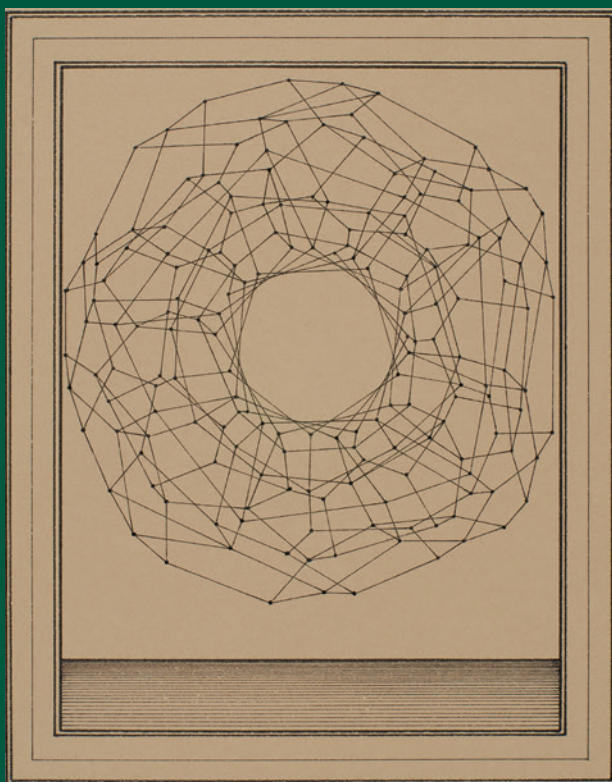




MENS AGITAT
— *Colloquia* —

Tradizione e Innovazione: le Scienze Chimiche a Bologna



a cura di Luigi Busetto

Bononia
University Press



MENS AGITAT
— *Colloquia* —

Fondazione Bologna University Press
Via Saragozza 10 – 40123 Bologna
tel. (+39) 051 232 882

www.buponline.com
email: info@buponline.com

© 2020 Autori

Opera pubblicata con licenza CC BY-4.0

ISBN: 978-88-6923-689-1
ISBN online: 978-88-6923-875-8
DOI: 10.30682/9788869238758

In copertina: Lucio Saffaro, *L'iperdodecaedro. Tractatus Logicus Prospecticus*, 1966 (Fondazione Saffaro, Bologna)

Coordinamento editoriale: Angela Oleandri

Impaginazione: Design People, Bologna

Prima edizione: novembre 2020

Tradizione e Innovazione: le Scienze Chimiche a Bologna

Bologna, 30 gennaio 2018

a cura di Luigi Busetto

Sommario

7	Premessa <i>Walter Tega</i>
9	Prefazione <i>Luigi Busetto</i>
11	La Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna. Storia, protagonisti, documenti <i>Chiara Reatti</i>
31	Giovanni Battista Bonino e la Scuola bolognese di Chimica-Fisica <i>Marco Taddia</i>
43	Angelo Mangini: innovazione e respiro internazionale per la Facoltà di Chimica Industriale <i>Alfredo Ricci, Paolo Zani</i>
55	Alcune note sul profilo ed il contributo di Giovanni Semerano <i>Claudio Trombini</i>
63	Fotochimica e Chimica delle Radiazioni al CNR di Bologna <i>Margherita Venturi, Mila D'Angelantonio</i>
73	L'attualità bolognese nello sviluppo delle Scienze Chimiche <i>Luca Prodi, Angelo Vaccari</i>
79	TAVOLA ROTONDA Le nuove frontiere della Chimica: energia, materiali innovativi, nanotecnologie Coordinatore: <i>Vincenzo Balzani</i>

- 81 **Innovazione, sostenibilità ecologica, sostenibilità sociale**
Vincenzo Balzani
- 91 **La chimica inquina o protegge l'ambiente?**
Nuovi strumenti per produrre e manipolare le sostanze chimiche a favore dell'uomo
e dell'ambiente
Emilio Tagliavini
- 109 **La Chimica Farmaceutica**
Maurizio Recanatini
- 113 **I materiali innovativi: l'esperienza del Dipartimento di Scienze
Chimiche e Tecnologie dei Materiali del CNR**
M. Lucia Curri, Maurizio Peruzzini
- 119 **TAVOLA ROTONDA**
Chimica, accademia e imprenditorialità
Coordinatore: *Ferruccio Trifirò*
- 121 **Scienze Chimiche e Industria**
Ferruccio Trifirò
- 133 **Scienze Chimiche e Dottorato**
Domenica Tonelli
- 141 **Spin off e startup in ambito chimico**
Dario Braga
- 147 **Il domani che ci aspetta**
Il paradigma della competitività nello scenario sostenibile del futuro
Cosimo Franco

Premessa

Le storie generali di Bologna, anche le più recenti, hanno dedicato un modesto rilievo all'Università con il risultato di mettere in secondo piano uno degli elementi che le hanno conferito una dimensione e una fama internazionali. Quelle dedicate in particolare a questa presenza, lo hanno fatto illustrando la sua vicenda istituzionale, l'eterogenea provenienza degli studenti di altre città e di altri paesi e l'eccellenza dei suoi maestri. Solo alcune hanno sottolineato l'intensa attività scientifica che si è svolta per secoli nei suoi laboratori e nelle sue biblioteche. Per chi intende raccontare la vera storia della nostra università è decisivo intrattenersi a lungo e dettagliatamente su questo argomento. I pochi studi che vi si sono dedicati sono legati soprattutto alle celebrazioni del IX Centenario dell'Alma Mater, ma anch'essi si sono spinti raramente oltre la prima metà del ventesimo secolo. L'Accademia delle Scienze dell'Istituto non ha ritenuto di poter supplire a questa reticenza, o meglio, a questo timore della contemporaneità, ma non si è sottratta al compito di spronare i suoi soci a riflettere su questo argomento e a promuovere piccoli colloqui dedicati esclusivamente alla ricostruzione dell'attività scientifica e alle sue connessioni con il contesto nazionale e internazionale senza per ciò trascurare i rapporti con le realtà istituzionali del territorio e le esigenze della vita quotidiana della nostra comunità.

Sono nati da questa esigenza e da questa disponibilità una serie di colloquia disciplinari che hanno ricapitolato esperienze, scuole e maestri restituendo così l'ampia rete di connessioni e di relazioni che si sono sviluppate nel secondo dopoguerra e che hanno collocato l'ateneo bolognese tra i protagonisti della ricerca internazionale rendendoli, non di rado, portatori non sempre consapevoli, di innovazioni delle quali oggi cogliamo ancora l'originalità e la fecondità.

I risultati di questi colloqui che hanno interessato la fisica, l'astronomia, la medicina, la biologia, la chimica, la geologia, l'economia e la statistica, l'ampia area delle discipline umanistiche e che proseguiranno con l'ingegneria, il diritto e le scienze politiche e sociali, saranno proposti al pubblico dei lettori in agili volumi che non intendono proporsi come una storia completa dello sviluppo della ricerca scientifica a Bologna quanto piuttosto mettere a disposizione materiali preziosi, vicende di maestri e dispiegarsi di scuole, memorie di imprese e di innovazioni sottratte all'oblio, indispensabili per chi vorrà cimentarsi nell'impresa più ampia di ricostruire la lunga sequenza di ricerche che ha dato una rilevanza planetaria all'Alma Mater Studiorum e della quale si avverte la mancanza.

Walter Tega

Presidente dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna

Prefazione

Quando l'Accademia delle Scienze, per iniziativa del suo attuale Presidente, ha proposto di organizzare un ciclo di colloqui dedicati alla presentazione dei percorsi scientifici compiuti dalle discipline dell'Alma Mater, un gruppo di soci e colleghi, aderendo alla proposta, ha elaborato il programma del convegno "Tradizione e Innovazione: le Scienze Chimiche a Bologna" tenutosi il 30 gennaio 2018 i cui atti vengono ora raccolti in questo volume.

Il libro intende illustrare i risultati conseguiti dalle Scienze Chimiche in termini di nascita e sviluppo di nuove discipline, di avanzamenti nella ricerca e nelle attività formative nel secondo dopoguerra. Anche se questa ricognizione non vuole essere un esercizio di memoria, il volume si apre con la storia della Scuola di Chimica Industriale ripercorsa e qui proposta in occasione del centenario della sua fondazione (1921). Per un passato più recente, vengono illustrate opere e vita scientifica di tre "maestri" della Chimica bolognese: Giovanni Battista Bonino, Angelo Mangini e Giovanni Semerano, non dimenticando il loro ruolo determinante nella fondazione dei laboratori del CNR. Per il presente sono riportate le attività formative e i riconoscimenti scientifici dei tre dipartimenti chimici della nostra Università, riferiti all'A.A. 2019-2020.

I contenuti degli interventi nelle due Tavole rotonde sono certamente attinenti con lo sviluppo futuro della disciplina; infatti pongono l'attenzione sulle nuove frontiere della ricerca, sulle molteplici collaborazioni fra accademia e impresa, su spin off e startup in UNIBO e, infine, sulla storia del Dottorato di Ricerca in Scienze Chimiche ripercorsa dal suo attuale coordinatore.

Il percorso descritto nel libro evidenzia molto chiaramente come la Chimica bolognese abbia sviluppato la sua eccellente posizione scientifica e didattica divisa fra più dipartimenti dislocati in siti diversi. Tutta la comunità chimica auspica che la attesa riunificazione nella nuova sede possa rendere le Scienze Chimiche dell'Alma Mater sempre più protagoniste a livello nazionale e internazionale. Il presente volume è un passo in quella direzione.

Ringraziamenti al Presidente per l'iniziativa e anche per il lavoro sostenuto dall'Accademia in questo difficile momento.

Luigi Busetto

La Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna. Storia, protagonisti, documenti*

Chiara Reatti**

1. Le origini

L'inaugurazione della Scuola Superiore di Chimica Industriale, avvenuta il 14 gennaio 1922 alla presenza delle autorità politiche e accademiche della Bologna del tempo, celebrava il felice esito di un percorso tutt'altro che agevole, stimolato da esigenze di sviluppo e progresso che la traumatica esperienza delle Prima Guerra Mondiale aveva acuito, portando alla luce il ritardo dell'Italia nel settore tecnologico-industriale e negli studi chimici a esso rivolti. Già prima di allora si erano levate voci a denunciare tali carenze, ma, citando il discorso inaugurale di Mario Giacomo Levi, «chi sa quanto sarebbero durate le discussioni a vuoto, i voti inefficaci, le proposte e le proteste solitarie se non fosse venuta la guerra»¹. Lungi dall'esaltare i tragici risvolti del conflitto e l'orrore degli attacchi con i gas², egli intendeva sottolineare come il settore chimico in tali circostanze era stato costretto a un ineludibile confronto col superiore avanzamento tedesco, che traeva origine da una più equilibrata integrazione fra ricerca, sperimentazione e finanziamenti pubblici e privati³.

Sebbene il fermento produttivo avesse incontrato un nuovo periodo di crisi nel dopoguerra, accentuato dalla ripresa delle importazioni e dalla perdita di competitività dei prodotti italiani sul mercato internazionale, «una certa coscienza chimica»

* Il contributo nasce dal riordino e inventariazione del fondo archivistico della Scuola Superiore di Chimica Industriale, conservato all'Archivio Storico dell'Università di Bologna, <https://archiviostorico.unibo.it/it/patrimonio-documentario/fondo-chimica-industriale>. Si veda anche Reatti 2012.

** Dottore di ricerca in Scienze bibliografiche, del testo e del documento all'Università di Udine. CERB-Centro di Ricerca in Bibliografia, Dipartimento di Filologia Classica e Italianistica, Università di Bologna.

¹ Levi 1922, p. 41.

² Rinvio ai contributi raccolti in Taddia 2016, e alle relative note bibliografiche.

³ Sul tema: Seccia 2005; Cappellano, Di Martino 2006; Hertner 2006; Pizzorni 2006; Cerruti 2013, pp. 457-459; Guerraggio 2015; Jones 2015.

– per dirla ancora con Levi⁴ – aveva ormai attecchito, concretizzandosi nella diffusa consapevolezza del valore strategico della Chimica industriale. Le università italiane risposero alle istanze di rinnovamento sia modificando i *curricula* già attivi, sia tracciando nuovi percorsi di specializzazione. A Bologna, città dove nel 1737 era stata istituita la prima cattedra italiana di Chimica, affidata a Jacopo Bartolomeo Beccari⁵, l'approccio a questa disciplina aveva conosciuto un considerevole sviluppo già dal declinare del XIX secolo, e in particolare dopo che la direzione dell'Istituto di Chimica Generale fu affidata a Giacomo Ciamician⁶. Formatosi in Austria, al ritorno in patria egli aveva lucidamente colto la disparità delle condizioni in cui versava questa scienza in Italia – scarsamente finanziata e dotata di laboratori insufficienti e antiquati – rispetto al Nord Europa, dove era fatta oggetto di ricerche sperimentali orientate al progresso tecnologico e militare⁷. Nel corso della sua prestigiosa carriera, iniziata a Roma come assistente di Stanislao Cannizzaro, Ciamician caldeggiò a più riprese una maggiore attenzione dello Stato verso il cruciale settore chimico e, giovandosi della sua autorità di Senatore, fu tra i primi e più influenti sostenitori del progetto di apertura di un nuovo istituto in seno all'Ateneo bolognese. In quel contesto esso avrebbe potuto attingere alla lunga e consolidata tradizione accademica e nel contempo inserirsi in una realtà economico-produttiva in via di industrializzazione. Purtroppo la morte colse Ciamician il 4 gennaio 1922, a pochi giorni dall'inaugurazione di quella Scuola Superiore di Chimica Industriale per la quale tanto si era prodigato, ma i relatori intervenuti non mancarono di offrirgli il doveroso omaggio.

