, ci comportiamo come se avessimo a disposizione un pianeta e mezzo. In media: perché i cittadini dei paesi sviluppati consumano risorse e producono rifiuti in quantità molto maggiori dei cittadini dei paesi poveri. Se al mondo tutte le persone consumassero risorse e producessero rifiuti come un italiano, avremmo bisogno di 2,5 Terre, se tutti si comportassero come gli statunitensi, ce ne vorrebbero 4. Se, invece, fossimo tutti etiopi, ci basterebbe metà della Terra. Le limitazioni imposte dalla pandemia ci hanno fatto provare il senso della privazione; dovremmo aver capito, però, che molte cose considerate importanti sono in realtà inutili, che è fondamentale il rispetto per la finitudine del nostro pianeta e che è necessario vivere in modo sobrio e solidale.



## Il pianeta non è un supermercato: prezzo e valore

**P**rima che scoppiasse la pandemia, la parola più frequente sulle prime pagine dei giornali e dei telegiornali e anche nei discorsi di molti leader politici era "crescita", con particolare riferimento al prodotto interno lordo (PIL). Il PIL è un indice che sostanzialmente indica il benessere economico delle nazioni sviluppate: è basato sui prezzi, ma non sui valori dei beni e dei servizi. Il PIL aumenta se si vende e si compra: quindi, se si vendono e si consumano più combustibili fossili, più sigarette e più medicinali, se ci sono più incidenti automobilistici, se si asfaltano i campi per costruire strade, se viene abbattuta una foresta per utilizzarne il legname e anche se si producono e si vendono armi. Il PIL non dice se il sistema sanitario è efficiente, se il livello di



## Il cibo e sostenibilità ecologica

**L**e piante sono fabbriche chimiche in cui il processo denominato fotosintesi, utilizzando l'energia solare, trasforma sostanze a basso contenuto energetico (acqua e anidride carbonica) in prodotti ad alto contenuto energetico e di grande pregio che forniscono cibo all'uomo.



Con l'alimentazione parte dell'energia chimica presente in tali prodotti viene ceduta all'organismo, che la utilizza per compiere le sue funzioni. Ogni attività dell'uomo, infatti, comporta un dispendio di energia: 80 kcal/ora quando dorme, 210 kcal/ora quando va in bicicletta, 800 kcal/ora quando corre. Ogni cibo ha un suo contenuto energetico: 240 kcal/kg la lattuga, 1.600 kcal/kg la carne bovina, 2.900 kcal/kg il pane.

Per produrre cibo l'energia solare è necessaria, ma non sufficiente. Oltre a terreno e acqua, ci vuole energia per le operazioni connesse alla produzione: arare, seminare, mietere, ecc. Questa energia supplementare oggi è fornita dai combustibili fossili. I vari alimenti, quindi, sono caratterizzati non solo da un proprio *contenuto energetico*, ma anche dalla quantità di energia fossile che richiedono per essere prodotti (*impronta energetica*).

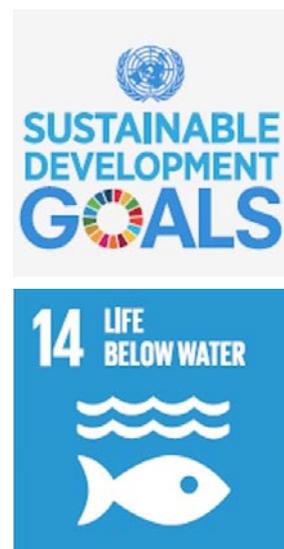
Il mais, una delle colture più comuni, ha contenuto energetico 3.500 kcal/kg e impronta energetica 900 kcal/kg (la differenza, 2.600 kcal/kg, è l'energia solare sfruttata). Quando il contenuto energetico è uguale o superiore alla impronta energetica, l'efficienza energetica è uguale a 1. Il grano e la soia hanno contenuto energetico e impronta energetica simili al mais e quindi efficienza energetica unitaria. Il latte ha contenuto energetico 650 kcal/kg e impronta energetica 1.200 kcal/kg, cioè richiede più energia di quella che fornisce (efficienza 0,55). La carne ha contenuto energetico relativamente basso (1.200, 2.000 e 1.600 kcal/kg, rispettivamente, per polli, suini e bovini) e impronta energetica molto alta (8.000 per i polli, 24.000 per i suini e addirittura 40.000 kcal/kg per i bovini) e quindi un'efficienza energetica molto bassa: 0,15, 0,08 e 0,04, rispettivamente. L'impronta idrica, espressa in litri di acqua consumati per produrre 1 kg di cibo, è 1.600 L/kg per

i cereali e 4.300, 6.000 e 15.000 L/kg per polli, suini e bovini, rispettivamente. Infine, l'industria della carne è una delle principali responsabili dell'emissione di gas serra nell'atmosfera (14% delle emissioni globali). Da questi dati si capisce che le diete molto ricche di carne, oltre ad essere dannose per la salute, sono ecologicamente insostenibili.

### Cibo e sostenibilità ecologica: il pesce

**G**li oceani coprono quasi tre quarti della superficie terrestre. Regolano la temperatura, assorbono circa 1/3 delle emissioni dovute ad attività antropiche, tutelano la biodiversità, ospitano il fitoplancton che produce ossigeno e forniscono pesci, principale fonte di proteine animali per più di un miliardo di persone.

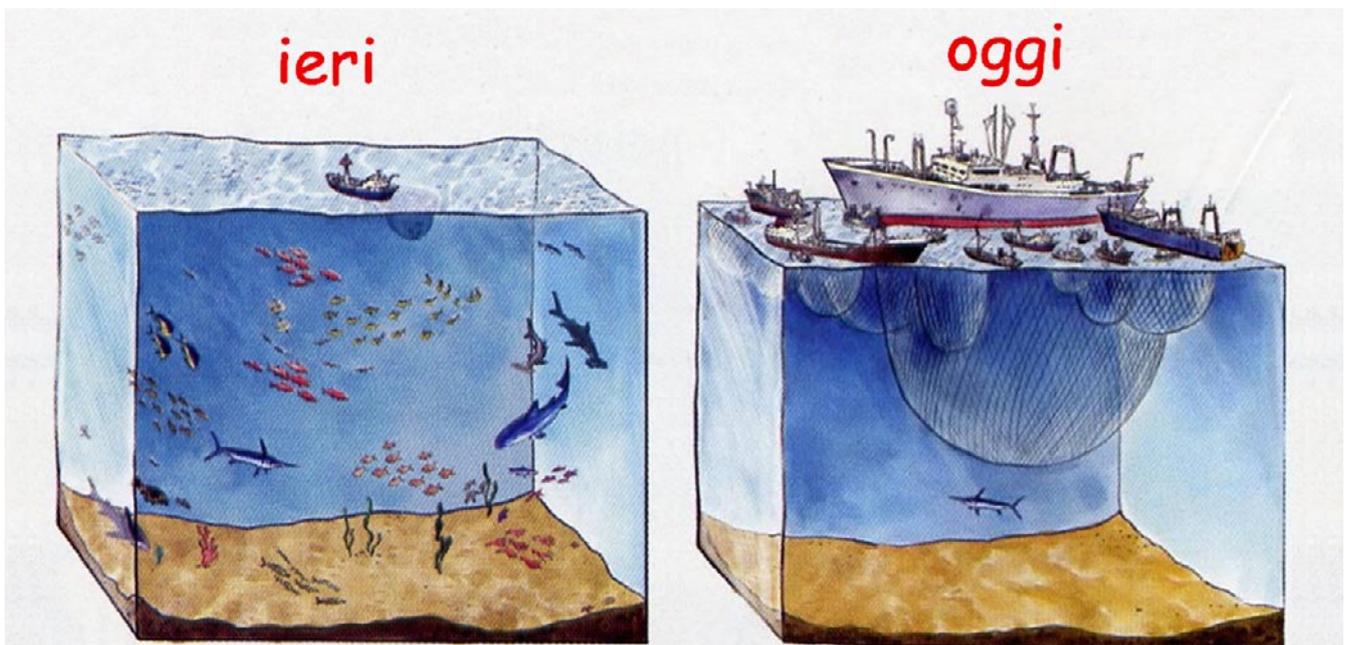
Il pesce, infatti, è un cibo molto pregiato; se ne ricavano circa 80 milioni di tonnellate all'anno dai mari e circa altrettanti dall'acquacultura, un'attività in forte crescita specie in Cina, Vietnam e Indonesia. La Cina ha sviluppato policolture ittiche che utilizzano quattro tipi di carpa in grado di alimentarsi a livelli diversi della catena alimentare, emulando così gli ecosistemi acquatici naturali. Secondo dati della FAO, il consumo globale di pesce pro-capite è cresciuto da 9 kg nel 1961 a 20,5 kg nel 2017. Nello stesso periodo, l'aumento medio annuo del consumo globale di pesce (3,2%) ha superato la crescita della popolazione (1,6%) e anche il consumo di carne di tutti gli animali terrestri messi insieme (2,8%) e individualmente (bovini, ovini, suini e altro), ad eccezione del pollame (4,9 per cento). In termini pro-capite, si prevede che il consumo mondiale di pesce raggiungerà 21,5 kg nel 2030, aumentando in tutte le regioni tranne l'Africa (-2%), a causa della forte crescita della sua popolazione. Ogni italiano mangia in media circa 25 kg di pesce all'anno; quello pescato nei nostri mari è in gran parte pesce azzurro. Più del 70% del pesce che mangiamo viene importato. La produttività dei mari è minacciata dalla loro acidificazione, causata dall'aumento della concentrazione di CO<sub>2</sub>, dall'inquinamento, in particolare da materie plastiche, e dallo sfruttamento intensivo (*overfishing*). Bottiglie, imballaggi, sacchetti e qua-





lunque altro oggetto in plastica una volta finito in mare si spezza in frammenti anche molto piccoli che vengono scambiati per cibo da pesci ed uccelli marini che, ingerendoli muoiono per soffocamento. L'eccessivo sfruttamento delle risorse ittiche non colpisce soltanto le specie di maggiore interesse commerciale, ma anche tutte quelle che vengono catturate accidentalmente (*bycatch*) a causa di tecniche inappropriate come la pesca a strascico o l'uso di reti poco selettive. Nel Mediterraneo, la percentuale scartata può arrivare fino al 70% e riguarda sia specie prive di valore commerciale, sia i pesci sotto la taglia mi-

nima, che non sono ancora entrati nel loro ciclo riproduttivo. Si stima che oltre il 30% degli stock ittici sia sovra sfruttato e che il 60% sia sfruttato al limite. L'Unione Europea ha messo in atto misure efficaci per una pesca sostenibile nel Mediterraneo, anche mediante la chiusura temporanea di alcune zone di mare, e non è un caso che l'obiettivo 14 dell'Agenda Onu 2030 sullo sviluppo sostenibile sia dedicato a garantire l'utilizzo responsabile delle risorse marine. I mari costituiscono una componente essenziale per la salute della nostra Casa Comune e quindi vanno custoditi con cura.