Le origini del nuovo istituto risalivano al 1916, quando ancora la guerra infiammava l'Europa: concepito da Attilio Muggia, presidente della Società degli Ingegneri di Bologna, esso si ispirava al modello tedesco e mirava a promuovere una maggiore integrazione fra l'insegnamento universitario e la produzione industriale⁸. Nel 1917 una commissione formata da Muggia, Ciamician, dal Rettore Leone Pesci e da altri illustri esponenti del panorama scientifico bolognese, curò la pubblicazione del *Progetto* che gettava le premesse necessarie a concretizzare la felice intuizione⁹. Vi si leggono gli insegnamenti previsti per i due corsi di laurea – Chimica industriale e Ingegneria chimica – e il preventivo di spesa, che contemplava un costo di 400.000 lire per l'im-

⁴ Levi 1922, p. 42.

⁵ Cfr. Crespi, Gaudiano 1970; Zini 1987; Breccia Fratadocchi, Pasquinelli 1990; Farina 2014.

⁶ Seligardi 2003, pp. 42-55. Per la biografia e l'opera di Ciamician con particolare riferimento al contesto bolognese mi limito a segnalare: Bonino 1981; *Giacomo Ciamician a Bologna* 2003; Ciardi, Linguerrì 2007; Scorrano 2009, pp. 40-42; Calascibetta 2013.

⁷ Cfr. Guerraggio, Nastasi 2010; Cerruti 2013, pp. 457-459.

⁸ Muggia 1922, pp. 4-15.

⁹ Società degli Ingegneri di Bologna 1917, *Progetto per l'istituzione della Scuola Superiore di Chimica Industriale presso la R. Università di Bologna e la R. Scuola d'applicazione per gli ingegneri in Bologna*. Accanto a Muggia, Ciamician e Pesci la commissione era formata da: G. Camillo Borgnino (presidente), Adolfo Calzoni, Silvio Canevazzi, Giorgio Levi, Maurizio Padoa e Armando Landini (segretario). Ivi, p. 3.

pianto e di 65.000 lire annue per il funzionamento. Si costituì un comitato patrocina-tore, che a sua volta affidò le pratiche legali e la gestione dei fondi a una commissione esecutiva¹⁰, ma i disagi legati al conflitto in corso causarono rallentamenti. Fu dunque solo nel 1919 che si giunse alla firma della *Convenzione per l'istituzione di una Scuola Superiore di Chimica industriale nella città di Bologna*¹¹, che disponeva la creazione di un consorzio fra Stato, enti e privati donatori, retto da uno statuto che fu approvato nell'ottobre del 1921¹².

In forza di quel documento la Scuola avrebbe beneficiato annualmente di un contributo statale di 25.000 lire, di 27.000 lire messe a disposizione da enti pubblici emiliano-romagnoli, e di oltre 70.000 lire offerte da un insieme di circa trenta sostenitori, fra i quali industrie e banche, ma anche privati cittadini, come Giulio Tibaldi, che ricordò la nascente scuola nel suo testamento¹³. Quanto alle entrate derivanti dalle tasse di immatricolazione, in quella fase iniziale era improbabile che potessero dimostrarsi significative, perciò in un'ottica di contenimento dei costi il comitato prese la decisione di affidare parte degli insegnamenti a professori incaricati, anziché a ordinari.

Le trattative ministeriali, agevolate dall'influente appoggio di Ciamician e del senatore Alberto Dallolio¹⁴, condussero alla legge del 7 aprile 1921 (Fig. 1), che recepiva la convenzione stipulata nel 1919 e contestualmente stabiliva l'aumento del contributo statale, portandolo a 38.100 lire¹⁵. Nello stesso anno furono introdotte altre due norme di vitale importanza, ovvero il già citato statuto del consorzio e il regolamento interno della Scuola, in virtù dei quali essa «entrava in funzione il 14 gennaio 1922, col carattere di R. Istituto Superiore indipendente ma moralmente e didatticamente annesso all'Università e alla Scuola Ingegneri di Bologna»¹⁶.

In seguito alla riforma universitaria del 1923, varata dal ministro Giovanni Gentile, e al rinnovamento dell'assetto economico-statutario della Scuola¹⁷, i contributi provenienti dallo Stato e dagli enti locali aumentarono ulteriormente, tuttavia è lecito supporre che l'avvenire di questa nuova realtà non sarebbe stato altrettanto brillante se il

¹⁰ I Membri del comitato patrocina-tore e della commissione esecutiva sono elencati in R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1922, pp. 79-83.

¹¹ Ivi, pp. 53-61.

¹² R.D. 20 ottobre 1921, n. 1675, *col quale è approvato lo statuto del Consorzio per la Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna*.

¹³ Contribuenti pubblici e privati elencati in R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1922, pp. 53-59. Tra i privati prevalgono industrie e società, quali le officine Ansaldo di Genova (5.000 lire), la Società italiana per l'industria dello zucchero indigeno (5.000 lire) e le acciaierie di Piombino (3.000 lire). Ben rappresentato anche il settore bancario, con le offerte di 5.000 lire del Credito Italiano, della Banca Italiana di Sconto e della Banca Commerciale Italiana.

¹⁴ Albertazzi 1986.

¹⁵ L. 7 aprile 1921, n. 513, *concernente la istituzione di una Scuola Superiore di Chimica Industriale in Bologna*.

¹⁶ Levi 1926, pp. 3-4.

¹⁷ *Annuario* 1926, p. 9 ss.

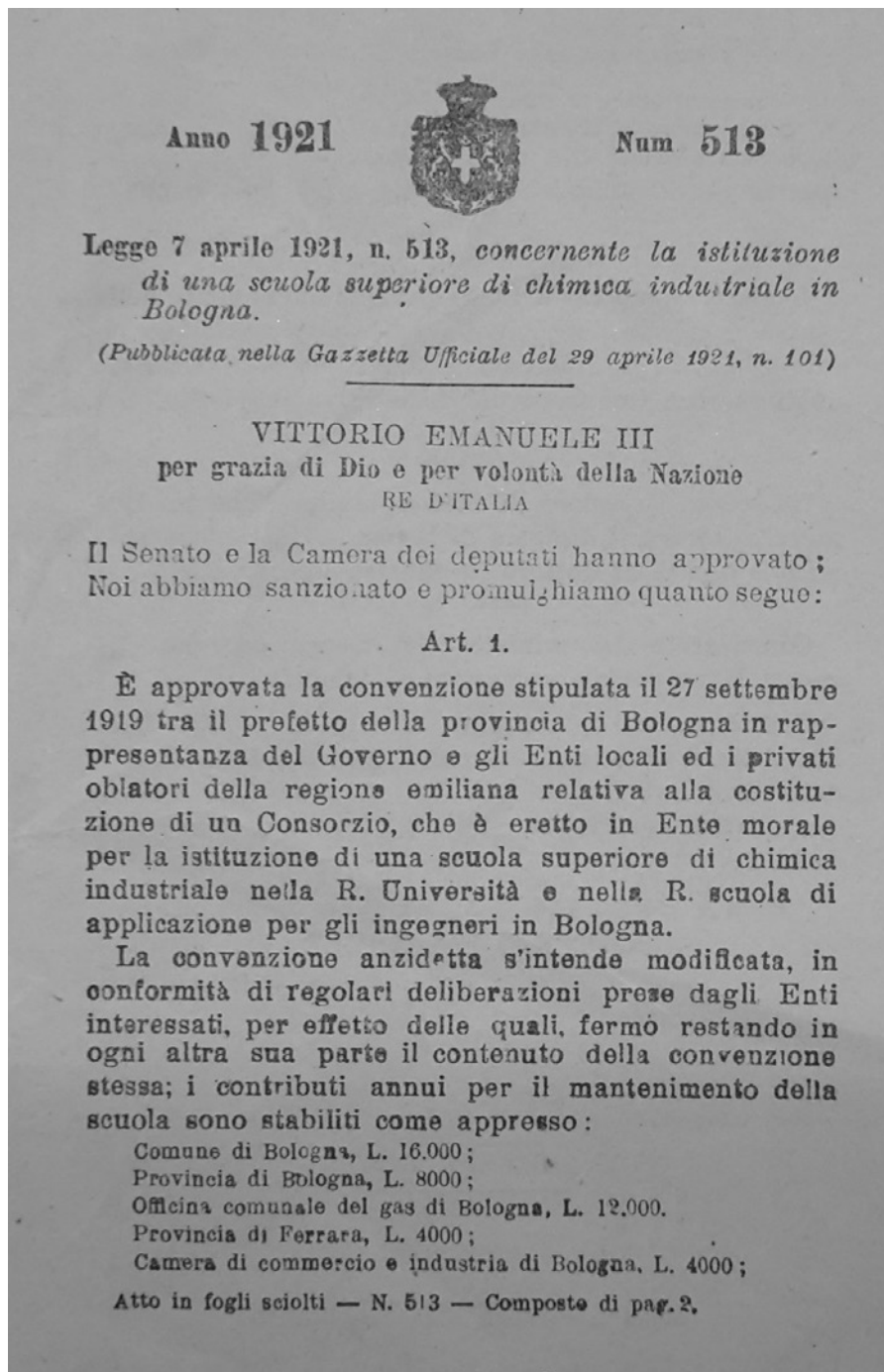


Figura 1. Manifesto recante la Legge 7 aprile 1921, n. 513 *Concernente la istituzione di una Scuola superiore di Chimica industriale in Bologna* (su concessione dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Biblioteca di Chimica Industriale, Archivio Angelo Mangini, b. 3).



Figura 2. Fotografia di Luciano Toso Montanari desunta dall'*Annuario* del 1925.

facoltoso ingegner Luciano Toso Montanari (1848-1920, Fig. 2) non avesse scelto di destinarle il suo ingente patrimonio, mosso dal desiderio di contribuire allo sviluppo scientifico e tecnologico italiano. Alla sua morte essa ereditò dunque un capitale di un milione e cinquecentomila lire, che le permise di iniziare l'attività sotto i migliori auspici e di istituire borse di studio che ancora oggi sono conferite agli allievi più meritevoli¹⁸. Per mantenere viva la memoria del benefattore, nel 1926 lo scultore Mario Sarto fu incaricato di realizzarne il busto in marmo e l'attuale Dipartimento di Chimica Industriale, erede della Scuola Superiore di allora, è denominato appunto "Toso Montanari"¹⁹.

Entrato in possesso del sostanzioso lascito, al nascente istituto restava ancora il problema della mancanza di una sede propria, dal momento che aule e laboratori erano ospitati nell'edificio della Scuola di Applicazione per Ingegneri, presso l'ex convento di San Giovanni dei Celestini. La condivisione degli spazi non rappresentava di per sé

¹⁸ Toso Montanari nel testamento ricordò anche la Scuola di Ingegneria. Il patrimonio derivante dal suo lascito è gestito dalla Fondazione "Ing. Luciano Toso Montanari", che favorisce gli insegnamenti e gli studi di Chimica Industriale.

¹⁹ Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari", <https://chimica-industriale.unibo.it/it/dipartimento/presentazione/storia-del-dipartimento>. Documenti relativi alla realizzazione del busto, che si trova nell'atrio della sede del Dipartimento, sono in ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Onoranze a uomini illustri. Fu realizzato in occasione del trasporto a Bologna delle sue spoglie, poiché era morto a Barcellona il 27 ottobre 1920.

uno svantaggio, essendo le due realtà strettamente legate, tuttavia l'ingombrante strumentazione di laboratorio e il crescente numero di allievi rese ben presto inadeguati gli ambienti a disposizione²⁰. Nel 1923 parte del capitale ereditato venne quindi impiegata per l'acquisto di alcuni fabbricati adiacenti alla Scuola di Ingegneria, di proprietà della marchesa Laura Bevilacqua Ariosti Rodriguez²¹. Un secondo investimento immobiliare, più schiettamente orientato alla capitalizzazione, venne intrapreso nel 1934 per volontà del direttore Maurizio Leone Padoa, che rilevò da una società milanese lo stabile di via Zamboni 32. La scelta di destinare una significativa porzione del patrimonio all'acquisto di quell'edificio, attualmente occupato dal Dipartimento di Filologia Classica e Italianistica, prova la determinazione di Padoa nel perseguire l'effettivo interesse della Scuola: egli non esitò infatti a contrastare le direttive del regime fascista, che esigevano la sottoscrizione di buoni del tesoro a sostegno del bilancio statale. La decisione fu per lui gravida di conseguenze, in quanto pose premesse per il suo allontanamento dall'Università di Bologna ancor prima dell'entrata in vigore delle leggi razziali, che, come è noto, lo avrebbero duramente colpito²². La coraggiosa lungimiranza di Padoa venne comunque premiata, poiché i proventi dei contratti di locazione furono di vitale importanza per l'avvenire dell'istituto²³.