**Giovanni Villani**

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici ICCOM-CNR (UoS Pisa), Area della Ricerca di Pisa

✉ giovanni.villani@cnr.it

# Chimismo

## La spiegazione chimica del mondo

Il termine *chimismo* non è nuovo, sebbene oggi non sia molto usato. Esso, in generale, può essere ricollegato alla spiegazione con enti/processi chimici di un materiale o di un fenomeno. Attualmente tale termine viene usato in geochimica per indicare le caratteristiche chimiche di una roccia o in biochimica per spiegare l'attività chimica di una cellula (*chimismo cellulare*). Sebbene in biochimica, il termine più usuale per indicare l'insieme dei processi (reazioni chimiche) che avvengono all'interno di un organismo sia quello di *metabolismo*, io ritengo che sarebbe meglio usare il termine *chimismo* per mettere in evidenza, già a livello del nome, che la descrizione e lo studio di quello che avviene negli esseri viventi è una descrizione principalmente chimica. Tale termine, infatti, mostra immediatamente e chiaramente l'approccio principale, ma non unico, con cui "spiegare" il vivente: l'approccio chimico. È nel linguaggio chimico che viene "compresa" la materia che forma gli organismi viventi ed i processi che in esso avvengono. Abbiamo detto che l'approccio chimico è quello principale, ma non unico con cui "leggere" un organismo. Esistono, infatti, ottiche differenti da cui si possono guardare gli organismi viventi (e ovviamente anche l'inanimato). Esiste, per esempio, una visione "fisica" dei processi cellulari o almeno di una parte di essi. Tale ottica non utilizza entità chimiche (come le molecole e le macromolecole), ma potenziali elettrici, campi elettrici e magnetici e altri concetti fisici. Esiste, inoltre, un'altra ottica, spesso indicata come "informatica", per descrivere quello che avviene in un organismo vivente. A volte, quest'ultima ottica è utilizzata per "generalizzare" quella chimica e rendere possibile un concetto di vita indipendente dalla sua espressione materiale che si è realizzata sul pianeta Terra. Tale generalizzazione non è in opposizione all'ottica chimica della vita e potrebbe tornare utile se si trovasse una forma di vita "differente" (e non interpretabile in ottica chimica) su altri corpi celesti. Anche noi chimici in casi specifici guardiamo al vivente sia con l'ottica fisica che con quella informatica, per esempio, quando diciamo che il DNA rappresenta un "codice" che trasporta l'informazione

tra le generazioni di una specie vivente. In questo caso, infatti, la natura chimica di tale macromolecola passa in secondo piano, mentre si pone in primo piano l'informazione genetica: la sua costanza, la sua variabilità, ecc. Anche in quest'ottica, tuttavia, resta sottesa la natura chimica del DNA e come questa sua natura possa "immagazzinare e trasferire" l'informazione.

Da un punto di vista storico, nel Seicento il meccanicismo come immagine del mondo e della Natura aveva attecchito anche in campo chimico. La forma delle particelle e i loro movimenti erano diventati un criterio importante di spiegazione dei mutamenti chimici, facendo diventare la Chimica una parte della filosofia naturale d'ispirazione meccanicista. A questo aveva contribuito soprattutto l'opera di Robert Boyle (1627-1691). La Chimica del XVIII secolo, invece, rappresentò una fase di reazione contro il meccanicismo e il suo tipo di spiegazione, in nome della specificità della Chimica. Nel XIX secolo Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), uno dei più importanti filosofi, ha usato il termine *chimismo* in contrapposizione a *meccanicismo*, intendendo dire che nel meccanicismo la relazione tra due oggetti era "superficiale" (una determinazione relativa spazio-temporale), mentre in Chimica due sostanze erano in relazione "più intima", tramite la loro "natura". Ricordiamo che all'inizio del XIX secolo il concetto chimico di "affinità" aveva acquisito una valenza generale, come il libro *Le affinità elettive* di Johann W. Goethe (1749-1832) sta a dimostrare. È in quest'ottica che andava intesa la relazione "intima" di tipo chimico tra le sostanze.

Il XX secolo rappresenta un caso da analizzare e da capire per la Chimica. In questo secolo entra in crisi il rapporto tra tale disciplina e la cultura ed è importante chiedersi quale sia stata la causa di tale crisi. Accanto a una crisi complessiva del rapporto tra le discipline scientifiche e le visioni più generali del mondo, e il pragmatismo scientifico ne è la logica conseguenza, la crisi culturale della Chimica ha una sua motivazione specifica. Fino all'Ottocento la Chimica era sicura di avere un suo substrato filosofico/culturale e i filosofi della natura erano i chimici di allora.

L'atomo/molecola chimico del XIX secolo aveva, infatti, un patrimonio culturale di indubbio valore che tale disciplina apportava al più ampio campo scientifico. Con l'*espropriazione* del mondo atomico/molecolare da parte della Meccanica Quantistica (e, quindi, dei fisici), i chimici si sono sentiti privati della loro base culturale e si sono sempre più chiusi nei laboratori, nelle applicazioni industriali e nelle loro astrazioni specialistiche. Il paradosso di ciò è che oggi giorno la Chimica, che più della fisica plasma il mondo quotidiano, è diventata una cenerentola a livello culturale, una disciplina senza aspetti generali, una branca di "fisica applicata". Io credo che solo quando sarà evidente, anche tra i chimici, che la loro disciplina ha una valenza generale, ed è specifica e diversa dalla Fisica, solo allora il rapporto tra la Chimica e la cultura si potrà ristabilire. Il concetto di molecola come entità strutturata è, a mio avviso, il punto di forza che permette una solida differenziazione della Chimica dalla Fisica e, per le sue fondamentali implicazioni, tale concetto può superare l'ambito tecnico/scientifico e assurgere a concetto culturale e squisitamente filosofico.

Cosa ha di particolare la spiegazione chimica del mondo materiale? In che cosa si differenzia da altre spiegazioni? Sono queste due domande generali a cui bisogna dare contenuto, per poi chiedere agli insegnanti di dare il "giusto peso" formativo alla Chimica. È questa la specificità della Chimica che, pur non essendo in opposizione ad altre discipline scientifiche, richiede e pretende un peso culturale nella formazione del cittadino.

La spiegazione chimica del mondo inanimato e animato è incentrata sul concetto di molecola e, spesso, in ambito biochimico, di macromolecola. Non ci addentreremo qui sulla questione se una macromole-



cola sia solamente una "molecola grande" o qualcosa di concettualmente differente. Su questo argomento, dal mio punto di vista, qualcosa si può trovare in: <https://youtu.be/i2XCTZgVlo8>.

Nel dettaglio, qui vogliamo evidenziare che la spiegazione di tipo chimico non ricerca, come quella fisica, delle leggi universali a cui assoggettare processi ed enti naturali specifici, ma tramite le proprietà statiche e dinamiche (reazioni chimiche) dei costituenti (molecole a livello microscopico, composti a livello macro) determina le proprietà e il comportamento della realtà materiale.

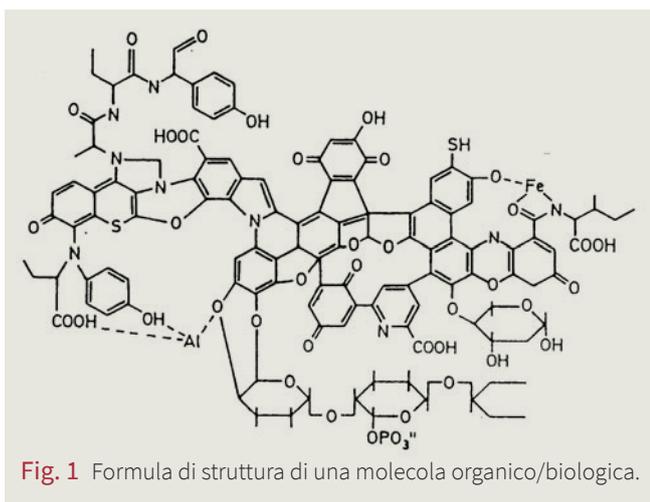
Il mondo molecolare della Chimica è talmente importante che nel titolo di un mio libro (*La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*) ho parlato "dell'onnipotenza delle molecole". Il concetto di "molecola" è una risorsa sia

materiale sia culturale per la Chimica. Sull'importanza "materiale" del binomio molecola/composto per la Chimica non mi soffermerò ulteriormente. Basterà dire che su questo binomio, sia negli aspetti statici delle proprietà sia in quelli dinamici delle trasformazioni (reazioni chimiche), passa la quasi totalità della Chimica. Sull'importanza "culturale", invece, spenderò qualche parola perché è un aspetto sottovalutato, persino in ambito chimico. Io penso, invece, che anche tramite i suoi aspetti culturali, oltre agli indubbi e notevoli risultati materiali, si possa delineare e pubblicizzare un'immagine positiva della Chimica.

Da un punto di vista culturale, che cosa ha il mondo molecolare di tanto importante da meritare una trattazione filosofica e scientifica specifica? A tutti è nota la teoria atomica della materia e, seppure a grandi linee, la sua controparte filosofica. Molto meno studiata, per non dire completamente negletta, è, invece, la teoria molecolare della materia. La sua controparte filosofica, poi, è tutta da scoprire.

Il livello di complessità delle molecole presenta delle peculiarità. In una possibile lista dei livelli di complessità della realtà, quella che dalle particelle elementari porta al macroscopico, il livello molecolare, anche a prima vista, si situerebbe immediatamente prima della biforcazione tra il mondo inanimato e quello animato. Rispetto al mondo vivente, le molecole sono il livello di studio immediatamente precedente (basta guardare al binomio cellula/costituenti cellulari) e tali enti sono, quindi, fondamentali nel suo studio, come la biochimica sta a evidenziare. Il livello molecolare è, tuttavia, anche il livello immediatamente precedente agli oggetti inanimati macroscopici che ci circondano e anche per essi il mondo molecolare diventa il referente di spiegazione. In quest'ultimo caso, basti pensare ai minerali, alle rocce, ecc. e al ruolo che svolge la geochimica nel loro studio. In figura 1 riportiamo la formula di struttura di una molecola di interesse organico/biologico, in figura 2 un pezzo di una comune macromolecola e in figura 3 la specificazione chimica (acidità, componenti, ecc.) di alcuni tipi di rocce.

Non è, tuttavia, solo questa la peculiarità del mondo molecolare/macromolecolare. Esso è un mondo ricco qualitativamente, cioè i suoi enti, milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri a tal punto da meritare ognuno un nome individuale. È questa sua caratteristica che lo rende particolarmente utile nello spiegare tanto il complesso mondo macroscopico quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente. Questa sua varietà è una diretta conseguenza della "strutturazione" a livello molecolare e su questo concetto



scientifico fondamentale per la Chimica, e la scienza tutta, va posta l'attenzione.

Il ristabilirsi, quindi, di un fecondo rapporto tra la Chimica e la Filosofia, tra la Chimica e la cultura in generale, deve e può avvenire intorno al concetto di realtà strutturata (le molecole e le macromolecole), cioè sul terreno di quegli approcci scientifici recenti chiamati "scienze della complessità", riproiettando la Chimica tra le avanguardie culturali. È un posto che essa merita e al quale può ambire se i suoi operatori, i chimici appunto, si scuotono e, senza abbandonare i tecnicismi, essenziali nella scienza moderna, pongano uguale attenzione agli aspetti più generali e concettuali, vorrei dire filosofici, della loro disciplina. È un ruolo "sociale" a cui la Chimica può ambire anche in ambito scolastico se riesce a mostrare il livello generale e culturale sotteso ai suoi "tecnicismi". Il rischio, altrimenti, è quello dell'immagine corrente della Chimica, una disciplina "arida", senza valore formativo.

Per evidenziare in ambito scolastico il valore formativo della Chimica molto può fare un approccio didattico di tipo storico/epistemologico. Collegare i

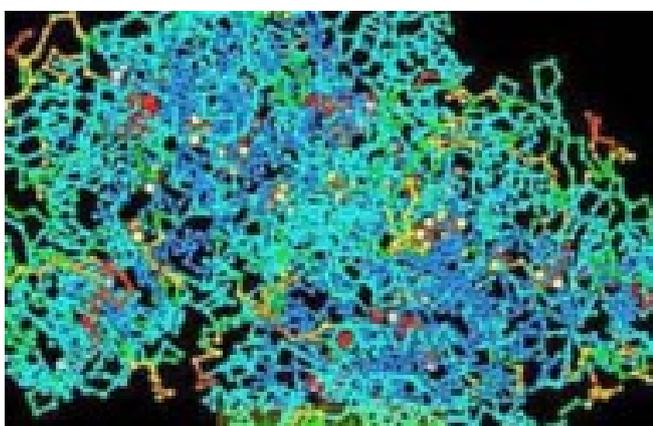


Fig. 2 Una "parte" di una macromolecola biologica.

concetti chimici studiati al loro valore generale, identificare l'innovazione generale (oltre che applicativa) delle sue "sostanze", evidenziare come i suoi concetti ci consentono di superare degli specifici "muri epistemologici", riempie senza dubbio la Chimica di valore formativo. Vediamo un solo esempio, neppure il più importante.

Nella società contemporanea "modellata" dalla scienza e, per tanti aspetti proprio dalla Chimica, esiste un rifiuto di tutto quello che è "artificiale" (ed è associato all'aggettivo "cattivo") in nome di un "naturale", originariamente ed essenzialmente "buono". Chiunque abbia studiato la Chimica a scuola, e quindi tutti i cittadini perché in tutte le articolazioni scolastiche entra in qualche modo lo studio della Chimica, dovrebbe sapere che la "bontà" di una sostanza non è determinata dal procedimento di sintesi (che può avvenire in natura o in laboratorio), ma dalle sue caratteristiche intrinseche. Una sostanza può essere dannosa per l'uomo (ma questo non vuol dire che è "cattiva") sia che venga secreta da una pianta, e da essa utilizzata per "difendersi" dagli organismi viventi del suo ambiente, sia se essa venga "duplicata" in una sintesi di laboratorio. Questo non vuol dire che la Chimica non debba porsi il problema ambientale di "gestire" una sostanza sintetica dal laboratorio iniziale al luogo di smaltimento, ma solo che la sua interazione con l'ambiente (quello che noi chiamiamo inquinamento) va gestito scientificamente, soprattutto nel caso delle sostanze chimiche. Il ruolo formativo dello studio della Chimica in questo caso è quello, da un punto di vista scientifico, di evitare l'errore di differenziare le sostanze tramite il loro procedimento di sintesi e, da un punto di vista generale, ricollegare l'utilità e/o la pericolosità delle sostanze alle loro caratteristiche e alle loro interazioni con l'ambiente e gli esseri viventi.

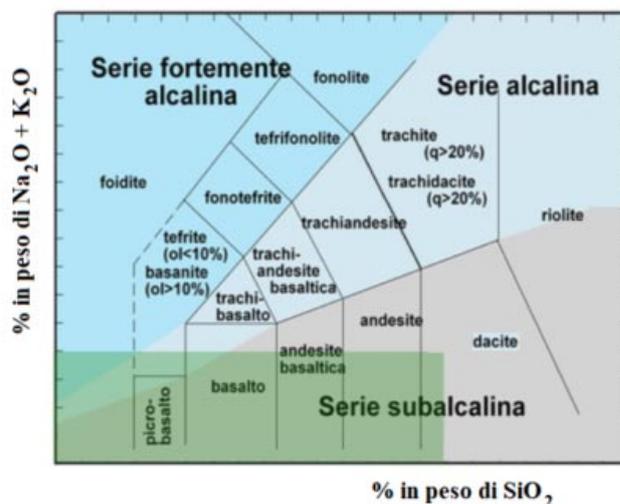


Fig. 3 "Spiegazione" chimica di alcuni tipi di rocce.

Antonio Laganà<sup>a,b</sup>, Roberta Selvaggi<sup>c</sup>, Daniele Maggiore<sup>d</sup> e Ermanno Lasta<sup>d</sup>

a) Coordinatore della Commissione permanente Virtual Education Community di ECTN; b) Università di Perugia; c) EChemTest® Test Centre dell'Università di Perugia; d) Istituto Tecnico Industriale G. Donegani, Crotona

✉ lagana05@gmail.com

# Il modello collaborativo EChemTest® e la certificazione on line per l'accesso alle università europee *Il caso Crotona*

## Introduzione

Come annunciato nel numero di Dicembre 2020 della Newsletter della European Chemistry Thematic Network (ECTN) (vedi <http://ectn.eu/communication/newsletter-2/>), a venticinque anni dalla sua costituzione, la commissione permanente Virtual Education Community (VEC) dell'omonima Associazione, fondata per supportarne le iniziative, ha reso fruibili on line i test EChemTest® per la valutazione della conoscenza della Chimica degli studenti delle scuole secondarie superiori. A partire dal Gennaio 2021, infatti, gli studenti delle scuole secondarie superiori che vogliono certificare le proprie conoscenze chimiche sia per accedere alle oltre cento Università che li hanno adottati, sia per trovare impiego presso le più prestigiose aziende nazionali/internazionali possono essere ammessi a sostenere on line le Sessioni di autovalutazione (Self Evaluation Session, SES) in General Chemistry 1 (GC1) e 2 (GC2) facendone richiesta ad un Test Centre (TC), o ad un Accredited Test Site (ATS) istituito da una Università dell'Associazione ECTN di cui all'elenco seguente (tra parentesi il responsabile locale e la sua email):

- AUSTRIA, Vienna, NTC (Heinz Krebs, heinz.krebs@tuwien.ac.at)
- BOLIVIA, La Paz, NTC (Franz Velazco, franz\_vel@yahoo.es)
- UNGHERIA, Budapest, NTC (Gergely Toth, toth@chem.elte.hu)
- ITALIA, Genova, ATS (Simona Del Sante, simona.delsante@unige.it)
- ITALIA, Milano, ATS (Michele Ceotto, michele.ceotto@unimi.it)

- ITALIA, Napoli, ATS (Riccardo Tesser, riccardo.tesser@unina.it)
- ITALIA, Perugia, NTC (Roberta Selvaggi, roberta.selvaggi@unipg.it)
- POLONIA, Cracovia, NTC (Krzysztof Szczeponek, szczepon@chemia.uj.edu.pl)
- RUSSIA, NTC, Kazan, NTC (Boulat Vagapov, boulat88@gmail.com)
- SLOVENIA, Lubiana, NTC (Jurij Rescic, jurij.rescic@fkkt.uni-lj.si)
- SPAIN, Madrid (Complutense), NTC (Javier Benitez, javiersbenitez@ucm.es)

In alternativa, chiunque voglia sostenere una SES può inviare una e-mail a [contact@echemtest.net](mailto:contact@echemtest.net) che aiuterà il richiedente a contattare un TC/ATS disponibile. Le SES in questione saranno gestite dal TC/ATS scelto mediante il portale LibreEOL (<https://echemtest.libreeol.org/>) gestito dal Prof. O. Gervasi e i suoi collaboratori del Dipartimento di Matematica e Informatica dell'Università di Perugia. La procedura consigliata è, comunque, che le scuole di provenienza degli studenti organizzino il gruppo di quanti desiderano sostenere la SES per addestrarli con il supporto della VEC all'uso on line di EChemTest®, servendosi dei test demo disponibili in rete e concordino poi le date delle prove.

L'esperimento pilota cui si fa riferimento nella Newsletter citata (e di cui discuteremo in seguito gli aspetti salienti) è quello dell'Istituto Tecnico Industriale G. Donegani (ITI) di Crotona. In esso, il Local

ECTN Advisor (LEA), nominato dal Dirigente dell'Istituto come referente del Memorandum of Understanding (MoU) siglato con la VEC, ha preparato con alcuni suoi colleghi un gruppo di studenti di Chimica e Materiali a sostenere on line la SES GC2 tramite il TC del Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie dell'Università di Perugia. In questo articolo, vengono presentati in sezione 1 il modello organizzativo di sostenibilità dei TC/ATS degli Atenei associati, in sezione 2 le modalità di offerta di EChemTest<sup>®</sup> nelle scuole mediante la certificazione on line, in sezione 3 l'esperimento pilota dell'Istituto Tecnico Industriale di Crotone e in sezione 4 l'articolazione della relativa didattica on line. Infine, nella sezione 5, vengono tratte alcune conclusioni sull'esperienza fatta e sui suoi possibili sviluppi futuri.