2. Attività

I due percorsi formativi avviati all'apertura della Scuola erano concepiti «per preparare sia degli ingegneri capaci di dirigere industrie chimiche, e quindi specialmente esperti nelle applicazioni della scienza chimica, sia dei chimici consulenti, o controllori, delle industrie stesse»²⁴. Entrambi di durata quinquennale, erano suddivisi in un primo biennio comune e in un successivo triennio di specializzazione, con corsi svolti principalmente nella Scuola di Ingegneria o in quella Chimica, a seconda del *curriculum* prescelto (Fig. 3). Cifra caratteristica era la centralità riconosciuta alle esercitazioni di laboratorio, evidente soprattutto negli insegnamenti di Chimica e di Analisi industriale, che trattavano ampiamente i fertilizzanti in quanto «corrispondono agli interessi agrari particolari della Regione emiliana», e in quello di Tecnologia del calore, che non trascurava di occuparsi «del gas illuminante e dei relativi sottoprodotti»²⁵. La prova finale per gli aspiranti ingegneri chimici consisteva in interrogazioni e discussioni inerenti le attività dei tre anni conclusivi, mentre

²⁰ Circa il numero di iscritti e di laureati cfr. *Annuario* 1926, pp. 76, 86-87; *Annuario* 1931, pp. 149-178.

²¹ Si tratta di edifici che attualmente ospitano l'Archivio di Stato di Bologna.

²² Citti, Trombetti 2004; Girelli 2007.

²³ Lo dimostra la documentazione in ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, nelle serie Proventi di affitti e Bilanci, due tra le più corpose.

²⁴ Muggia 1922, pp. 18-19.

²⁵ R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1922, p. 73.

I. ANNO 1. Chimica generale ed inorganica. 2. Fisica sperimentale I. 3. Mineralogia con esercizi. 4. Manipolazioni di chimica (un semestre). 5. Analisi algebrica 6. Geometria analitica } oppure } Botanica. Matematica per i Chimici.	IV. ANNO 1. Chimica fisica II. 2. Chimica industriale II. 3. Analisi chimica industriale II. 4. Elettrochimica con esercizi. 5. Macchinario e impianti per le industrie chimiche, con disegno I. 6. Tecnologia dello Zucchero, amido e prodotti di fermentazione, con esercizi. 7. Elementi di elettrotecnica.
II. ANNO 1. Chimica organica. 2. Fisica sperimentale II. 3. Chimica enalitica. 4. Esercitazioni di Fisica (un semestre). 5. Esercitazioni di Analisi chimica qualitativa. 6. Calcolo infinitesimale, oppure Esercizi di matematica per i chimici. 7. Elementi di disegno.	V. ANNO 1. Macchinario e impianti per le industrie chimiche, con disegno II. 2. Metallurgia con esercizi. 3. Economia e legislazione industriale. 4. Esercitazioni e lavori speciali nei laboratori di Chimica: tesi di laurea.
III. ANNO 1. Chimica fisica I. 2. Esercizi di analisi chimica quantitativa (un semestre). 3. Chimica industriale I. 4. Analisi chimica industriale I. 5. Geologia applicata. 6. Tecnologia del calore e dei combustibili industriali con esercizi. 7. Chimica delle sostanze coloranti,	CORSI LIBERI 1. Lingue straniere. 2. Ingegneria sanitaria e igiene. 3. Chimica agraria. 4. Fisica tecnica. 5. Elettrotecnica.

Figura 3. Piano didattico a.a. 1925-26 (dall'*Annuario* del 1925).

per il titolo di chimico industriale a queste prove si aggiungeva la presentazione di un elaborato di carattere preferibilmente sperimentale²⁶. Per effetto della riforma Gentile, a partire dall'anno accademico 1924-25 rimase attivo solamente il corso di laurea in Chimica industriale, con la possibilità di conseguire il titolo di ingegnere chimico solo per gli studenti già immatricolati. Nonostante ciò, il numero di allievi continuò a crescere in maniera regolare e, nei primi cinque anni, si passò dagli 82 iscritti del 1921-22 ai 137 del 1925-26²⁷.

Su indicazione di Ciamician a dirigere la Scuola fu chiamato Mario Giacomo Levi, che si era distinto all'Università di Padova come assistente di Raffaello Nasini e in seguito alla Scuola Ingegneri di Palermo come professore di Chimica tecnologica

²⁶ Ivi, p. 75.

²⁷ *Annuario* 1926, p. 76.



Figura 4. Mario Giacomo Levi (fotografia pubblicata in «La chimica e l'industria», XXVII, 1945, nn. 11-12).

(Fig. 4)²⁸. L'opera di Levi, rivolta allo studio dei combustibili, era in sintonia con la vocazione dell'istituto bolognese, nato per promuovere e sostenere lo sviluppo industriale. La questione dei combustibili, portata alla ribalta durante gli anni di guerra, rivestiva infatti un'importanza cruciale e Levi, convinto sostenitore del bisogno e della possibilità di emancipare l'Italia dalle importazioni estere, si fece promotore di importanti iniziative di ricerca in quel settore²⁹. Un significativo riconoscimento gli giunse nel 1926, allorché la Scuola da lui diretta fu scelta dal Ministero dell'Economia nazionale per ospitare un'innovativa Sezione per i combustibili³⁰. Già l'anno accademico seguente però essa si trasferì a Milano, avendo Levi accettato la cattedra di Chimica tecnologica istituita al Politecnico. All'istituto bolognese rimase comunque «un notevole impianto di apparecchi per catalisi ad alte pressioni e temperature», che consentiva di proseguire le sperimentazioni³¹. Inoltre, a parziale compensazione della perdita, giunse dal Consorzio di Fabbrikanti zuccheri con sede a Genova la disponibilità a finanziare la dotazione di un laboratorio di Tecnologia dello zucchero, amido e prodotti di fermentazione³². Prima

²⁸ Per il profilo di Mario Giacomo Levi rinvio a Cerruti 2005, e relativa bibliografia; Scorrano 2009, pp. 407-411.

²⁹ Le ricerche sui combustibili sono raccolte in Levi 1927-1938. Sul tema cfr. Maiocchi 2003, pp. 21-25; Id. 2013.

³⁰ La Sezione per i combustibili, istituita con R.D. 3 settembre 1926, n. 1838, tra i suoi compiti aveva anche studiare i giacimenti italiani ed essere organo consultivo del Ministero. Cfr. *Annuario* 1931, pp. 15-16.

³¹ *Annuario* 1931, pp. 9-10.

³² Nel 1928-29 il Consorzio versò ben 24.000 lire per la copertura delle spese di impianto del laboratorio.

di allora i processi legati alla produzione saccarifera erano stati affrontati solo mediante corsi accelerati, e dunque l'apertura di un vero e proprio laboratorio ampliava l'offerta formativa della Scuola e favoriva quel connubio fra agricoltura e industria inteso come necessario al decollo dell'industrializzazione italiana. Ben rispondeva altresì alla vocazione agraria della pianura Padana, che – giova ribadirlo – era stata un fattore determinante nella scelta di Bologna quale sede appropriata per un corso di laurea in Chimica industriale. A supporto del laboratorio fu istituita la cattedra di Tecnologia dello zucchero, che per concorso andò a Giuseppe Mezzadroli, laureato in Chimica e Farmacia all'Università di Parma e destinato a essere il primo preside della Facoltà di Chimica Industriale, dal 1935 al 1941³³.

Dopo la partenza di Levi il titolo di direttore rimase vacante per oltre un anno e, per il 1927-28, le normali attività proseguirono grazie al direttore di Ingegneria Umberto Puppini, ordinario di Idraulica e figura assai nota per il suo passato da sindaco di Bologna, carica che mantenne fino all'insediamento del podestà di nomina governativa, sul finire del 1926³⁴.

La direzione fu poi affidata a Maurizio Leone Padoa, allievo di Ciamician e docente di Chimica industriale che aveva sostenuto la Scuola fin dai suoi albori (Fig. 5)³⁵. Calandosi nel solco tracciato dal predecessore Levi, egli si impegnò per rafforzare l'integrazione fra il percorso scolastico e l'inserimento professionale e, a tal fine, confermò la già consolidata prassi dei viaggi di istruzione. Si trattava infatti di occasioni altamente formative, che interessavano non solo la sfera tecnico-scientifica, con visite agli stabilimenti più all'avanguardia, ma anche l'arte, la cultura e la memoria collettiva, come nel caso del «devoto pellegrinaggio attraverso i luoghi consacrati dalla guerra» effettuato durante un soggiorno in Veneto e Friuli³⁶. Come è noto, la mitizzazione della Grande Guerra e la militarizzazione della società orchestrate durante il ventennio fascista coinvolsero in maniera pervasiva le università, e dunque non stupisce che quei valori fossero proposti agli aspiranti chimici, dai quali si attendevano contributi anche sul piano della tecnologia bellica.

A prescindere dal contesto politico e ideologico, pur influente e ben impresso nelle testimonianze documentarie, va rilevato che in quegli anni la Scuola di Chimica Industriale riuscì a fare considerevoli progressi nell'arricchimento della sua offerta formativa. Lo prova, ad esempio, l'istituzione nel 1927 della cattedra di Chimica-fisica, disciplina che andava acquisendo crescente rilievo. Il nuovo insegnamento fu affidato

³³ ASUB, *Personale docente: fascicoli individuali*, fasc. 1721. Cfr.: Mezzadroli 1932; Da Mareto 1974, vol. II, p. 1197.

³⁴ Per il profilo di Umberto Puppini rinvio a Felisini, Salsano 2016, e relativa nota biografica.

³⁵ Cfr. Citti, Trombetti 2004. Padoa era stato membro della commissione istituita nel 1917 per patrocinare la fondazione della Scuola. Cfr. *infra*, nota 9. La Biblioteca di Chimica Industriale conserva documenti di Padoa: di particolare interesse la serie Corrispondenza, che copre l'arco cronologico 1903-1942.

³⁶ Viaggio dell'anno 1926-27. Per i viaggi d'istruzione cfr. *Annuario* 1926, pp. 88-89 e *Annuario* 1931, pp. 195-198.

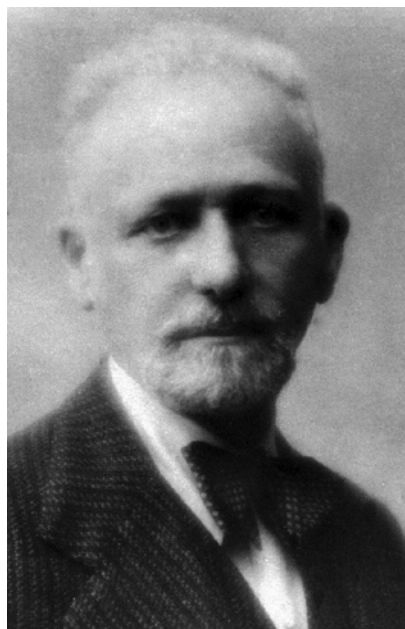


Figura 5. Maurizio Leone Padoa (su concessione dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Biblioteca Universitaria di Bologna-Archivio storico, Collezione fotografica ritratti dei docenti, foto 007_chi).

all'appena ventottenne Giovanni Battista Bonino, agli inizi di una brillante carriera che lo avrebbe portato a essere figura chiave nella vita dell'Ateneo bolognese³⁷. Grazie ad alcuni locali messi a disposizione dall'Istituto di Chimica Generale, egli riuscì in breve tempo ad allestire il Laboratorio di Chimica-fisica ed Elettrochimica, così da garantire agli studenti l'opportunità di realizzare una più ampia gamma di esperimenti e studi empirici. L'attività di Bonino presso la Scuola proseguì senza interruzione anche dopo il suo passaggio alla Facoltà di Scienze matematiche, fisiche e naturali, portandolo poi a succedere a Mezzadrolì nel ruolo di preside della Facoltà, dal 1941 al 1944³⁸.

Il progresso della Scuola di Bologna e i suoi legami con le istituzioni e le imprese si riflettono nelle carte d'archivio, che integrano e comprovano le succinte informazioni riportate nei due soli annuari che videro la luce. Il primo, del 1926³⁹, uscì a cinque anni di distanza dal volume inaugurale, mentre quello che riassume il secondo lustro apparve nel 1931⁴⁰. Per il periodo successivo, fino all'innalzamento a Facoltà disposto il 29 ottobre del 1935, i documenti sono dunque imprescindibili per supplire alla scarsità delle pubblicazioni e rischiarano gli eventi che portarono a quella svolta istituzionale.

³⁷ ASUB, *Professori ordinari: fascicoli individuali*, b. 84, fasc. 271. Cfr. Karachalios 2001; Semerano 2011. Rinvio inoltre ad ASUB, *Fondo Giovanni Battista Bonino*, <https://archivistorico.unibo.it/it/patrimonio-documentario/fondo-giovanni-battista-bonino>.

³⁸ Per l'attività del laboratorio si veda ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Cattedre, gabinetti e laboratori.

³⁹ *Annuario* 1926.

⁴⁰ *Annuario* 1931.