### 1 Il progetto EChemTest<sup>®</sup> e il modello Prosumer di sostenibilità dei TC

La progettazione e realizzazione degli attuali test elettronici di EChemTest<sup>®</sup> sono iniziate nel 1996 quando la Comunità europea con il progetto Socrates-Erasmus ha finanziato ECTN (<http://ectn.eu/about-us/projects/>), perché definisse un'architettura condivisa dei contenuti dell'Istruzione universitaria in Chimica (compresa l'Ingegneria chimica), con particolare riferimento alla cosiddetta "Core Chemistry" (l'insieme delle competenze chimiche associate ai livelli di laurea triennale, Eurobachelor, e magistrale, Euromaster). Obiettivo del finanziamento era anche lo sviluppo delle librerie di Domande e Risposte (Questions and Answers, Q&A) dei test elettronici da usare per valutare il possesso di tali competenze: GC1 per l'ammissione all'Università e GC2 per la stima della dispersione degli studenti al primo anno di Università. Ciò ha consentito di adottare, allora, per un ridotto numero di Atenei un software centralizzato commerciale per la gestione delle SES EChemTest<sup>®</sup> presso una loro aula attrezzata con dei terminali grazie al coordinamento di P. Mimero (Lione) e il supporto di C. Manuali (Perugia).

Al fine di dare maggiore solidità all'azione di ECTN nel 2002 fu costituita l'omonima Associazione e, per quanto riguarda la gestione delle attività EChemTest<sup>®</sup>, fu creata l'apposita Commissione permanente VEC. Nel 2015, quando il supporto finanziario dell'Europa stava per terminare, la VEC formulò un nuovo modello di gestione di EChemTest<sup>®</sup> che teneva conto dell'evoluzione tecnologica delle reti telematiche e mirava a ridurre i costi per raggiungere la sostenibilità economica. Su queste basi sotto la presidenza ECTN di F. De Angelis (già Presidente della

Società Chimica Italiana, SCI) e il Coordinamento della VEC di A. Laganà (Presidente della Divisione EuChemS di Chimica Teorica e Computazionale) venne lanciato il progetto quinquennale (2015-20) EChemTest<sup>+</sup> [1]. Il primo punto di forza di tale progetto è stata l'adozione del software di gestione dei test elettronici LibreEOL che, grazie al fatto di adottare tecnologie cloud, ha consentito la delocalizzazione su rete (a basso costo) del carico di elaborazione elettronica associata alla gestione delle Librerie di Q&A delle SES di EChemTest<sup>®</sup>. Il secondo punto di forza di EChemTest<sup>+</sup> è stata l'implementazione di un modello innovativo di economia circolare del tipo Prosumer (Producer+Consumer) [2]. L'adozione del modello Prosumer consente ai Dipartimenti delle Università associate a ECTN di operare al tempo stesso sia come produttori dei contenuti didattici ed erogatori a terzi dei servizi di valutazione di EChemTest<sup>®</sup>, tramite i propri TC/ATS (accumulando crediti), sia come utilizzatori degli stessi per i propri fini istituzionali (accumulando debiti).

In tale schema un aumento delle attività dei TC delle Università associate riduce i costi totali che, invece, nel modello centralizzato potevano solo aumentare perché gestiti da una entità commerciale esterna che peraltro ne limitava l'uso ai soli fini interni.

Il successo del modello Prosumer adottato è illustrato dai risultati dell'anno 2019 (ultimo anno di attività regolari pre-COVID 19) [3] tratti dal portale Chem Learn (<https://www.chem-learn.com/>) e riportati nella tabella mostrata in figura 1.

La tabella (i TC sono indicati con la sigla NTC per sottolinearne il ruolo di National Test Centre) elenca i dettagli delle attività comportanti crediti e debiti in euro e in particolare delle voci:

- Q1 = numero di SESs prodotte da un TC per la propria Università
- Q2 = numero di SESs prodotte da un TC per un'altra Università membro di ECTN
- Q3 = numero di SESs prodotte da un TC per ECTN
- Q4 = numero di SESs prodotte da un TC per terzi (individui, associazioni, aziende, scuole)
- Q5 = numero di SESs prodotte da un altro TC per il TC considerato
- Q6 = numero di Q&As create da dipendenti dell'istituzione del TC
- Q7 = numero di Q&As tradotte o riviste da dipendenti dell'istituzione del TC
- Q8 = numero di ore spese per attività di disseminazione da dipendenti dell'istituzione del TC

Notare che Q1 e Q5 sono di debito per il TC interessato, mentre tutte le altre sono di credito.

<b>Reports for the year: 2019</b> <i>(last update: 2020/10/01)</i>	<b>Q1.</b> Number of own sessions run (with no errors)	<b>Q2.</b> Number of sessions run on behalf of other ECTN Members	<b>Q3.</b> Number of sessions run on behalf of ECTN	<b>Q4.</b> Number of sessions run on behalf of an external Institution	<b>Q5.</b> Number of sessions run by any other ECTN Member on my behalf	<b>Q6.</b> Number of hours spent for creating a new library's question	<b>Q7.</b> Number of hours spent for correcting an existing library's question	<b>Q8.</b> Number of hours spent for dissemination activities	<b>CREDITS / DEBITS</b>
NTC.HU	401	0	201	0	0	0	0	0	-819.00
NTC.AT	368	0	0	0	0	0	0	0	-938.00
NTC.NL	42	0	0	0	0	0	0	2	0
NTC.RU	117	0	0	0	0	5	1	4	-135.00
NTC.PL	246	0	342	0	0	0	0	0	-112.00
NTC.SI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTC.GR	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTC.SP	96	0	0	0	0	0	30	20	0
NTC.BO	60	0	0	0	0	0	50	30	0
ATS.PERUGIA.IT	56	0	0	0	0	0	0	0	0
ATS.MILANO.IT	711	0	0	0	0	0	0	0	-2138.50
ATS.GENOVA.IT	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ATS.NAPOLI.IT	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 1 Report dell'anno 2019; nella colonna finale sono riportati i debiti (in rosso) e i crediti (in verde).

Le voci di credito sono ripartite in parti uguali (una volta sottratti i costi vivi relativi) tra il TC in questione, l'ECTN e l'eventuale Agenzia che ha procurato l'attività produttore il credito e possono essere usate per il rimborso di spese documentate sostenute per il progetto. Come discusso nel riferimento [3] quanto dovuto dai TC per i servizi utilizzati per se stessi, una volta sommati agli introiti delle attività prestate a terze parti (inclusa la produzione di certificati individuali di profitto, Individual Proficiency Certificate, o IPC) garantisce la sostenibilità delle attività EChemTest®.

## 2 L'offerta on line della certificazione EChemTest®

La sopra citata sostenibilità delle attività EChemTest® è stata ampiamente confermata dai bilanci del progetto ECHEMTEST+ nel quinquennio (2015-20) [3], nonostante il blocco delle attività nel corso dell'ultimo anno di progetto causato dalla pandemia COVID 19 e la rinuncia ad alcune partite positive legata alla disambiguazione finale dell'ANNESSO al MoU del TC dell'Università di Budapest. Ciò ha non solo confermato la solidità del modello Prosumer adottato per la gestione delle attività EChemTest®, ma ha anche consentito una diretta estensione dei servizi a terze parti.

Di fatto, dopo che i risultati del progetto ECHEMTEST+ sono stati discussi e fatti propri dal Consiglio di Amministrazione di ECTN nella sua riunione di Roma nel dicembre 2019 presso la sede centrale della SCI, essi sono stati definitivamente approvati dall'Assemblea Generale on line dei Soci ECTN nel Settembre 2020 e, a partire dal gennaio 2021, hanno consentito di realizzare la produzione di alcuni dei crediti associati alla voce Q4 della tabella di fi-

gura 1 (attività a favore di terzi quali quelle a favore per individui e scuole). Questo è il caso dei già citati certificati IPC che possono essere emessi non solo a favore degli studenti delle università associate ad ECTN, ma anche a favore di chiunque abbia sostenuto una SES on line di EChemTest® tramite il TC di una Università associata ad ECTN e, dopo averla superata (come è stato il caso recente di uno studente della European School Brussels IV), ne faccia richiesta.

## 3 Le scuole come agenzia ECTN: la sperimentazione dell'ITI di Crotone

Il consolidamento di EChemTest® ottenuto tramite il progetto ECHEMTEST+ ha finito per esplicitare tutta la sua validità proprio al momento stesso in cui è esplosa la pandemia COVID-19. Per prima cosa la richiesta di IPC, all'inizio limitata ai TC di Milano e Perugia, si è allargata ad altri TC. Inoltre, con l'assunzione diretta dell'amministrazione da parte del Segretariato di ECTN e il consolidamento con il nuovo ANNESSO della prenotazione obbligatoria, la pianificazione delle attività dell'anno 2021 ha visto un consistente aumento delle prenotazioni di SES.

L'avanzamento più significativo è, comunque, seguito alla firma da parte della Prof. M. Venturi di un accordo tra la Divisione Didattica della SCI e la VEC per la promozione degli standard EChemTest® presso le scuole secondarie superiori italiane tramite l'adozione delle SES e degli IPC nella veste di Agenzie di ECTN. Per mirare al futuro nel corso della attuale difficile situazione e, in particolare, nella controversa esperienza di apprendimento a distanza resa necessaria dalla pandemia da COVID-19, la sfida delle

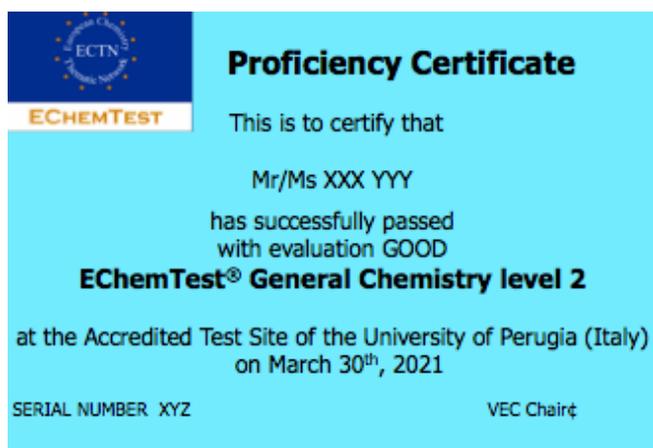


Fig. 2 Esempio di certificato IPC emesso per le SES del 30 marzo 2021.

scuole è stata raccolta in prima persona dall'ITI di Crotona intraprendendo, nel passaggio più difficile per la formazione dei propri allievi, un percorso mirato all'accesso all'Università e al mondo del lavoro.

Tale sfida è stata raccolta in questa prima fase pilota dall'ITI di Crotona grazie al dinamismo dei suoi docenti di Chimica. A seguito della nomina di uno degli autori del presente articolo (il professore Daniele Maggiore, DM) a LEA dell'Istituto e all'attivazione della collaborazione con il TC del Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie dell'Università di Perugia gestito dalla Dott.ssa Roberta Selvaggi, sono state pianificate le attività necessarie per attivare delle SES on line per la certificazione delle competenze chimiche in inglese a livello GC2 del primo anno universitario. Al fine di individuare i potenziali candidati è stato organizzato per la prima volta in Europa un corso on line. Un piccolo gruppo di studenti è stato guidato ad affrontare i test relativi e quattro di loro hanno ottenuto la corrispondente certificazione IPC di ECTN, mentre ai rimanenti due è stata concessa l'opportunità di ripetere la prova alla sessione di giugno.

La sessione di autovalutazione GC2, della durata di un'ora attivata in modalità standard dal TC di Perugia per l'ITI di Crotona, è consistita in 30 domande di differente livello di difficoltà (facile, medio e difficile) selezionate in modo casuale da un'ampia banca di domande riguardanti i seguenti argomenti di chimica generale: struttura atomica, termodinamica, stati di aggregazione della materia, chimica degli elementi, il legame chimico, l'equilibrio chimico, tipi di reazioni chimiche, reazioni redox, acidi e basi e elementi di chimica organica (congruenti al syllabus definito in <http://www.chem-learn.com/wp-content/uploads/2021/04/echemtestsyllabus.pdf>). Le domande contenute nella banca dati sono formulate

in inglese utilizzando le seguenti tipologie di risposta: a scelta multipla, a risposta multipla, vero o falso, numeriche e di abbinamento di testo. Le domande, nonché il loro ordine e la posizione delle risposte, sono differenti per ogni studente. Il comportamento dello studente durante la SES è stato monitorato dal responsabile del TC tramite il software di gestione LibreEOL che controlla, mediante strumenti video ed audio, il corretto svolgimento della sessione. Il punteggio acquisito dal candidato viene espresso in centesimi. Solo i punteggi superiori o uguali a 30 comportano una valutazione positiva articolata nei tre livelli PASS (per punteggi inferiori a 50), GOOD (per punteggi superiori o uguali a 50 e inferiori a 70) e OPTIMUM (per punteggi superiori o uguali a 70), valutazione che viene poi riportata nel certificato IPC. Un esempio di IPC viene dato in figura 2.

#### 4 L'approccio didattico e l'apprendimento a distanza

Nella prima edizione del progetto pilota on line dell'ITI di Crotona le lezioni sono state programmate partendo dalla conoscenza e dall'applicazione dei principi di base della chimica, in modo che gli studenti potessero individuare le lacune della propria preparazione che potevano ostacolare il loro processo di apprendimento. Ogni lezione è stata strutturata in due parti: ad inizio lezione si sono affrontati i concetti teorici, mentre nella seconda parte si sono discusse le difficoltà legate alla trattazione di problemi e calcoli chimici. Nella fase iniziale dell'approccio al problema gli studenti sono stati aiutati nella riflessione con suggerimenti utili a sostenere il ragionamento risolutivo del compito proposto. *Nel tempo questa metodologia ha permesso agli studenti di consolidare le loro strategie personali e a raffinarle selettivamente allo scopo di acquisire maggiore autonomia.* Gli studenti hanno lavorato in piccoli gruppi, scambiandosi informazioni e osservazioni, riflettendo e confrontandosi. Con questo metodo di apprendimento cooperativo gli alunni sono stati in grado di applicare i concetti e perfezionare strategie di risoluzione di problemi chimici.

Nell'insegnamento a distanza, usando la piattaforma di "Google meet" per gli incontri formativi con gli allievi, una delle principali preoccupazioni didattiche è stata quella di *individuare ed evitare situazioni a rischio di isolamento di membri del gruppo.* Si è cercato di superare tali situazioni promuovendo la partecipazione mediante domande flash di richiesta di informazioni o di formulare conclusioni da parte di tutti gli studenti, che sono stati costantemente in-

terpellati a dare una risposta utile a comporre il puzzle risolutivo delle diverse questioni o problemi proposti. Particolare attenzione da parte dei docenti, DM ed Ermanno Lasta (EL), è stata dedicata agli studenti che sono stati immersi in uno spazio di apprendimento e-learning influenzato dalla fruizione di ambienti domestici differenti, coabitati che possono incidere contemporaneamente sia sulla concentrazione che sulla motivazione degli alunni. Il perdurare della pandemia da COVID-19 ha influenzato dal punto di vista motivazionale gli alunni, che sono stati supportati oltre che negli impegni di studio di classe anche nella ricerca di nuovi stimoli legati al fatto di ottenere la certificazione EChemtest®. Da questo punto di vista la creazione di un gruppo di studio alla pari ha generato quel surplus motivazionale in cui *i docenti sono stati considerati dagli allievi come membri del percorso di apprendimento, creando senso di appartenenza e condivisione verso una meta comune.*

### 5 Conclusioni e prospettive future

Il percorso formativo organizzato dall'ITI di Crotona rappresenta un punto di partenza importante proprio in questo periodo in cui si stanno progettando nuovi orizzonti per strutturare il rilancio scientifico nelle scuole del nostro Paese. La certificazione delle competenze chimiche acquisite dagli alunni del Donnegani all'interno della rete europea delle Università, sotto il comune denominatore dell'associazione ECTN, dimostra che insieme si possono meglio valorizzare gli studi chimici e lo sviluppo di materiali didattici innovativi. Ci si augura, perciò, che la riuscita di questo percorso formativo e organizzativo venga positivamente valutato dal Ministero dell'Istruzione, come esempio di sinergia tra la scuola e l'università al fine di riprendere, dopo anni di disattenzione e tagli [4, 5, 6], un cammino di promo-

zione dell'insegnamento della chimica nelle scuole tecniche, in accordo con la Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana. Peraltro, il modello rappresentato dal progetto pilota dell'ITI di Crotona non rappresenta solo un'eccellenza nel panorama della scuola italiana. A seguito della valutazione positiva ottenuta dalla commissione VEC di ECTN nella sua ultima riunione ufficiale di fine marzo tale progetto sta riscuotendo crescenti attenzioni e consensi a livello internazionale, tanto da essere stato considerato da una "public school" inglese per attivare un progetto gemello in Gran Bretagna.

### Bibliografia

- [1] A. Laganà, The VEC Standing Committee ECHEMTEST<sup>+</sup> Project, *VIRT&L-COMM*, 2015, 7, 5; <http://services.chm.unipg.it/ojs/index.php/virtlcomm/article/view/76>.
- [2] A. Laganà, O. Gervasi, S. Tasso, D. Perri, F. Franciosa, The ECTN Virtual Education Community Prosumer model for promoting and assessing chemical knowledge, *Springer International, Lecture Notes in Computer Science*, 2018, **10964**, 533-548; DOI10.1007/978-3-319-95174-4\_43.
- [3] A. Laganà, Sustainable EChemTest® old and new missions, *VIRT&L-COMM*, 2020, **20**, 9; <http://services.chm.unipg.it/ojs/index.php/virtlcomm/article/view/250>.
- [4] D. Maggiore, Il riordino dell'indirizzo tecnologico chimica, materiali e biotecnologie, *Il chimico italiano*, 2010, sett/ott, 22-24.
- [5] D. Maggiore, Le scienze integrate tra sapere unitario e filosofia dei tagli, *Il chimico italiano*, 2010, sett/ott, 24-26.
- [6] D. Maggiore, Proposta progettuale per la costituzione di Istituto Tecnico superiore POST DIPLOMA D.P.C.M. 25/01/2008 ITS – Made in Italy – Chimica, materiali e reach, *Chimica nella Scuola - CNS*, 2011, sett/ott, 268-272.

Rosario Nicoletti

✉ nicoletti.rosario96@gmail.com

# Le macchine della Chimica

## Riflessioni di un chimico in pensione

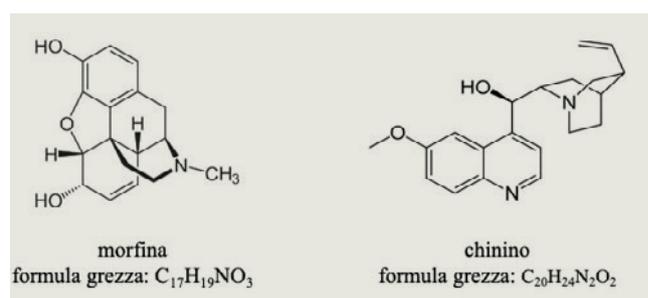
**C**hi studia oggi la chimica non immagina quanto lavoro ed anche controversie ci siano state in anni ormai lontani per trovare l'accordo sulla scrittura delle formule, cioè sul modo di rappresentare le varie sostanze, in particolare quando si tratta di sostanze organiche. Per queste ultime le formule "grezze" o "brute" ci dicono semplicemente quanti e quali sono gli atomi che compongono la molecola; quelle "di struttura" rappresentano, invece, come sono tra loro uniti i diversi atomi a formare la molecola. La grafia delle formule si è perfezionata nel tempo ed alcune di queste cercano in qualche modo di far capire, oltre alla sequenza, anche quale è la disposizione nello spazio degli atomi. Lavoisier, alla fine del '700, fu tra i primi a capire che la formula che noi oggi chiamiamo grezza, nel caso di sostanze contenenti solo carbonio e idrogeno, poteva essere ottenuta bruciando la sostanza e misurando l'acqua e l'anidride carbonica (diossido di carbonio) che si formano. Solamente dopo quaranta anni, avvalendosi anche delle scoperte di altri, Liebig costruì un apparecchio in grado di "intrappolare" e pesare correttamente l'anidride carbonica e l'acqua della combustione di una sostanza organica, in modo da determinare quali fossero i rapporti (in peso) tra carbonio e idrogeno, condizione necessaria per indicare il rapporto numerico tra gli atomi costituenti. Condizione che è però insufficiente a scrivere la formula; per questa bisogna conoscere anche il "peso" della molecola. Infatti, se scriviamo  $C_4H_{10}$  indichiamo un preciso rapporto in peso tra carbonio e idrogeno, ma lo stesso rapporto si ha con  $C_8H_{20}$  o con  $C_{12}H_{30}$ . La scelta tra i multipli è possibile determinando il peso molecolare; questa grandezza può essere ottenuta sfruttando alcune proprietà delle soluzioni. Poiché la tensione di vapore e la temperatura di congelamento di un liquido dipendono dal numero di particelle (ad esempio, molecole) disciolte e non dalle dimensioni delle particelle stesse, è possibile determinare i pesi molecolari; va aggiunto che i metodi richiedono molta attenzione ed abilità sperimentale.