Un primo cambiamento era avvenuto già nel 1933, quando, per effetto del Testo unico delle leggi sull'istruzione superiore, la Scuola assunse la denominazione di Regio Istituto Superiore di Chimica Industriale⁴¹, mentre il problema della scarsità di spazi aveva continuato ad aggravarsi, complice anche il più elevato numero di allievi. Complesse furono le negoziazioni che portarono alla realizzazione della nuova sede, prevista dalla *Convenzione per l'assetto edilizio dell'Università di Bologna* del 1929⁴² e dalla *Convenzione aggiuntiva* stipulata l'anno seguente⁴³. Essendo da tempo maturata anche per la Scuola di Ingegneria la necessità di nuovi locali, si stabilì di trasferire entrambi gli istituti in due edifici separati ma adiacenti, da costruirsi fuori Porta Saragozza, sul terreno dell'ex Villa Cassarini, dove avrebbero mantenuto quella reciproca prossimità della quale avevano sempre beneficiato (Figg. 6, 7, 8)⁴⁴.

Prima del 1935 era andata ampliandosi anche l'offerta formativa, come dimostra una breve relazione del settembre di quell'anno vergata da Bonino, allora pro-direttore, dalla quale si apprende che da qualche tempo erano state attivate una sezione di Tecnologia del calore e Metallurgia e una di Macchinari e Impianti chimici⁴⁵.

Nel periodo che dalla fondazione si estende fino al passaggio a Facoltà, la Scuola – poi Istituto – Superiore di Chimica Industriale diede dunque un importante contributo alla “coscienza chimica” italiana e alle sue concrete applicazioni, nonostante le contingenze storiche non sempre favorevoli. Grazie al cospicuo patrimonio proveniente da lasciti e donazioni, questo istituto risentì forse meno di altri delle ristrettezze legate alla crisi del 1929 e alla politica autarchica ma ne fu anch'esso colpito, come era inevitabile. Sotto il profilo didattico, pur ammettendo l'impulso che il regime diede al progresso scientifico e tecnologico – anche se con finalità marcatamente belliche – resta altrettanto tangibile il danno arrecato dalla fascistizzazione dell'università e della cultura⁴⁶. Destano sconcerto, ad esempio, le circolari dai toni sempre più apertamente razzisti e quelle che intimavano al boicottaggio di opere di autori non allineati⁴⁷, tuttavia le ingerenze, per quanto pressanti, non riuscirono a smorzare l'alto profilo degli studi e la cooperazione internazionale. Lettere provenienti da diversi paesi, inclusa la Russia sovietica, testimoniano come la realtà bolognese fosse oggetto di stima e considerazione, integrata in una comunità scientifica pronta a travalicare confini

⁴¹ R.D. 31 agosto 1933, n. 1592, *Approvazione del testo unico delle leggi sull'istruzione superiore*.

⁴² L. 11 aprile 1930, n. 488, *Convenzione per l'assetto generale edilizio della R. Università e del Policlinico di Sant'Orsola, della R. Scuola di ingegneria e della R. Scuola superiore di chimica industriale in Bologna*.

⁴³ 1934, *Convenzione aggiuntiva alla Convenzione stipulata con atto pubblico 19 ottobre 1929 approvata con legge 11 aprile 1930 n. 488 per l'assetto generale edilizio* [...]. (Società Tipografica già Compositori, Bologna).

⁴⁴ Per un approfondimento sulla realizzazione degli edifici si veda Bettazzi 2016. Erano state contemplate altre due possibilità: l'adattamento di una parte del complesso Staveco, proposto nel 1925 da Attilio Muggia, e il trasferimento in un'area di proprietà comunale attigua ai Giardini Margherita.

⁴⁵ ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Miscellanea.

⁴⁶ Sul tema cfr. Pizzorni 2006a; Zunino 2008; Signori 2011; Cerruti 2013.

⁴⁷ ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, le due serie Miscellanea e Biblioteche.



Figura 6. Edificio in costruzione, fotografia scattata il 2 ottobre 1933 (su concessione dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Biblioteca Universitaria di Bologna-Archivio storico, Fondo fotografico, Edilizia universitaria (positivi), Facoltà di Chimica Industriale, Cantieri, foto 003).



Figura 7. Edificio in costruzione, fotografia scattata il 30 marzo 1934 (su concessione dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Biblioteca Universitaria di Bologna-Archivio storico, Fondo fotografico, Edilizia universitaria (positivi), Facoltà di Chimica Industriale, Cantieri, foto 005).



Figura 8. Edificio completato, cartolina del 1935 (su concessione dell'Alma Mater Studiorum-Università di Bologna, Biblioteca di Chimica Industriale).

statali e divisioni ideologiche nel superiore interesse della ricerca⁴⁸. Tale attitudine si traduceva anche nel conferire borse di studio per il perfezionamento all'estero degli allievi, così come nel promuovere occasioni di incontro e di scambio per i docenti. Tra le più significative ricordiamo nel 1928 la partecipazione di Padoa, in veste di unico delegato italiano, al III Consiglio internazionale di chimica Solvay a Bruxelles e alla riunione della Faraday Society a Bristol, dove l'anno successivo si recò invece Bonino. Nel 1930 questi prese parte al Congresso di chimica industriale di Liegi, mentre Maurizio Korach, docente di Macchinari e impianti chimici, durante l'anno accademico 1926-27 visitò stabilimenti ceramici francesi e inglesi; nello stesso periodo Giuseppe Mezzadrolì si recò a Buenos Aires per inaugurare un istituto tecnologico di enzimologia e per tenere conferenze in diverse altre città argentine⁴⁹. I successi di quel viaggio e i brevetti legati al suo nome concorsero ad avvicinarlo a personalità influenti come Guglielmo Marconi, presidente del Consiglio Nazionale delle Ricerche, del quale Mezzadrolì divenne membro nel 1929⁵⁰.

La prospettiva internazionale della Scuola e lo sforzo di mantenere aggiornato lo spettro di studi si riscontrano infine nelle frequenti richieste di contributi ministeriali da destinare alla biblioteca e all'abbonamento a riviste di settore⁵¹, così come nelle pubblicazioni dei docenti e nelle tesi di laurea degli allievi, aperte a tutti i principali ambiti di ricerca della Chimica di quel periodo⁵².

3. Persone

La solida preparazione tecnica e scientifica è un tratto che accomuna le biografie di coloro che animarono e frequentarono la Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna. Accanto a Bonino, Levi, Mezzadrolì e Padoa – già incontrati in queste pagine – fra i docenti di più chiara fama che impressero il loro contributo allo sviluppo di questo istituto ricordiamo Giuseppe Albenga, Riccardo Ciusa e Armando Landini⁵³. Il primo, ordinario della Scuola di Ingegneria, in quella di Chimica insegnò Meccanica applicata alle costruzioni, una disciplina che avvicinava la formazione del chimico industriale a quella dell'ingegnere e quindi ad avvalorare il legame tra i due percorsi formativi. Anche Armando Landini faceva parte dell'organico di

⁴⁸ ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Rapporti con l'estero.

⁴⁹ ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Missioni e scambi di professori. Cfr. *Annuario* 1931, pp. 5-14.

⁵⁰ Da Mareto 1974, vol. II, p. 1197; *La chimica italiana all'inizio del secolo XX*, pp. 97-98.

⁵¹ ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Biblioteche.

⁵² Per le bibliografie degli scritti dei docenti e le tesi di laurea. Cfr. *Annuario* 1926, pp. 77-85; *Annuario* 1931, pp. 179-194.

⁵³ In merito all'attività di questi e degli altri docenti rinvio agli annuari e alla documentazione in: ASUB, *Scuola Superiore di Chimica Industriale*, Cattedre, gabinetti e laboratori; ASUB, *Personale docente, fascicoli individuali*.

Ingegneria, incaricato dei corsi di Costruzioni civili e di Materiali da costruzione. Durante la Prima Guerra Mondiale aveva collaborato con Vittorio Putti alle iniziative che diedero origine all'Istituto sperimentale della protesi degli arti annesso all'ospedale Rizzoli, voluto dallo stesso Putti e da Silvio Canevazzi e destinato a conquistare fama internazionale⁵⁴. Alla Scuola di Chimica, dove rimase fino al 1926, si occupò di Costruzioni per impianti industriali e resse il Laboratorio per la sperimentazione della resistenza dei materiali. Riccardo Ciusa, libero docente di Chimica organica, nel 1924 si trasferì all'Ateneo di Bari e dunque non fu a lungo all'istituto bolognese, tuttavia l'impegno profuso per l'insegnamento di Chimica delle sostanze coloranti fu significativo⁵⁵. Al suo posto giunse Giuseppe Rossi, allievo di Leone Pesci e di Giuseppe Plancher, il quale si distinse soprattutto per le ricerche di Chimica organica⁵⁶. Fra i professori di Ingegneria che prestarono servizio alla Scuola di Chimica Industriale vi fu anche Giuseppe Sartori, che a partire dall'anno 1928-29 tenne il corso di Elementi di elettrotecnica, la disciplina alla quale si consacrò, dando un significativo apporto alla nascente Ingegneria elettromagnetica in Italia⁵⁷. Eclettica la figura di Maurizio (Mór) Korach, scienziato e letterato, docente di Macchinari e impianti chimici dal 1925. Lasciata la nativa Ungheria, nel 1914 si stabilì a Faenza per lavorare alle problematiche di produzione industriale della ceramica, dirigendo poi il Laboratorio sperimentale fondato nel 1916 da Gaetano Ballardini. Accanto alla carriera di chimico si interessò alla letteratura, partecipando alla redazione della rivista «La Ronda», dietro invito di Riccardo Bacchelli, e contribuendo alla diffusione di opere di letteratura tedesca ancora poco note al pubblico italiano. L'attività di scrittore, per la quale ricorse talvolta allo pseudonimo di Marcello Cora, include la stesura di testi didattici e scientifici che gli valsero apprezzamento tanto in Italia quanto in Ungheria, dove avrebbe fatto ritorno nel 1952⁵⁸.

Tracciare i profili degli allievi è compito più arduo, che richiede un attento intreccio di dati archivistici, riferimenti bibliografici e notizie di carattere privato raccolte su più fronti⁵⁹. Emergono così le vicende di Ido Mutti e Carlo Padovani, i quali dopo aver conseguito la laurea e la libera docenza furono chiamati al Politecnico di Milano con incarichi a contratto, rispettivamente nell'ambito delle sostanze coloranti e dei combustibili⁶⁰. Agostino Amati, laureato in Chimica industriale nel 1924, rimase presso la Scuola bolognese come professore incaricato di Elementi di

⁵⁴ Bernabeo, Purcheddu 1996.

⁵⁵ Scorrano 2009, pp. 569-571.

⁵⁶ Ivi, pp. 436-437.

⁵⁷ Cfr. Morando 2012.

⁵⁸ Cfr. Società italiana per la ceramica 1977; Di Biase 1978; Trombetti, Magelli 2002.

⁵⁹ I fascicoli personali degli allievi sono conservati in ASUB, senza interruzione fra quelli attinenti la Scuola Superiore e quelli della Facoltà di Chimica Industriale. L'elenco nominativo degli iscritti degli anni 1926-1931 è in *Annuario* 1931, pp. 157-178.

⁶⁰ *La chimica italiana all'inizio del secolo XX*, p. 98.

disegno⁶¹, mentre invece Luigi Musajo, completati gli studi nel 1926, seguì Ciusa all'Università di Palermo come suo assistente. Nel 1942 vinse il concorso per la cattedra di Chimica farmaceutica dell'Università di Cagliari e nel 1950 passò a quella di Padova, dove fu preside della Facoltà di Farmacia dal 1955 fino alla morte, nel 1974⁶². Germano Centola⁶³ ed Eugenio Mariani⁶⁴ furono altri due ex alunni che proseguirono la carriera accademica: il primo, laureatosi nel 1930, fu professore di Chimica industriale a Roma e a Bologna; il secondo, conseguito il titolo nel 1935, a Roma fu direttore dell'Istituto di Chimica Applicata e Industriale dell'Università "La Sapienza". Ivo Ubaldini⁶⁵, fra gli allievi più valenti di Levi, lo seguì al Politecnico e là ottenne l'insegnamento di Chimica delle sostanze coloranti. Nel secondo dopoguerra seppe poi coniugare l'attività accademica a quella industriale, in veste di dirigente della Pirelli e poi, fino al 1958, della Montecatini. Anche Carlo Collina⁶⁶ mise a frutto nel campo industriale l'esperienza di progettazione di impianti acquisita con la laurea in Ingegneria Chimica. Giunto anch'egli a Milano al seguito di Levi, ricevette infatti dalla Società Costruzioni Brambilla l'incarico di progettare uno stabilimento per la fabbricazione di ammoniaca sintetica e derivati che entrò in attività nel 1934.