Attribuire le formule di struttura alle varie sostanze è stato molto più difficile: infatti, le molecole organiche sono formate da molti atomi, decine, a volte centinaia, e capire come sono fatte le molecole delle sostanze che venivano isolate allo stato puro, quali le sequenze degli atomi e come sono tra loro uniti è stato oggetto di lavoro da parte di molti chimici per quasi due secoli. Cercheremo qui di raccontare gli straordinari progressi e vedremo come il chimico che studiava la struttura delle sostanze con i suoi alambicchi e provette faccia parte di un mondo scomparso.

### Un po' di storia

All'inizio del XIX secolo alcuni estratti o preparati da piante, a seguito di un paziente lavoro "chimico", avevano fornito sostanze pure, cioè in pratica delle "polverine" che, somministrate ai malati, avevano all'incirca gli stessi effetti degli estratti grezzi dei quali si faceva da tempo largo uso. Sarà sufficiente ricordare la morfina [1], ottenuta dall'oppio, e il chinino [2] ricavato da una pianta utilizzata anch'essa da secoli.

La chimica come scienza era molto indietro: non si sapeva che cosa fossero in realtà queste sostanze nuove, non essendo all'epoca chiara neanche la differenza tra atomi e molecole. Per avere le formule grezze di queste due sostanze fu necessario qualche decennio; la formula di struttura della morfina è stata scritta correttamente solo nel 1925 [3], mentre quella del chinino nel 1907 [4].



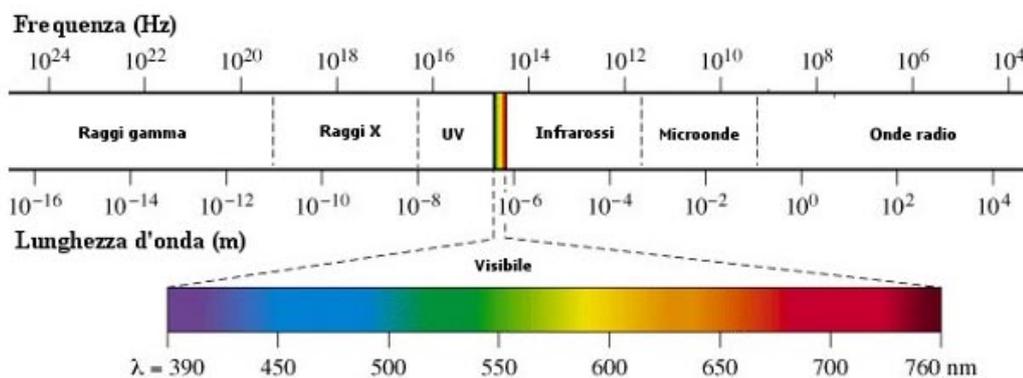


Fig. 1 Lo spettro delle radiazioni elettromagnetiche.

I chimici dell'epoca, fino ai primi anni del XX secolo, non avevano altro mezzo per capire come erano fatte le molecole, se non quello di "smontarle", farle cioè a pezzi con adatte reazioni e cercare di riconoscere la struttura dei frammenti. È facile comprendere come questo lavoro fosse molto difficile, specie agli inizi, visto che "riconoscere" i "pezzi" presuppone che un certo numero di essi fosse noto; cognizioni che si andavano faticosamente accumulando nel tempo. Un'ulteriore difficoltà era insita nel sistema di studio: facendo a pezzi una molecola si introducono delle modifiche che impediscono talvolta di capire come erano "uniti" i diversi pezzi. Tutto questo aveva come risultato che nel caso di architetture complesse come la morfina, fossero necessari molti decenni di esperimenti e tentativi per capire la struttura. La tecnica di demolire le molecole per studiarne la costituzione è stata utilizzata per buona parte del XX secolo, mentre iniziavano a venire in soccorso i metodi fisici di indagine strutturale, dei quali parleremo ora.

La rivoluzione introdotta dall'uso delle macchine ha fatto passi da gigante a partire dagli anni '40 del '900: oggi, se doveste dare una polverina come quella della morfina, con formula altrettanto complicata, ad un chimico specializzato nella determinazione strutturale dotato di adeguate macchine, vi darebbe il responso in alcuni giorni.

Nel XIX secolo e nei primi decenni del XX secolo vi era stato un uso sporadico di strumenti abbastanza semplici, che avevano però dato fondamentali contributi al chiarimento della struttura atomica ed alla scoperta di nuovi elementi. Molti di essi utilizzavano fasci di luce, che non sono altro che radiazioni elettromagnetiche (Figura 1).

Con il passare degli anni si capì che l'assorbimento di queste radiazioni [5], o in genere la loro interazione con la materia poteva dare straordinarie informazioni anche sulla struttura delle molecole: con onde di adatta frequenza si poteva dare uno sguardo in quel mondo submicroscopico che era stato fino ad allora solo immaginato.

I raggi X furono tra i primi ad essere utilizzati. Nelle sostanze solide, quando formano cristalli (li vediamo comunemente nel sale da cucina e nello zucchero), le molecole si trovano ordinate nello spazio; investite da raggi X, questi vengono deviati dagli atomi che compongono le molecole. Si ottengono le "figure di diffrazione" che attraverso complicati calcoli possono essere tradotte in una specie di fotografia tridimensionale della molecola. Questi calcoli sono molto complessi, oggi agevolati dai computer, e richiedono una particolare abilità: ai suoi esordi era una tecnica difficile da utilizzare e veniva applicata a molecole piuttosto semplici. Per la pubblicazione della complicata architettura elicoidale del DNA Watson e Crik [6] ricevettero il premio Nobel, avvalendosi anche dei risultati sperimentali ottenuti da una giovane ricercatrice, Rosalind Franklin [7]. A questa sfortunata donna purtroppo non venne riconosciuto alcun merito e, forse a causa dell'esposizione ai raggi X che usava comunemente per condurre le sue ricerche, morì a soli 37 anni.

Il primo aiuto che diventò popolare tra i chimici nello studio delle sostanze venne dall'impiego di radiazioni visibili ed ultraviolette, la "spettroscopia" UV/VIS, utilizzando lo "spettrofotometro". Una spettroscopia [8] può essere definita come lo studio dell'assorbimento od emissione di radiazioni (ad esempio, luminose) da parte della materia, correlando la dipendenza di tali processi alle lunghezze d'onda della radiazione. Lo spettrofotometro è lo strumento che ci fornisce un grafico nel quale compaiono dei "picchi" (di assorbimento) al variare delle lunghezze d'onda. Gli spettrofotometri UV/VIS ci permettono di capire alcuni particolari delle molecole: si riconoscono alcuni tipi di legame tra gli atomi. Sono informazioni a volte preziose, ma utili in un numero limitato di casi.

Poco dopo vennero posti in commercio degli spettrofotometri che misuravano l'assorbimento di radiazioni nella zona dell'infrarosso. Con questi nuovi strumenti si ottenevano informazioni di più vasta applicazione. L'assorbimento nell'infrarosso provo-



Fig. 2 Lo spettrometro NMR Varian A60, uno dei primi strumenti largamente utilizzati dai chimici per lo studio dei protoni.

ca vibrazione di tutti i legami chimici; le lunghezze d'onda dipendono dagli atomi coinvolti e dal tipo di legame. Sono informazioni preziose: vedendo un grafico (che riporta le lunghezze d'onda che vengono selettivamente assorbite), ottenibile in pochi minuti, un chimico capisce quali legami vi sono nella molecola.

Dopo la spettroscopia infrarossa, si affacciò un nuovo metodo di studio delle molecole basato sulla risonanza nucleare magnetica: metodo che, sviluppato e perfezionato nell'arco di decenni, è diventato il mezzo di indagine delle strutture più potente a disposizione dei chimici. La "risonanza nucleare magnetica" (NMR) è un fenomeno fisico che si osserva quando i nuclei di certi atomi (e quindi materiali formati da quegli atomi/molecole), trovandosi in un campo magnetico, se vengono perturbati da radiazioni elettromagnetiche di adatta frequenza, rispondono emettendo segnali di frequenza caratteristica, che dipende dall'intensità del campo. I segnali emessi dai singoli nuclei atomici si differenziano in funzione della intensità del campo magnetico: per osservare queste differenze sono necessari magneti di grande potenza. Il fenomeno, scoperto nel 1946 [9], è alla base dei più importanti e straordinari metodi di indagine in moltissimi rami della scienza, dalla medicina alla geologia; noi faremo cenno alle applicazioni nello studio delle molecole degli spettrometri NMR (Figura 2), macchine costruite sfruttando il fenomeno che abbiamo delineato.

Il carbonio e l'idrogeno, due elementi sempre presenti nei composti organici, hanno nuclei che presentano il fenomeno descritto; nel caso del carbonio, tuttavia, non si tratta del  $^{12}\text{C}$ , l'isotopo più abbondante, ma del  $^{13}\text{C}$  [10], che è sempre presente in una piccola percentuale (quasi) costante. All'inizio, con l'NMR era possibile studiare gli atomi di idro-

geno; solo in seguito, a causa della piccola quantità di  $^{13}\text{C}$  presente, fu possibile coinvolgere anche gli atomi di carbonio. Per potere studiare questi ultimi, dal momento che quelli attivi erano pochi e davano un segnale molto debole, fu necessario ricorrere ad un differente sistema di registrazione dei segnali, reso possibile dai progressi dei computer e dell'elettronica. Piuttosto che lavorare in "onda continua", cioè con irradiazione continua di una frequenza, si è visto che inviando brevissimi impulsi di un insieme di adatte frequenze, l'energia veniva restituita dai diversi tipi di nuclei atomici come onde di frequenza caratteristica che si smorzano rapidamente. Questi "treni d'onda" possono essere trattati con un processo matematico (trasformata di Fourier [11], che converte variabili nello spazio in variabili nel tempo) ottenendo uno spettro nel quale sono registrati i segnali dati dai nuclei atomici al variare delle frequenze.