Destano infine doverosa ammirazione le (poche) donne che scelsero di frequentare la Scuola Superiore di Chimica Industriale, nonostante il persistere di una netta suddivisione fra ruoli sociali maschili e femminili, avvallata e accentuata dalla retorica fascista. Certo si tratta di appena una quarantina di studentesse nell'arco di tutto il quindicennio, a fronte di oltre mille studenti, e non tutte riuscirono a concludere il percorso, alcune optando per altre facoltà e altre invece abbandonando gli studi. Dal primo anno accademico fino al 1930, su un totale di 145 laureati, le donne furono solamente sette⁶⁷, tuttavia è significativo che almeno due di loro, Ernesta Vareton e Libera Murineddu, ottennero incarichi di qualche rilievo all'interno della Scuola. La prima, accreditata anche come Ernestina, era originaria di Pola, si aggiudicò la borsa di studio Toso Montanari per il 1926-27 e portò a termine gli studi l'anno seguente, continuando poi a collaborare alle attività del laboratorio di Tecnologia dello zucchero diretto da Mezzadroli. Libera Murineddu (Fig. 9), di Sassari, conseguì la laurea nel 1927 e fu scelta da Bonino come assistente volontaria per il Laboratorio di Chimica-fisica ed Elettrochimica. Continuò a collaborare alle attività scolastiche fino alla fine

⁶¹ *Annuario* 1931, p. 114.

⁶² Scorrano 2009, pp. 654-656.

⁶³ Ivi, pp. 624-625.

⁶⁴ Ivi, p. 743.

⁶⁵ Ivi, pp. 667-668.

⁶⁶ Ivi, pp. 622-623.

⁶⁷ Si vedano gli elenchi dei laureati dall'anno 1923-24 al 1929-30 (*Annuario* 1931, pp. 149-153) e quelli nominativi degli iscritti (Ivi, pp. 157 ss.). Queste le altre donne laureate: Maria Cristina Basini (Treviso), Cesira Braschi (Ascoli Piceno), Maddalena Buonvino (Bari), Anna Franceschini (Bologna), Luisa Talevi (Pesaro).



Figura 9. Libretto universitario di Libera Murineddu (su gentile concessione dei suoi figli).

del 1928, scegliendo poi di proseguire gli studi in ambito farmaceutico all'Università di Modena⁶⁸. Il loro esempio, così come quello delle altre studentesse rimaste più in ombra, rendono dunque la Scuola bolognese affascinante anche sotto il profilo degli studi di genere, tanto più che essa poté vantare la presenza di una donna anche tra i docenti: Nerina Vita⁶⁹. Laureata in Chimica pura con Giacomo Ciamician nel 1914, aveva poi proseguito gli studi in ambito farmaceutico a Bologna e a Parma e in seguito, dall'anno 1927-28, aveva assunto l'incarico di Complementi di chimica analitica. Purtroppo, nel volgere di pochi anni le leggi razziali la danneggiarono gravemente, costringendola a lasciare l'insegnamento e a riparare in Svizzera, da dove poté fare ritorno soltanto a guerra finita⁷⁰.

La sciagura delle leggi del 1938 colpì diversi altri allievi e docenti legati alla Scuola bolognese, a cominciare da Levi e Padoa, i suoi primi direttori. Levi trovò rifugio in Svizzera e là, «instancabile maestro anche nei momenti più difficili», tenne corsi per gli aspiranti ingegneri italiani in esilio e per gli allievi di Chimica industriale dell'Università

⁶⁸ Ringrazio sentitamente Bruno, Francesco e Renato Salvatore, figli di Libera Murineddu, per le notizie e i documenti che mi hanno fornito.

⁶⁹ *Annuario* 1931, pp. 114-115.

⁷⁰ Simili 2010, p. 78.

di Losanna⁷¹. Dei due, egli fu il solo che in seguito poté rientrare nel mondo accademico italiano poiché invece Padoa, rimasto a Bologna e nascosto per un periodo dai frati dell'Osservanza, dopo essere stato arrestato dalle SS il 20 marzo del 1945, fu con ogni probabilità fucilato nell'eccidio di San Ruffillo⁷².

Come Levi, anche Alfredo Terni si salvò dalle persecuzioni antisemite rifugiandosi all'estero: docente della Scuola di ingegneria, in quella di Chimica portò avanti gli insegnamenti di Tecnologia del calore e di Metallurgia e metallografia fino al momento dell'espulsione, venendo poi reintegrato alla Facoltà di Ingegneria nel 1947⁷³. Maurizio Korach, a differenza di Levi e Terni, non attese la fine del conflitto per ritornare in Italia, infatti, dopo un periodo trascorso da esule in Svizzera e in Inghilterra, scelse di raggiungere quella che considerava la sua patria di adozione e si unì alla Resistenza⁷⁴. I profili biografici sin qui delineati, oltre che un omaggio alle singole persone, vogliono essere di riscontro ai positivi effetti generati dall'istituzione della Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna. Come si è potuto dimostrare, seguire le vicende di questo istituto e dei protagonisti che favorirono il suo sviluppo in seno all'Ateneo implica rivivere alcune delle pagine più buie del Ventesimo secolo ma anche, e soprattutto, assaporare la vitalità e l'intraprendenza di una realtà accademica nata per rispondere alle sfide poste dall'avanzamento tecnologico e dalla modernità. Le testimonianze che essa tramanda sono dunque preziosi tasselli in grado di ravvivare il dialogo con il passato, imprescindibile per tracciare consapevolmente la rotta da percorrere negli anni a venire.

Abbreviazioni in note di piè pagina e bibliografia: ASUB, Archivio Storico dell'Università di Bologna; DBI, *Dizionario biografico degli italiani* (Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma). Per tutti i siti web citati l'ultima consultazione risale al 31 gennaio 2020.

Bibliografia

- Albertazzi A. 1986, *Dallolio, Alberto*, in: DBI, vol. 32, s.v.
- Bernabeo R.A., Purcheddu G.B. 1996, *L'officina ortopedica*, in: Cioni A., Bertoli Barsotti A. M. (a cura di), *L'Istituto Rizzoli in San Michele in Bosco. Il patrimonio artistico del monastero e vicende storiche di cento anni di chirurgia ortopedica* (IOR, Bologna) pp. 243-249.
- Bettazzi M.B. 2016, *La Regia Scuola di Applicazione per gli Ingegneri a Porta San Mamolo*, in: Id., *Le Bologne possibili* (Centro stampa Regione Emilia-Romagna, Bologna) pp. 77-91.
- Bonino G.B. 1981, *Ciamician Giacomo*, in: DBI, vol. 25, s.v.
- Breccia Fratadocchi A., Pasquinelli A. 1990 (a cura di), *1737-1987 dalla cattedra di J. B. Beccari ai dipartimenti: 250 anni di chimica* (Lo Scarabeo, Bologna).

⁷¹ Natta 1955, p. 430. Cfr. Scorrano 2009, pp. 407-411.

⁷² L'ipotesi del suo trasferimento nel lager di Bolzano pare meno probabile. *Ci portano via. Da Bologna ai lager del Terzo Reich*, <http://www.ciportanovia.it/padoa-leone-maurizio>, e relativa nota bibliografica.

⁷³ Rinvio agli annuari e a Citti, Palombarini 2002.

⁷⁴ Trombetti, Magelli 2002, p. 116.

- Calascibetta F. 2013, *Giacomo Luigi Ciamician*, in: *Il contributo italiano alla storia del pensiero. Scienze* (Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma) pp. 619-622.
- Cappellano F., Di Martino B. 2006, *La guerra dei gas. Le armi chimiche sui fronti italiano e occidentale nella Grande Guerra* (G. Rossato, Valdagno).
- Cerruti L. 2005, *Levi, Mario Giacomo*, in: *DBI*, vol. 64, s.v.
- Cerruti L. 2013, *La chimica tra scienza e tecnologia*, in: *Il contributo italiano alla storia del pensiero. Scienze* (Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma) pp. 453-463.
- Ciardi M., Linguetti S. 2007 (a cura di), *Giacomo Ciamician. Chimica, filosofia, energia: conferenze e discorsi* (Bononia University Press, Bologna).
- Citti A., Palombarini G. 2002, *Alfredo Terni*, in: Mirri D., Arieti S. (a cura di), *La cattedra negata. Dal giuramento di fedeltà al fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna* (Clueb, Bologna) pp. 119-134.
- Citti A., Trombetti A. 2004 (a cura di), *Un ricordo ed un tributo al professor Maurizio Leone Padoa. Atti della Giornata della memoria, 27 gennaio 2004* (Clueb, Bologna).
- Crespi M., Gaudiano A. 1970, *Beccari, Jacopo Bartolomeo*, in: *DBI*, vol. 7, s.v.
- Da Mareto F. 1974 (a cura di), *Bibliografia generale delle antiche province parmensi*, vol. 2: *Soggetti* (Deputazione di storia patria, Parma) s.v. Mezzadrolì Giuseppe.
- Di Biase C. 1978, *Maurizio Korach (Marcello Cora), la Ronda e la letteratura tedesca* (Società editrice napoletana, Napoli).
- Farina M. 2014, *Jacopo Bartolomeo Beccari (1682-1777). Medico, fisico, chimico*, in: Centro studi Lazzaro Spallanzani (a cura di), *Nel nome di Lazzaro. Saggi di storia della scienza e delle istituzioni scientifiche tra il XVII e il XVIII secolo* (Pendragon, Bologna) pp. 181-206.
- Felisini D., Salsano F. 2016, *Puppini, Umberto*, in: *DBI*, vol. 85, s.v.
- Giacomo Ciamician a Bologna 2003* (Lo Scarabeo Editrice, Bologna).
- Girelli A. 2007, "Da Levi a Padoa. Origine e sviluppi della chimica industriale in Italia", *La chimica & l'industria*, LXXII, 7, 177-179.
- Guerraggio A., Nastasi P. 2010, *L'Italia degli scienziati: 150 anni di storia nazionale* (Bruno Mondadori, Milano).
- Guerraggio A. 2015, *La scienza in trincea. Gli scienziati italiani nella Prima guerra mondiale* (Cortina, Milano).
- Hertner P. 2006, *Il primato della chimica tedesca tra le due guerre e la sua eredità*, in: Pizzorni G. J. (a cura di), *L'industria chimica italiana nel Novecento* (Angeli, Milano) pp. 21-44.
- Jones S. 2015, *La grande guerra dei gas. Le tattiche e i materiali*, traduzione di F. Cardoni, illustrazioni di R. Hook (LEG, Gorizia).
- Karachalios A. 2001, *I chimici italiani di fronte al Fascismo. Il caso di Giovanni Battista Bonino (1899-1985)* (Istituto Gramsci Siciliano, Palermo).
- La chimica italiana all'inizio del secolo XX (le commemorazioni dei chimici defunti 1919-1928)*, pdf disponibile on line, <https://docplayer.it/53459595-La-chimica-italiana-all-inizio-del-secolo-xx-le-commemorazioni-dei-chimici-defunti.html>.
- Levi M.G. 1922, *Discorso inaugurale*, in: R. Scuola Superiore di Chimica Industriale, *Inaugurazione: atti costitutivi-organizzazione. Anno I 1921-1922* (Società tipografica già Compositori, Bologna) pp. 34-50.
- Levi M.G. 1926, *Prefazione*, in: *Annuario della R. Scuola superiore di Chimica industriale di Bologna. Anno accademico 1925-26 (V dalla fondazione)* (Società tipografica già Compositori, Bologna) pp. 3-8.

- Levi M.G. 1927-1938 (a cura di), *Studi e ricerche sui combustibili* (Associazione italiana di chimica generale ed applicata; Tipografia editrice Italia, Roma) 6 voll.
- Maiocchi R. 2003, *Gli scienziati del Duce. Il ruolo dei ricercatori e del CNR nella politica autarchica del Fascismo* (Carocci, Roma).
- Maiocchi R. 2013, *Il Fascismo e la scienza*, in: *Il contributo italiano alla storia del pensiero. Scienze* (Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma) pp. 548-555.
- Mezzadrolì G. 1932, *Curriculum vitae* (Società tipografica già Compositori, Bologna) (con bibliografia).
- Morando A.P. 2012, *Giuseppe Sartori*, in: Mesini E., Mirri D. (a cura di), *Scienza e tecnica nel Settecento e nell'Ottocento. La rivoluzione industriale vista dagli ingegneri* (Clueb, Bologna) pp. 541-572.
- Muggia A. 1922, *Le origini della R. Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna. Discorso del prof. ing. Attilio Muggia letto nell'Aula Magna della Biblioteca Universitaria di Bologna il 14 gennaio 1922* (Società tipografica già Compositori, Bologna).
- Natta G. 1955, "Commemorazione del socio Mario Giacomo Levi", *Rendiconti dell'Accademia Nazionale dei Lincei*, XVIII, 4, 427-437.
- Pizzorni G.J. 2006 (a cura di), *L'industria chimica italiana nel Novecento* (Angeli, Milano).
- Pizzorni G.J. 2006a, *Caratteri e sviluppi dell'industria chimica italiana nella prima metà del Novecento*, in: Id. (a cura di), *L'industria chimica italiana nel Novecento* (Angeli, Milano) pp. 45-62.
- R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1922, *Inaugurazione: atti costitutivi-organizzazione. Anno I 1921-1922* (Società tipografica già Compositori, Bologna).
- R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1926, *Annuario. Anno accademico 1925-26 (V dalla fondazione)* (Società tipografica già Compositori, Bologna).
- R. Scuola Superiore di Chimica Industriale 1931, *Annuario per gli anni accademici 1926-27, 1927-28, 1928-29, 1929-30, 1930-31, dalla fondazione anni VI, VII, VIII, IX, X* (Società tipografica già Compositori, Bologna).
- Reatti C. 2012, "La Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna raccontata attraverso il suo archivio", *Annali di storia delle università italiane*, XVI, 345-354.
- Scorrano G. 2009, *La chimica italiana (Chimici italiani, 628 biografie)*, Padova, www.soc.chim.it/sites/default/files/Chimici%20Italiani.pdf.
- Seccia G. 2005, *Gas. La guerra chimica sui fronti europei nel primo conflitto mondiale* (Nordpress, Chiari, BS).
- Seligardi R. 2003, *Il laboratorio di Chimica dell'Università di Bologna sotto la direzione di Giacomo Ciamician (1890-1921)*, in: *Giacomo Ciamician a Bologna* (Lo Scarabeo, Bologna) pp. 37-61.
- Semerano G. 2011, *La vita e l'opera di G. B. Bonino*, in: Breccia Fratadocchi A., Pasquinelli A. 1990 (a cura di), *1737-1987 dalla cattedra di J. B. Beccari ai dipartimenti: 250 anni di chimica* (Lo Scarabeo, Bologna) pp. 27-43.
- Signori E. 2011, *Tra Minerva e Marte. Università e guerra in epoca fascista*, in: Del Negro P. (a cura di), *Le università e le guerre dal Medioevo alla Seconda Guerra Mondiale* (Clueb, Bologna) pp. 153-172.
- Simili R. 2010, *Sotto falso nome. Scienziate italiane ebrei (1938-1945)* (Pendragon, Bologna).
- Società degli Ingegneri di Bologna 1917, *Progetto per l'istituzione della Scuola Superiore di Chimica Industriale presso la R. Università di Bologna e la R. Scuola d'Applicazione per gli Ingegneri in Bologna* (Cooperativa Tipografica Mareggiani, Bologna).
- Società italiana per la ceramica 1977, *Scritti di Maurizio Korach* (Faenza Editrice, Faenza).

- Taddia M. 2016 (a cura di), *Storia e fondamenti della chimica. Atti del XVI Convegno Nazionale, Rimini, 22-24 settembre 2015* (Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma) cap. *Chimica e Grande Guerra*, pp. 67-146.
- Trombetti A., Magelli F. 2002, *Maurizio Korach*, in: Mirri D., Arieti S. (a cura di), *La cattedra negata. Dal giuramento di fedeltà al Fascismo alle leggi razziali nell'Università di Bologna* (Clueb, Bologna) pp. 115-118.
- Zini M. 1987 (a cura di), *Jacopo Bartolomeo Beccari e la prima cattedra di chimica nel contesto dell'Istituto delle Scienze, Bologna, 3-4 dicembre 1987* (S. Vitale, Bologna).
- Zunino P.G. 2008 (a cura di), *Università e accademie negli anni del Fascismo e del Nazismo. Atti del Convegno internazionale, Torino (11-13 maggio 2005)* (Olschki, Firenze).

Giovanni Battista Bonino e la Scuola bolognese di Chimica-Fisica

Marco Taddia*

Un chimico che non è un fisico non è niente
Robert Wilhelm Bunsen

L'idea che i chimici non potessero fare a meno di una salda cultura fisica risale perlomeno alla metà del secolo XIX. Ne era convinto il tedesco Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899) colui che, insieme al fisico-matematico Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), fondò la moderna spettroscopia atomica analitica [1]. A Robert Bunsen, che si muoveva con pari competenze tra Chimica, Fisica, Geologia e Matematica, ma la cui musa ispiratrice fu la Fisica [2], si attribuisce l'asserzione piuttosto *tranchant*: "Ein Chemiker, der kein Physiker ist, ist gar nichts". Secondo alcuni, in realtà, si sarebbe espresso in maniera meno perentoria e avrebbe detto [3] "Un chimico che non conosce la fisica non è niente". Era proprio la prima frase che il chimico Giovanni Battista Bonino (Genova, 1899-1985), caposcuola della Chimica bolognese fece porre all'ingresso del suo laboratorio presso l'Istituto Chimico "Giacomo Ciamician", quasi come ammonimento rivolto agli interessati a far parte della sua Scuola. Luigi Rolla (1882-1960), citando questo particolare, la definiva di Fisica-Chimica [4].

Questo lavoro si prefigge di dimostrare come Bonino fu tra i primi, in Italia, a svolgere la propria attività didattica e scientifica avvalendosi di una robusta integrazione fra conoscenze fisiche, chimiche e matematiche, giungendo anche ad importare una nuova disciplina. Tratteggiandone la figura e l'opera si capirà perché divenne membro influente della comunità chimica nazionale ed esponente stimato di quella internazionale.

* Presidente del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica. Rappresenta la Società Chimica Italiana nel Working Party of the History of Chemistry EuCheMS. Già Professore di Chimica Analitica nella Facoltà di Chimica Industriale dell'Università di Bologna.

1. Una svolta nella Chimica bolognese

L'anno 1922 segnò un punto di svolta nella storia della Chimica bolognese non solo per la morte di Giacomo Ciamician, avvenuta il 2 gennaio, ma anche per l'inaugurazione della Scuola Superiore di Chimica Industriale (poi Facoltà), avvenuta il 24 dello stesso mese e da lui fortemente voluta [5]. La morte di Giacomo Ciamician, che era nato nel 1857 a Trieste, da famiglia di origine armena, ed era giunto a Bologna nel 1889 per occuparvi la Cattedra di Chimica all'Alma Mater, colpì profondamente non solo la comunità universitaria e la cittadinanza bolognese ma ebbe risonanza anche all'estero [6]. Il prestigio guadagnato da Ciamician con le ricerche sul pirrolo, quelle sulle sostanze organiche naturali e gli studi sistematici sull'azione chimica della luce [7] aveva rilanciato la Chimica bolognese in posizione di tutto rispetto in campo internazionale, dopo l'irrelevanza cui l'aveva condannata l'immobilismo degli anni precedenti. Se aggiungiamo che Ciamician, eccellente divulgatore e sostenitore della cooperazione fra le scienze, era stato consigliere comunale e senatore del regno, non è difficile capire perché la sua scomparsa lasciò un vuoto in città e tra gli studenti. Si era spento dopo lunga malattia e questa si era fatta sentire anche sulla conduzione dell'Istituto da lui diretto, ormai povero di mezzi e con una strumentazione carente ed antiquata. Immediatamente dopo la sua morte, la situazione peggiorò ulteriormente tant'è che alla biblioteca non giungevano nemmeno le riviste straniere. La Facoltà esitò a lungo sul modo di trovargli un successore, non sentendosi pronta a sceglierlo direttamente. Alla fine si decise di aprire un concorso nazionale e il vincitore fu Mario Betti (Bagni di Lucca, 1875 - Bologna, 1942) [8]. Egli accettò di trasferirsi da Genova a Bologna, nonostante la situazione sopraccennata, conscio delle difficoltà che lo aspettavano. Forse lo convinse anche la disponibilità, a breve scadenza, di una sede nuova per l'Istituto Chimico. Il predecessore l'aveva fortemente voluta ma purtroppo non fece in tempo a vederla.

Betti era stimato tra i chimici italiani per le ricerche inerenti i rapporti fra costituzione chimica e potere rotatorio. Si era formato a Pisa da Tassinari, poi era passato a Firenze indi a Cagliari, dove fece costruire il nuovo Istituto di Chimica Farmaceutica. Dopo la parentesi sarda lo troviamo a Siena, dove rimase per un decennio, ricoprendo anche importanti incarichi accademici [9]. A Genova giunse nel 1921, dove ebbe modo di incontrare il giovane Bonino. Evidentemente impressionato dalle qualità del giovane, gli propose di diventare suo assistente non appena si fosse liberato un posto. Bonino, all'epoca, aveva già un impiego in ambito industriale ma, attirato dalla fama di Betti, decise di accettare. Ebbe allora inizio un sodalizio tra i due che si protrasse fino alla morte di Betti. Scrisse Bonino: "vent'anni di comuni fatiche [...] avevano creato fra lui e me, fra il Maestro e l'Allievo, un profondo e reciproco legame di affetto che portava me a considerare Mario Betti con la tenerezza ansiosa e deferente che ha un figlio verso il padre" [10].

2. La carriera accademica di Bonino

Conclusi gli studi liceali, Giovanni Battista Bonino, nato a Genova il 3 maggio 1899, s'iscrisse al corso di laurea di Chimica Pura dell'Università di Genova ma pochi mesi dopo, a seguito della mobilitazione nazionale per la Prima Guerra Mondiale, fu chiamato alle armi e spedito al fronte. Congedato al termine del conflitto, riprese gli studi e si laureò con lode nel luglio 1920, discutendo una tesina in fisica e una tesi di chimica analitica [11]. Subito dopo la laurea iniziò a lavorare come chimico nella ditta di Andrea Bevilacqua, una fabbrica di prodotti chimici fondata nel 1872, che aveva la propria sede a Genova in via S. Fruttuoso, specializzata in vernici per modelli di fonderia e smalti per caloriferi. Era un posto di lavoro sicuro e ben remunerato, che spiega l'esitazione di Bonino nell'accettare la proposta di Betti. Lasciata la fabbrica, Bonino iniziò la carriera universitaria all'Istituto di Chimica Farmaceutica dell'Università di Genova. Nell'ottobre 1921 fu assunto come tecnico, poi divenne assistente di Chimica Farmaceutica (16 ottobre 1922) e rimase in quella posizione fino al 16 ottobre 1925, quando si trasferì a Bologna, raggiungendo Betti (Fig. 1) che aveva vinto la cattedra bolognese e iniziato la sua attività nell'anno accademico (a.a.) 1923-24. Da notare che Bonino aveva conquistato nel frattempo la libera docenza il 9 dicembre 1924.

Giunto a Bologna, fu nominato professore non stabile di Chimica-Fisica ed Elettrochimica presso la Scuola Superiore di Chimica Industriale, con decorrenza 1° gennaio 1927. A partire dal 1° gennaio 1927 divenne professore stabile. Passò poi alla



Figura 1. Mario Betti e Giovanni Battista Bonino all'Istituto "Giacomo Ciamician" di Bologna.

Facoltà di Scienze dove fu chiamato come straordinario di Chimica-Fisica a partire dal 1° novembre 1928. Divenne ordinario dal 1° gennaio 1930 ricoprendo la cattedra bolognese fino al 31 ottobre 1962, eccetto alcune parentesi, la più lunga delle quali durò dal 28 ottobre 1944 al 15 aprile 1946, quando si trasferì temporaneamente a Pavia. Tra il 1924 e il 1950 ricoprì diversi incarichi di insegnamento, dividendosi fra la Facoltà di Scienze, quella di Ingegneria e quella di Chimica Industriale. L'elenco è piuttosto lungo e comprende tra gli altri: Chimica-Fisica, Chimica Generale ed Inorganica, Chimica Teorica, Elettrochimica, Scienza dei Metalli.

Nel 1959 Bonino ottenne il trasferimento da Bologna a Genova, come professore di Chimica Applicata presso l'Istituto policattedra di Scienze Chimiche della Facoltà di Ingegneria. Collocato a riposo il 1° novembre 1974 per raggiunti limiti di età, ebbe la nomina a professore emerito con D.P.R. 7 febbraio 1975. Si spense nella città che gli aveva dato i natali il giorno 11 dicembre 1985.

3. Cariche ed onorificenze varie

Alla morte di Betti, avvenuta a Bologna il 13 maggio 1942, Bonino assunse la direzione dell'Istituto di Chimica "Giacomo Ciamician" e la mantenne fino al 28 ottobre 1944; la riprese poi dal 15 aprile 1946 al 31 ottobre 1959. Dall'a.a. 1942-43 al 28 ottobre 1944 e dal 15 aprile al 31 ottobre 1946 diresse anche l'Istituto di Chimica-Fisica. Ebbe anche la carica di Preside in tre Facoltà. Per quella di Farmacia nel periodo 1935-1941, per Chimica Industriale dal 1941 al 28 ottobre 1944 e infine, per Scienze MM.FF.NN. dal 15 febbraio 1947 al 1959.

Bonino esercitò importanti incarichi anche a livello nazionale. Oltre a presiedere il Comitato consultivo per le Scienze chimiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche, fu membro del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione, del Consiglio Superiore della Sanità, del Comitato scientifico consultivo dell'Istituto Superiore della Sanità, della Commissione nazionale dell'UNESCO e del Comitato di consulenza per l'assegnazione del premio Nobel. Diresse pure il Centro Studi di Chimica applicata, fisica ed idrologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Come componente del Consiglio Superiore della Pubblica Istruzione si occupò della riforma della laurea in Chimica.

L'elenco dei riconoscimenti che gli furono tributati per la sua attività scientifica, sia a livello nazionale che internazionale, è piuttosto lungo. Tra i più importanti: la medaglia Hoffmann della Gesellschaft Deutscher Chemiker, la medaglia Cannizzaro dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, la medaglia d'oro al merito della Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Parigi) e il Premio Mussolini del "Corriere della Sera" per le Scienze Fisiche, che gli fu consegnato in Campidoglio il 21 aprile 1937 [12]. Anni dopo ottenne la commenda dell'Ordine al Merito della Repubblica Italiana e la medaglia d'oro dei Benemeriti della scuola, della cultura, e dell'arte. Anche l'elenco delle Accademie e degli istituti scientifici che vollero annoverare Bonino fra i loro mem-

bri è piuttosto nutrito. Fece parte, ad esempio, della Pontificia Accademia delle Scienze, dell'Accademia Nazionale dei Lincei e fu socio dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Due Università gli conferirono la laurea *honoris causa*.