Raggiunta la piena maturità, l'NMR si è rivelato avere una straordinaria potenza nell'indagare le strutture molecolari. I progressi dell'elettrotecnica hanno permesso di costruire magneti ad altissimo campo, sfruttando la "superconduzione", cioè correnti elevatissime in conduttori tenuti a bassa temperatura. Con l'NMR si identificano i singoli atomi di carbonio e di idrogeno e, studiando contemporaneamente i due elementi, si vedono le loro connessioni. Inoltre, dato che gli atomi (i relativi nuclei) si influenzano anche nello spazio oltre che attraverso i legami, se ne deduce la reciproca posizione, cioè la stereochimica della molecola. Tenendo conto che i progressi dell'informatica rendono facilissimo l'accesso al confronto dei dati con quelli delle sostanze già note, si capisce come oggi l'identificazione di una nuova struttura – salvo sporadici casi – sia abbastanza agevole.

Negli anni nei quali nasceva l'NMR, i chimici hanno cominciato ad utilizzare la "spettrometria di massa" (MS). Il titolo spettrometria è preso in prestito, se così si può dire, dalle altre tecniche di indagine; qui, infatti, non sono protagoniste le onde elettromagnetiche, ma "fasci" o "raggi" formati da ioni. Come tutti sanno, gli ioni sono particelle, atomi o molecole, che portano una carica elettrica: ad esempio, strappando un elettrone alle molecole, queste diventano ioni positivi. Gli ioni hanno nell'aria una vita breve, ma nel vuoto possono sopravvivere a lungo; in virtù della carica possono essere "guidati" da campi elettrici o magnetici, piuttosto che disperdersi. In particolare, ioni di massa differente ma con uguale carica, attraversando un campo magnetico, subiscono una differente sorte: quelli più "pesanti" vengono meno deviati. Questo fatto permette di separare ioni di



**Fig. 3** L'MS9 della ditta A.E.I., costruito nel 1962, una delle macchine ad alte prestazioni sulle quali hanno lavorato i pionieri della spettrometria di massa organica.

diversa massa: così, Thomson ed Aston costruirono nel 1912 uno strumento che permise di scoprire l'esistenza degli isotopi. I primi spettrometri di massa commerciali (Figura 3), strumenti in grado di presentare un grafico nel quale erano registrate le tracce di ioni di differente massa, e le relative abbondanze, furono costruiti a Manchester (Regno Unito) [12]: la ionizzazione delle sostanze da analizzare era ottenuta con un fascio di elettroni.

Questo sistema di ionizzazione provoca allo stesso tempo una frammentazione della molecola (in ioni più "piccoli"), che dà luogo allo "spettro di massa" della sostanza in esame. Lo studio dei frammenti può dare in molti casi preziose informazioni sulla struttura della sostanza: in più, quasi sempre è possibile ottenere il peso molecolare, che spesso coincide con la massa di valore più alto visibile nel grafico.

Tutti gli spettri dei quali abbiamo fatto cenno rappresentano, al di là delle informazioni sulla struttura, una sorta di "impronta digitale" della sostanza, che può essere utilizzata per il confronto o con dati di cataloghi o di letteratura. Lo spettro di massa ha, per questo uso, un netto vantaggio rispetto agli altri: lo si può ottenere con quantità estremamente piccole, dell'ordine dei nanogrammi. Questo rendeva la spettrometria di massa uno dei più promettenti metodi per l'analisi di tracce: cosa che gli sviluppi successivi di questa tecnica hanno pienamente confermato.

A distanza di molti anni, possiamo vedere in quale direzione le diverse tecniche hanno progredito, avvalendosi anche degli straordinari progressi nella elettronica. Gli NMR sono diventate macchine che agevolano grandemente l'analisi delle strutture e rendono spesso superfluo l'uso di altre spettroscopie. Gli spettrometri di massa sono ben diversi anche

nell'aspetto dei loro antenati. Sono diventati di largo uso molti altri sistemi di ionizzazione: a differenza di quando si impiega un fascio di elettroni – metodo che richiede che la sostanza sia vaporizzata – vi sono metodi alternativi che permettono di operare con soluzioni, cioè con liquidi. Le macchine in commercio prevedono l'accoppiamento con "cromatografi", apparecchi dedicati alla separazione, utilizzando gas oppure liquidi. La spettrometria di massa è diventata la regina dei metodi chimico-analitici, impiegata nei campi più disparati; gli strumenti accoppiati ai gas cromatografi (GC-MS) sono diventati di routine in ogni laboratorio chimico (Figura 4).

Per la separazione di ioni con differente massa sono stati realizzati sistemi molto più semplici dei campi magnetici. Nell'analisi delle strutture, la spettrometria di massa è rimasta in uso solo per conoscere peso e composizione, cioè la sua "formula grezza". Infatti, essendo la massa corrispondente allo ione molecolare sufficientemente accurata, si può dedurre la formula molecolare, conoscendo dalle tabelle la massa esatta dei vari atomi.

Il progresso nella determinazione delle strutture ha portato a risultati straordinari. I vecchi chimici, abituati a manipolare le sostanze, a guardarne – se del caso – i cristalli al microscopio, ad eseguire delle reazioni adattandole o talvolta inventandole, rimpiangerebbero però i tempi nei quali la chimica era protagonista ed utilizzata con passione per strappare alla natura il segreto di una struttura molecolare.

## Fra ricordi e riflessioni

Chi ha scritto quanto sopra, per sua fortuna, ha vissuto personalmente il progresso nella determinazione di struttura di sostanze organiche. Ed ha avuto l'ulteriore fortuna di fare questo tipo di lavoro nel tempo in cui per determinare una struttura si mettevano insieme la chimica, con le sue reazioni, e le misure fisiche: le spettroscopie UV e IR, la NMR del protone, la MS. All'epoca tutti questi strumenti non erano interfacciati o asserviti ad un computer, e chi faceva ricerca operava di persona sugli strumenti. Il



**Fig. 4** Un moderno spettrometro di massa collegato ad uno strumento per cromatografia liquida (LC-MS).

compito di estrarre, isolare e purificare la sostanza da una matrice naturale era svolto dallo stesso ricercatore, da solo od in collaborazione. Parlo di un'epoca che io ritengo fortunata, perché il lavoro consentiva di conoscere l'arte del laboratorio in tutte le sue sfaccettature e di affinare la propria cultura chimica. Oggi la determinazione di una struttura appare come il risultato di una sorta di "catena di montaggio" nella quale vi è poco spazio per la creatività. Questo è quello che si deduce dalla lettura di molti lavori che appaiono sulle riviste specializzate del settore. Un gruppo si è occupato dell'estrazione e separazione, l'esperto (gli esperti) ha (hanno) determinato la struttura via NMR, possibilmente un terzo ha scritto il lavoro: ciascun gruppo sapeva poco del lavoro altrui, se non i risultati. Le sostanze nuove sono isolate nella quantità di pochi mg e sono quasi sempre olii o solidi amorfi, allorquando l'esperienza dice che sostanze di una certa complessità sono molto spesso cristalline.

Non vi è dubbio che, sotto l'aspetto funzionale, determinare una formula in pochi giorni, anziché in anni, rappresenti un progresso. Ma il progresso nella cultura chimica, che tanto deve alla identificazione delle strutture offerte dalla Natura, è certo che debba essere coltivato altrove.

### Bibliografia

- [1] <https://it.wikipedia.org/wiki/Morfina>
- [2] <https://it.wikipedia.org/wiki/Chinino>
- [3] J. M. Gulland, R. Robinson, *Memoirs and Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, 1925, 69, 79-86.
- [4] P. Rabe, E. Ackerman, W. Schneider, *Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft*, 1907, 40, 3655-3658.
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic\\_radiation](https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_radiation)

- [6] [https://it.wikipedia.org/wiki/James\\_Dewey\\_Watson](https://it.wikipedia.org/wiki/James_Dewey_Watson)
- [7] <https://youmanist.it/categories/cultura/rosalind-franklin-dna>
- [8] <https://www.treccani.it/enciclopedia/spettroscopia/>  
<https://en.wikipedia.org/wiki/Spectroscopy#:~:text=In%20simpler%20terms%2C%20spectroscopy%20is,light%20dispersed%20by%20a%20prism>
- [9] F. Bloch, W. W. Hansen, M. Packard, *Physical Review*, 1946, 69, 127.
- [10] Come noto, quasi tutti gli elementi sono costituiti da miscele di isotopi che si distinguono solamente per una differente massa, a causa da un diverso numero di neutroni.
- [11] [http://www.mat.uniroma3.it/didattica\\_interattiva/aa\\_11\\_12/am310/10.fourier.pdf](http://www.mat.uniroma3.it/didattica_interattiva/aa_11_12/am310/10.fourier.pdf).
- [12] [https://www.asms.org/docs/default-source/history-posters/vendor-history---kratos\\_v2.pdf?sfvrsn=f6e71c3\\_0](https://www.asms.org/docs/default-source/history-posters/vendor-history---kratos_v2.pdf?sfvrsn=f6e71c3_0)

### Alcuni testi consigliati

- Per la storia della Chimica si veda, ad esempio: Salvatore Califano, *Storia della Chimica*, due volumi, Ed. Bollati Boringhieri, Torino, 2010 e 2011.
- Per i metodi fisici in chimica organica si veda, ad esempio: M. Silverstein, X. Webster, J. Kiemle, *Identificazione spettrometrica di composti organici*, Casa Editrice Ambrosiana, Rozzano (MI), 2016.

# Qualche notizia

a cura di Antonella Russo e Silvano Fuso

## EUROVARIETY 2021



La conferenza **EUROVARIETY 2021**, organizzata dai colleghi dell'Università di Lubiana in Slovenia, si svolgerà dal 7 al 9 luglio (<http://www.eurovariety2021.si/>). Il suo obiettivo è quello di condividere le buone pratiche e i risultati della ricerca in didattica chimica a livello universitario.

La modalità online dell'evento favorirà sicuramente la partecipazione di molti ricercatori, in particolare di quelli impossibilitati a spostarsi per motivi legati agli impegni accademici e/o per problemi economici.