4. Le ricerche di Bonino

Nel 1921 pubblicò il suo primo articolo scientifico sulla Gazzetta Chimica Italiana [13]. Derivò dall'osservazione che “spappolando” del cloruro d'argento in una soluzione di ferrocianuro potassico, l'alogenuro perdeva i suoi caratteri esteriori e la fotosensibilità mentre così non accadeva per bromuro e ioduro. Descriveva pertanto una serie di prove condotte al fine di spiegare il fenomeno, si spingeva a darne una sommaria interpretazione, rimandava alla teoria dei complessi di Werner¹ per l'eventuale approfondimento ma soprattutto accennava alla possibilità che si potesse sfruttare la reazione per il riconoscimento dei cloruri. Ben presto, tuttavia, gli interessi di Bonino virarono in tutt'altra direzione.

Per una sintesi dei suoi indirizzi di ricerca è utile rifarsi ad un elenco di titoli che lo stesso Bonino compilò in occasione di un concorso per professore non stabile a Pisa, bandito nel 1926. A parte le cosiddette “ricerche varie” vi compaiono, documentate da articoli su riviste e periodici:

- ricerche di spettrochimica nell'ultravioletto;
- ricerche sulle moderne teorie delle soluzioni;
- ricerche di meccanica statistica chimica;
- ricerche sulla radioattività e sulle acque minerali;
- ricerche chimico-fisiche sulle proteine e sui fermenti.

Le radici dell'interesse di Bonino per la spettrochimica nell'ultravioletto, traevano linfa dall'impressionante sviluppo della Fisica degli anni '20 che, come ricorda l'allievo Carassiti [14], “aprivano una visione nuova del microcosmo degli atomi e delle molecole”. Basti accennare qui alla meccanica ondulatoria e alla teoria quantistica. Bonino, primo in Italia, cominciò a occuparsi di spettroscopia ultravioletta quando ancora si trovava a Genova. Le apparecchiature, all'epoca, erano rudimentali e l'ottenimento degli spettri di assorbimento era un'operazione alquanto laboriosa, tant'è che in pochi, al mondo, se ne occupavano. Ci voleva molta pazienza e, come raccontò lo stesso Bonino in una conferenza tenuta presso l'Istituto Superiore di Sanità:

Allora le ricerche nell'ultravioletto erano ingrato e difficili. Le apparecchiature di cui si disponeva erano apparecchiature veramente isteriche e tremendamente lente. Occorrevano ore e ore di misure per poter esplorare una banda: occorrevo eroismi

¹ Alfred Werner (1866-1919).

di pazienza e di abilità sperimentale per arrivare a risultati che, alla luce delle possibilità attuali, possono sembrare modesti, discutibili e qualche volta ingenui [15].

L'ingente lavoro pionieristico di Bonino, compiuto in tali condizioni, venne riconosciuto nella prima rassegna italiana dedicata all'argomento che ne citava i lavori pubblicati tra il 1923 e il 1926 dalla Gazzetta Chimica [16]. Ne troviamo ben 13 nel giro di tre soli anni: 4 nel 1923, 3 nel 1924, 3 nel 1925 e 3 nel 1926. Per comprendere l'importanza dei lavori di Bonino, basti pensare che il primo spettrografo IR concepito per uso industriale entrò in Italia nel dicembre 1948, acquistato dalla Società Montecatini per il suo Istituto di Novara [17]. Il ciclo principale delle ricerche di Bonino nel campo della spettrochimica nell'ultrarosso si concluse nel 1929 con un lavoro pubblicato sullo *Zeitschrift für Physik* [18]. Nello stesso anno fu invitato a Bristol dal segretario generale della Faraday Society per il convegno "Molecular Spectra and Molecular Structure". Due relazioni colpirono particolarmente Bonino: quella di Lennard Jones sugli orbitali molecolari e quella di Sir Chandrasekhara Ventaka Raman (Fig. 2) sull'effetto che porta il suo nome e che scoprì nella primavera del 1928. Non appena quella scoperta venne resa nota, Bonino, che ne aveva capito l'importanza, colse immediatamente la palla al balzo e nel 1929 pubblicò ben sei lavori sulle sue applicazioni [19]. Li firmò in collaborazione con il chimico ungherese Laszlo Brull, esule in Italia dal 1924 per sfuggire alla persecuzione antiebraica, poi espulso anche dal nostro Paese in conseguenza delle leggi razziali [20]. Il primo articolo di Bonino



Figura 2. Giovanni Battista Bonino accanto a Sir Chandrasekhara Ventaka Raman sui gradini dell'Istituto di Chimica di Bologna nel settembre del 1959. Raman era venuto a Bologna in occasione dell'European Congress on Molecular Spectroscopy (EUCMOS) (per gentile concessione del Prof. Carlo Castellari).

e Brull sulle applicazioni dell'effetto Raman riguardava gli spettri degli idrocarburi alogenati [21]. Alla serie di lavori Bonino-Brull ne seguì perlomeno un centinaio, in collaborazione con vari esponenti della sua Scuola (Cella, Manzoni-Ansidei, Rolla, Lucchi, Scrocco, Chiorboli, Marinangeli e altri).

Un altro filone di ricerca che attirò l'attenzione di Bonino fu la moderna teoria delle soluzioni, cui Peter Debye e Erich Hückel avevano dato un contributo decisivo nel 1923. Tre anni dopo Bonino pubblicò tre note sui coefficienti di attività, dirette ad integrare la teoria di Debye-Hückel.

Un ruolo importante nell'evoluzione del pensiero di Bonino ebbero i viaggi di studio che intraprese dal 1931 al 1934 in vari Istituti europei, stabilendo rapporti con chimici, fisici e chimico-fisici, specialmente tedeschi. Ciò lo portò a rivedere criticamente i metodi della Chimica Organica classica, ad applicare estensivamente il metodo degli orbitali molecolari e a ricorrere alla teoria dei gruppi per giungere a definire la struttura dei composti aromatici. Il risultato fu la proposta di una formula del benzene, riportata per la prima volta nel 1933 in una Memoria dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna [22]. L'anno dopo, al Congresso di Chimica Pura che si tenne a Madrid in aprile, Bonino oltre agli studi sistematici condotti con la spettroscopia Raman propose, in un contesto internazionale, anche la sua formula [23]. Poco dopo essa apparve anche sulla Gazzetta Chimica Italiana [24]. Partendo da considerazioni quantomeccaniche, Bonino riteneva che la disposizione degli elettroni del benzene fosse meglio rappresentabile con una grafia costituita da tre frecce che dal centro dell'anello puntavano verso tre atomi alterni di carbonio (1, 3, 5 per esempio) carichi negativamente. Questa rappresentazione era posta in contrapposizione con l'altra analoga, avente le frecce rivolte verso i restanti tre atomi (2, 4, 6). Ovviamente le due forme, che rappresentavano due tipi alterni di stati polari, avevano lo stesso peso [25]. A questo punto occorre dire, francamente, che la formula di Bonino convinse pochi e che, specialmente all'estero, ebbe scarsa fortuna. Lo stesso dicasi per altri studi di Bonino che erano penalizzati dal fatto che pubblicasse soprattutto su riviste italiane.

Ci sarebbe altro da dire anche sulle "ricerche varie" di Bonino ma per ragioni di spazio si rimanda ai lavori già pubblicati, più volte citati. Un cenno tuttavia lo meritano i primi studi sulla Fotochimica dei complessi metallici di transizione (con gli allievi Carassiti, Chiorboli, Tedeschi, Chilesotti) e anche quelli sulle proprietà delle acque minerali (con Carassiti, Claudì, Bertoluzza, Moggi).

In ambito italiano la Scuola bolognese di Chimica-Fisica guidata da Bonino godeva di notevole prestigio. In una relazione tenuta da Luigi Rolla alla riunione della SIPS (Società Italiana per il Progresso delle Scienze) che si tenne a Venezia nel 1937, i contributi di Bonino e della sua Scuola vennero ampiamente citati. Anche il suo discorso tenuto alla Sezione Ligure dell'Associazione Italiana di Chimica, dove sottolineava l'importanza dello studio quantomeccanico delle molecole, delle loro simmetrie, dei livelli eccitati e della simmetria delle autofunzioni elettroniche dei metalli, volto a dimostrare che "la ricerca del teorico in questo campo, può avere un altissimo valore come quello dello sperimentatore" venne citato da Rolla [26].

Questi aggiunse un'interessante considerazione:

I lavori di Chimica organica teorica che si fanno alla scuola di Bologna sono da annoverarsi, a vero dire, fra quelli di Fisica chimica, che nel linguaggio abituale si differenzia da quella tradizionale dando al vocabolo chimica il significato di aggettivo. Di questa nuova scienza, che ha tanti autorevoli cultori oltr'alpe e oltremare, i capitoli che riguardano gli spettri molecolari sono i più suggestivi, insieme con quelli che si propongono problemi cinetici [27].

Molti anni dopo la morte di Bonino si può affermare che la sua visione era assai lungimirante. La stretta connessione tra Fisica e Chimica si affermò sempre più e le discipline collegate trovarono nuovi cultori tra i chimici bolognesi appartenenti sia alla Facoltà di Chimica Industriale che a quella di Scienze. Il risultato fu la creazione di gruppi di ricerca, tuttora attivi, che hanno raggiunto un considerevole prestigio in Italia e all'estero.

5. Collaborazioni industriali e rapporti con il regime fascista

Bonino diresse per circa 10 anni il Centro Ricerche Metallografiche Breda e fu Consigliere Amministrativo della Caffaro dal 1940 al 1960. Fu proprio l'incarico in Breda che dopo la caduta del Fascismo gli procurò qualche guaio con la Commissione di Epurazione. A tal proposito Flamigni, autore di un ampio resoconto su quegli avvenimenti, scrive:

Giovanni Battista Bonino [...] si trovava, nei giorni della Liberazione, all'Università di Pavia da oltre un anno, ove offriva 'la propria opera di scienziato in favore della S.A. Breda, i cui stabilimenti lavoravano per i tedeschi'. Gli epuratori aggiunsero che non protestò al Senato accademico del 4 dicembre 1943 contro l'o.d.g. Coppola e che aveva preso parte alla guardia d'onore alla Mostra della rivoluzione fascista. Bonino si discolpò affermando di non essersi mai iscritto al Pfr, di non aver mai ricevuto qualifiche fasciste e di non aver mai ricoperto alcuna carica politica durante gli anni del regime. [...] Il Consiglio di Facoltà di Chimica dell'Università di Bologna si impegnò nel suo reintegro e lo riassunse in servizio per l'a.a. 1946-47 [28].

Sui rapporti di Bonino con il regime ha scritto ampiamente e in maniera ben documentata Andreas Karachalios [29]. Tali rapporti vanno interpretati alla luce del suo sodalizio con il maestro Mario Betti, decorato con fascia littoria, il quale resse per dodici anni, in qualità di Fiduciario, la Sezione bolognese dell'Associazione Fascista della Scuola e nel 1939 ottenne la nomina a Senatore. È probabile che gli stretti legami di Betti, e di riflesso quelli di Bonino, con il regime fascista abbiano contribuito alla crescita della Scuola bolognese anche in termini di supporto finanziario e che la creazione

dell'Istituto di Chimica-Fisica abbia favorevolmente risentito di questo allineamento alle posizioni del regime.

Occorre aggiungere tuttavia che Bonino, se aderì al regime mosso da conformismo come tanti altri, conservò la bontà d'animo che faceva parte del suo carattere. Abbiamo infatti una testimonianza diretta che all'entrata in vigore delle leggi razziali Bonino si adoperò silenziosamente per aiutare colleghi discriminati come, ad esempio, il fisico Giorgio Todesco. A tal proposito, il figlio Paolo Edgardo ha scritto: "Solo pochi coraggiosi non ruppero i rapporti con noi, dal prof. Giobatta Bonino, accademico del regno e fascista dichiarato, che però ci aiutò più volte in momenti difficili, al dott. Della Monica, direttore della Casa Editrice Zanichelli [...]" [30].

6. Didattica innovativa

Nel plico contenente i titoli didattici presentati al medesimo concorso di cui si è parlato prima, era presente una relazione in cui Bonino cercava di mettere in evidenza la novità dei metodi e dei modi di pensare che aveva introdotto nelle sue Lezioni di Chimica-Fisica. Come ha spiegato bene Karachalios [31], Bonino trattava distintamente, in due anni separati, il punto di vista termodinamico da quello cinetico-statistico. Deduceva le leggi di cinetica chimica dalla meccanica statistica e tentava di introdurre un metodo che spiegava le leggi generali dell'equilibrio chimico sulla base dei principi della meccanica statistica. Su questa linea Bonino ci teneva a distinguersi da Autori stranieri, come il tedesco Arnold Eucken (1884-1950), che nei loro corsi intrecciavano il punto di vista termodinamico con quello cinetico-statistico. Pare che non tutta la Commissione gradisse questa impostazione che, tra l'altro, richiedeva ottime conoscenze del calcolo differenziale ed integrale. Per quanto riguarda i suoi rapporti con gli studenti, l'allievo Carassiti lo definiva un "comunicatore affascinante" [32], mentre altri ricordano che al termine delle lezioni si intratteneva a lungo con loro discorrendo di svariati argomenti. Tra l'altro è il caso di ricordare che Bonino era uomo di ampia cultura, anche musicale; suonava l'armonium e alternava gli studi e l'attività accademica con l'esecuzione della musica di Bach.