## IUPAC World Chemistry Congress 2021 Virtual

Lo **IUPAC World Chemistry Congress 2021 Virtual** si svolgerà tra il 13 e il 20 agosto 2021 online dal Canada. Tutte le informazioni e gli aggiornamenti sono disponibili all'indirizzo: <https://iupac.org/tag/iupac-congress/>.

## XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana



Il **XXVII Congresso Nazionale della Società Chimica Italiana** si svolgerà in modo virtuale da martedì 14 a giovedì 23 settembre 2021 (<http://www.sci2020.org/>). Sarà un momento di incontro per tutti i chimici italiani e di confronto su argomenti di grande attualità. Il programma si preannuncia molto interessante dal momento che interverranno ben due premi Nobel per la Chimica: il Prof. *Stanley Whittingham* e il Prof. *Roald Hoffmann*.

Come è usuale per il congresso nazionale, tre mezze giornate, precisamente il 15, 17 e 21 settembre, saranno dedicate alle attività delle singole divisioni, mentre le assemblee divisionali si terranno il 16 settembre dalle 12,00 alle 14,00.

Per la Divisione di Didattica le attività, che si svolgeranno solo nelle ore pomeridiane, dalle 15 alle 18, per favorire la partecipazione dei docenti, prevedono, oltre a relazioni ad invito, comunicazioni orali e due Tavole Rotonde: la prima, centrata sui molti problemi che affliggono la Chimica, sarà coordinata dalla giornalista Silvia Bencivelli, mentre la seconda, che si concentrerà sulla sostenibilità a tutto tondo, avrà come coordinatore il giornalista Riccardo Iacona.

Il 30 giugno è la data ultima per iscriversi al congresso senza maggiorazione (<http://www.congressi.chim.it/form=Congresso%2BNazionale%2BSCI%2B2021>); si ricorda, comunque, che non è necessario essere soci SCI per partecipare e/o presentare contributi.

## La Notte Europea dei Ricercatori



La Notte Europea dei Ricercatori si terrà il 24 settembre 2021; si tratta di una vera e propria festa il cui obiettivo è quello di promuovere l'incontro e il dialogo tra il mondo della ricerca scientifica e la società, per avvicinare i cittadini alla scienza e per mostrare, soprattutto ai più giovani, la bellezza e la passione che caratterizzano il lavoro del ricercatore. A sostegno di questa manifestazione c'è il progetto europeo Sharper – Sharing Researchers' Passion for Engaging Responsiveness, al quale hanno aderito molte università italiane.

## Cagliari FestivalScienza

La quattordicesima edizione del **Cagliari FestivalScienza** si svolgerà dal 4 al 9 novembre 2021. La manifestazione è promossa dalla Associazione Scienza Società Scienza, che riunisce attorno a sé associazioni di docenti delle varie discipline scientifiche, e dalla Divisione di Didattica della SCI.

Sono partner della manifestazione l'Università di Cagliari, il Parco Tecnologico Sardegna Ricerche, l'INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica) attraverso l'Osservatorio Astronomico di Cagliari, l'INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare) della sezione di Cagliari, numerose scuole della provincia di Cagliari e numerose realtà culturali e socio ambientaliste della Sardegna.

L'edizione 2021 del Festival con la scelta del tema *La scienza tra speranze e scoperte* affida alla scienza la speranza in uno sviluppo sostenibile grazie alle scoperte in campo scientifico e tecnologico.

Tutti gli aggiornamenti verranno pubblicati sul sito: <https://www.festivalsciencacagliari.it/>

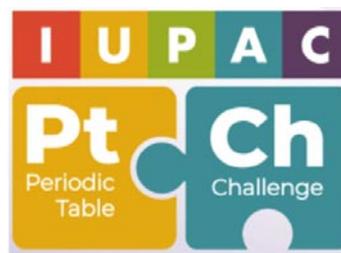


Anche quest'anno l'Associazione Scienza Società Scienza ha indetto il Premio "*Donna di Scienza*". Giunto alla terza edizione, il premio intende offrire un riconoscimento a figure femminili che abbiano contribuito a dare prestigio alla Sardegna e a produrre avanzamenti in campo scientifico.

Le domande dovranno pervenire per via telematica entro le 13,00 del 10 settembre 2021 (<https://bit.ly/3tHunxU>). Tutti i dettagli sono pubblicati sul sito del Cagliari FestivalScienza (<https://www.festivalsciencacagliari.it/it/premio-donna-di-scienza-terza-edizione/>).

## Sfida della Tavola Periodica IUPAC

È finalmente online la **Sfida della Tavola Periodica IUPAC** (<https://iupac.org/periodic-table-challenge/>).



Si tratta della traduzione italiana della Periodic Table Challenge 2.0 (PtChallenge 2.0), un gioco che ha avuto grande successo e che si articola su più livelli di complessità. Esso si

rivolge oltre che ai chimici e agli studenti di chimica in particolare, a tutti coloro che hanno curiosità per il mondo meraviglioso degli elementi chimici.

La traduzione in italiano è stata curata dal gruppo di lavoro coordinato da Silvia Borsacchi e costituito da Federico Bella, Andrea Ienco, Augusta Maria Paci e Maurizio Peruzzini, con la preziosa collaborazione di Angela Agostiano, Lidia Armelao, Marco Taddia e Marco Fontani. È una iniziativa della Commissione Italiana del CNR per IUPAC (<https://www.iupac.cnr.it/it/>).

## Sesta edizione del Premio Asimov

Si è conclusa il 29 maggio, con una cerimonia nazionale online, la **sesta edizione del Premio Asimov**, nato per collegare il mondo della scienza e quello della scuola.

Il Premio Asimov è una iniziativa rivolta alle scuole superiori con lo scopo di avvicinare i ragazzi ai libri di argomento scientifico, tramite un approccio attivo alla lettura.

Una commissione scientifica, formata da docenti di istituti superiori ed universitari, scrittori, giornalisti, studenti di dottorato e amici della cultura scientifica, ha selezionato a suo tempo una cinquina di libri. I libri finalisti della sesta edizione sono stati i seguenti:

- Telmo Pievani con *Imperfezione. Una storia naturale* (Raffaello Cortina)

- Barbara Mazzolai con *La natura geniale. Come e perché le piante cambieranno (e salveranno) il pianeta* (Longanesi)
- David Quammen con *L'albero intricato* (Adelphi)
- Amedeo Balbi con *L'ultimo orizzonte. Cosa sappiamo dell'universo* (UTET)
- Gianfranco Pacchioni con *L'ultimo sapiens. Viaggio al termine della nostra specie* (Il Mulino).

I libri sono stati votati da una giuria di studenti che quest'anno hanno raggiunto quasi quota 10.000.



Il vincitore della sesta edizione del Premio Asimov, annunciato ufficialmente durante la cerimonia online del 29 maggio, è stato: ***L'ultimo orizzonte. Cosa sappiamo dell'universo*** di **Amedeo Balbi**. Il volume dell'astrofisico e divulgatore romano ha riscosso molto successo tra gli studenti. Le grandi domande sull'origine del tutto, i principi della teoria della relatività di Albert Einstein, la scoperta dell'espansione dell'universo, la radiazione cosmica di fondo, la teoria del Big Bang e tante altre cose, unite alle capacità divulgative dell'autore, sono state le armi vincenti che hanno decretato il successo del libro. Numerose sono state le recensioni di questo libro scritte dagli studenti e i voti che essi gli hanno attribuito lo hanno fatto sveltare al primo posto in classifica.

L'autore è intervenuto durante la cerimonia online del 29 maggio e ha risposto alle numerose domande che gli sono state rivolte.

Gli studenti hanno, comunque, recensito anche tutti gli altri libri finalisti; gli autori delle migliori recensioni, sono stati premiati e hanno esposto i loro commenti in pubblico, durante la cerimonia conclusiva, nel corso di brevi tavole rotonde, dedicate a ciascun libro.

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 sostan-

ziale 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 della scorsa edizione: 16 il numero di regioni partecipanti (l'anno scorso erano state 13 e le *new entry* sono state Basilicata, Molise e Liguria), 126 le città coinvolte (l'anno scorso 86), 197 le scuole (l'anno scorso 136), 668 i professori (l'anno scorso 286), 192 i giudici della commissione scientifica (l'anno scorso 145), le recensioni valide sono state 9439 (l'anno scorso 3257) e gli studenti registrati 11773 (l'anno scorso 4064)

Nel corso degli anni, la partecipazione al Premio Asimov è cresciuta costantemente e ha avuto un'incredibile accelerazione nell'ultima edizione. Ben 9720 studenti hanno anche compilato un questionario (visibile a questo link: [https://asimov.ca.infn.it/dashboard\\_v6/questionario.php](https://asimov.ca.infn.it/dashboard_v6/questionario.php)) che contiene interessanti dati sulla classe e l'indirizzo di appartenenza, sul genere, sulle materie preferite, sugli hobby, il numero di libri letti in un anno, ecc.

In ogni regione, un coordinatore ha gestito i rapporti con le scuole del territorio e organizzato le operazioni locali. Tutte le regioni, inoltre, in date differenti hanno programmato cerimonie online per premiare gli autori delle migliori recensioni per ogni regione. Le regioni partecipanti e i rispettivi coordinatori sono stati i seguenti: Abruzzo, Francesco Vissani; Basilicata, Nicola Cavallo; Calabria, Alessandro Papa; Campania, Giuliana Galati; Emilia Romagna, Lorenzo Bellagamba e Antonio Sidoti; Lazio, Giuseppe Di Sciascio e Silvia Miozzi; Liguria, Silvano Fuso; Lombardia, Marco Radici ed Enrico Vigezzi; Marche, David Vitali; Piemonte, Wanda Alberico; Puglia Nord, Lucia Silvestris; Puglia Sud, Andrea Ventura; Sardegna, Marcello Lissia; Sicilia, Silvio Cherubini; Toscana, Sandra Leone e Valerio Biancalana; Umbria, Claudia Cecchi.

Francesco Vissani, del GSSI (Gran Sasso Science Institute), oltre a svolgere il ruolo di coordinatore per l'Abruzzo, è l'ideatore del Premio, nato nel 2015, e il suo coordinatore nazionale: l'entusiasmo e l'inesauribile energia di Vissani hanno ancora una volta rappresentato il motore principale di tutta l'iniziativa.

€ 12,00