7. Gli allievi

Si è calcolato che dei numerosi allievi di Bonino almeno 25 abbiano vinto una cattedra universitaria e molti altri si siano inseriti, con grado equivalente, in istituti o enti di ricerca, mentre altri ancora siano passati all'Industria occupando posizioni di rilievo [33].

Fra i principali allievi ricordiamo: Mario Rolla (1911-1980), Eolo Scrocco (1916-2012), Camillo Dejak (1923), Paolo Chiorboli (1924-2005), Vittorio Carassiti (1922-2001), Paolo Mirone (1926-2012), Anna Maria Marinangeli (1922-2017), Oriano Salvetti (1924-2007), Alessandro Bertoluzza (1933-1999).

8. Una caduta di stile?

Nel 1939 venne pubblicato oltreatlantico un libro di Chimica che fece epoca e che divenne immediatamente un classico. Era di Linus Pauling (1901-1994), uno scienziato che vincerà addirittura due premi Nobel, uno per la Chimica (1954) e l'altro per la Pace (1962). Il libro s'intitolava: "The Nature of the Chemical Bond and the Structure of Molecules and Crystals". La sua influenza fu enorme al punto che, anche di recente, si è discusso a livello internazionale il suo recepimento in vari Paesi. La seconda edizione americana uscì l'anno dopo, mentre per la prima versione italiana, ricavata da questa, fu necessario attendere la fine della Seconda Guerra Mondiale. La traduzione, opera di Eugenio Mariani (1912-2005), già collaboratore di Bonino, venne pubblicata a Roma nel 1949, con la prefazione dello stesso Bonino. Fu "arricchita" da un ampio corredo di note in corsivo, assenti da quella americana, il cui contenuto risente dello spirito autarchico vigente nel ventennio fascista e riecheggia l'idea di primato italiano in termini quasi imbarazzanti per la sensibilità contemporanea. Secondo il traduttore, esse avevano essenzialmente lo scopo di accennare ai principali contributi apportati, fino al 1945, da ricercatori italiani alla materia oggetto del volume. Va detto però che si trattava prevalentemente di contributi provenienti dalla Scuola bolognese e la cui insistente citazione rivelava un eccesso di protagonismo da parte degli interessati [34]. Tale episodio contrasta con quanto riportato dall'allievo Carassiti [35]:

Bonino aveva l'orgoglio di scienziato, ma sempre sotto un ferreo controllo di stile che ne faceva un comunicatore affascinante. Lontano dalla presunzione, ad es. di Ostwald; o dall'egocentrismo vanitoso di Pauling, che del resto era parte del suo charme. Lontano dalla suprema autoconsiderazione di Raman [...].

A chi non l'ha conosciuto di persona non resta che aggiungere di aver trovato conferma del fatto che: "La biografia è un sistema nel quale le contraddizioni della vita umana trovano la loro unità"².

9. Conclusioni

Questo lavoro dimostra che per circa quarant'anni le vicende della Chimica bolognese, e in particolar modo del ramo legato alla Facoltà di Scienze MM.FF.NN., non possono essere disgiunte dalla figura e dalle scelte di Giovanni Battista Bonino. La prima fase della sua vita accademica lo vide accanto a Mario Betti, promotore del rilancio e della modernizzazione dell'attività di ricerca bolognese dopo il declino che aveva contrassegnato l'ultimo periodo della carriera di Giacomo Ciamician. Alla

² Dal filosofo e scrittore spagnolo José Ortega y Gasset (Madrid, 1883-1955).

morte di Betti, Bonino lo sostituì, dando vita ad una Scuola che rappresentava per l'Italia una novità culturale di alto livello. Fu per anni un centro di riferimento per i nuovi metodi della Chimica Organica, possiamo dire d'importazione, strettamente legati alla Fisica. A Bonino e alla sua Scuola si può attribuire il merito di aver aperto la strada in Italia alla Chimica quantistica. Pionieristici furono i suoi studi nel campo della spettroscopia ultrarossa e Raman applicati alle molecole organiche, compiuti con pochi mezzi e strumenti artigianali che richiedevano una pazienza fuori dal comune per ottenere qualche risultato. Le sue ricerche non ebbero all'estero la risonanza che ebbero in Italia, anche perché pubblicate soprattutto in lingua italiana. Detto ciò, non c'è dubbio che la mole di dati sperimentali prodotti dalla Scuola costituirono la base delle innovazioni che Bonino introdusse in Italia nello studio della Chimica Organica, mettendo il nostro Paese al passo con quelli più evoluti.

Bibliografia

- [1] Marco Taddia, "La figura e l'opera di Robert Bunsen", *La Chimica e l'Industria*, 82 (2000) 451-458.
- [2] Alan Hirshfeld, *Starlight Detectives: How Astronomers, Inventors, and Eccentrics Discovered the Modern Universe* (Bellevue Pub., New York, 2014).
- [3] Michael G. Gordin, "The Heidelberg Circle: German Inflections on the Professionalization of Russian Chemistry in the 1860s", *Osiris*, 23 (2008) 23-49.
- [4] Luigi Rolla, *I risultati ottenuti in Italia, nel campo della Chimica generale, organica e inorganica, industriale e applicata, durante l'anno XV E.F.*, in: Atti della XXVI Riunione SIPS, Venezia, 12-18 settembre 1937, a cura di Lucio Silla, vol. 2, fasc. 2 (Società Italiana per il Progresso delle Scienze, Roma, 1938) pp. 314-324.
- [5] <https://archiviostorico.unibo.it/it/patrimonio-documentario/fondo-chimica-industriale>.
- [6] T.E. Thorpe, "Prof. Giacomo Ciamician", *Nature*, 109(2730) (1922) 245-246.
- [7] Marco Taddia, "Lo sguardo oltre il confine", *Sapere*, agosto 2007, 44-49.
- [8] Andreas Karachalios, *I chimici di fronte al fascismo – Il caso di Giovanni Battista Bonino (1899-1985)* (Istituto Gramsci Siciliano, Palermo, 2001).
- [9] http://www.archiviostorico.unibo.it/System/27/544/betti_mario.pdf.
- [10] Giovanni Battista Bonino, *Mario Betti: 21 marzo 1875 - 13 maggio 1942: commemorazione letta nell'Aula magna della Università il giorno 9 gennaio 1943* (Tip. Compositori, Bologna, 1943).
- [11] Andreas Karachalios, *I chimici di fronte al fascismo* cit., p. 22.
- [12] https://www.lincci.it/sites/default/files/documenti/Archivio/Inventario_Reale_Accademia_d'Italia.pdf.
- [13] Giovanni Battista Bonino, "Azione del ferrocianuro di potassio sugli alogenuri d'argento", *Gazz. Chim. Ital.*, Parte II (1921) 261-265.
- [14] Vittorio Carassiti, *Giovanni Battista Bonino 1899-1985: un protagonista della rivoluzione chimica del Novecento*, in: Atti VIII Convegno di Storia e Fondamenti della Chimica, Arezzo, 28-30 ottobre, 1999, *Rend. Accad. Naz. Sci.*, ser. V, vol. XXIII (1999) 265-283.
- [15] Giovanni Battista Bonino, *Lo spettro ultra-rosso nell'indirizzo moderno della ricerca scientifica in chimica e biologia*, in: Rendiconti Istituto Superiore di Sanità (Fondazione Paternò, Roma, 1956) p. 9.

- [16] Luciano Bologna, “Primi contatti con la moderna spettrografia nell’infrarosso”, *La Chimica e l’Industria*, 32(8) (1950) 380-387.
- [17] Luciano Bologna, op. cit., p. 380.
- [18] Giovanni Battista Bonino, “Bemerkungen über da Ultrarot spektrum einiger Halogenverbindungen”, *Z. Phys.*, 54 (1929) 803.
- [19] Giovanni Battista Bonino, Giovanni Semerano, Alessandro Bertoluzza, *La spettroscopia Raman (e U.R.) a Bologna, presso l’Istituto Chimico “G. Ciamician”* (Elenco pubblicazioni 1923-1969) (Istituto di Chimica Generale “Giacomo Ciamician”, Università di Bologna, 1976).
- [20] Antonio di Giacomo, “Quando l’Ateneo fascista di Bari espulse i prof e gli studenti ebrei”, *La Repubblica*, 26 gennaio 2018.
- [21] Giovanni Battista Bonino, Laszlo Brull, “Studi sull’effetto Raman. I. Sullo spettro di alcuni idrocarburi alogenati”, *Gazz. Chim. Ital.*, 59 (1929) 643.
- [22] Giovanni Battista Bonino, “La struttura dei nuclei (molecolari) con carattere aromatico”, *Mem. Accad. Sci. Bologna*, 10(25) (1933).
- [23] Giovanni Battista Bonino, *Lo spettro Raman dei nuclei aromatici e nuove idee sulla loro costituzione*, IX Congreso Internacional de Química Pura y Aplicada, Madrid, aprile 1934.
- [24] Giovanni Battista Bonino, “Sulla costituzione molecolare del benzolo”, *Gazz. Chim. Ital.*, 65 (1935) 371.
- [25] Eolo Scrocco, “Giovanni Battista Bonino”, *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei Cl. Sci. Fis. Mat. Natur. Rend. Lincei Mat. Appl.*, Ser. 8, 80, n. 6 (1986) 473-485.
- [26] Luigi Rolla, *I risultati ottenuti in Italia* in: *Atti della XXVI Riunione SIPS* cit., p. 304.
- [27] Luigi Rolla, *I risultati ottenuti in Italia* in: *Atti della XXVI Riunione SIPS* cit., p. 314.
- [28] Mattia Flamigni, “Il processo epurativo all’Università di Bologna”, *Annali di Storia delle Università Italiane*, 17 (2013) 455-473.
- [29] Andreas Karachalios, *I chimici italiani di fronte al fascismo* cit., p. 62.
- [30] Paolo Edgardo Todesco, “Il mondo intellettuale e la persecuzione razziale”, *La Chimica e l’Industria*, 85 (2003) 67-68.
- [31] Andreas Karachalios, *I chimici italiani di fronte al fascismo* cit., p. 62.
- [32] Vittorio Carassiti, *Giovanni Battista Bonino 1899-1985: un protagonista della rivoluzione chimica del Novecento* cit., p. 279.
- [33] Eolo Scrocco, “Giovanni Battista Bonino”, in: *Atti della Accademia Nazionale dei Lincei Cl. Sci. Fis., Mat. Natur. Rend. Lincei Mat. Appl.* cit., p. 484.
- [34] Marco Taddia, “Le note italiane a un classico di Pauling: una storia imbarazzante”, *La Chimica e l’Industria*, 97(1) (2015) 58-61.
- [35] Vittorio Carassiti, *Giovanni Battista Bonino (1899-1965): un protagonista della rivoluzione chimica del Novecento* cit., p. 279.

Angelo Mangini: innovazione e respiro internazionale per la Facoltà di Chimica Industriale

Alfredo Ricci, Paolo Zani***

1. Introduzione

Questo capitolo vuol essere un contributo alla figura del Professor Angelo Mangini, uno dei grandi Maestri della Chimica bolognese, ed al ruolo da Lui svolto a partire dagli anni del dopoguerra.

Tuttavia prima di entrare nel vivo di quello che è stato il contributo della sua attività nell'ambito della Facoltà di Chimica Industriale, desideriamo tracciare brevemente il percorso variegato che ha condotto Mangini (Fig. 1) nella Facoltà di Chimica Industriale dell'Università di Bologna [1a, b] soprattutto ad uso delle generazioni che di Lui hanno forse, a volte, sentito soltanto il nome.

Nato a Mola di Bari nel 1905, studia all'Istituto Tecnico Fisico-Matematico di Arezzo e quindi compie i primi studi Universitari a Torino per poi trasferirsi a Roma dove si laurea in Chimica nel 1927. Nello stesso anno, ritorna a Torino come assistente volontario presso il Politecnico dove consegue una seconda laurea, questa volta in Chimica Industriale. Dopo un breve periodo trascorso presso l'Università di Bari collaborando con Ciusa, un Chimico Farmaceutico, Mangini si trasferisce a Perugia per lavorare al fianco di Cesare Finzi, anche lui ordinario di Chimica Farmaceutica, e successivamente con Felice De Carli, che l'Università di Perugia aveva appena chiamato sulla cattedra di Chimica Generale.

Quando nel 1938 De Carli viene chiamato alla cattedra di Chimica Industriale dell'Università di Bologna, Mangini lo segue come assistente; due anni dopo, nel 1940, Mangini, vincitore di concorso, copre la cattedra di Chimica delle Sostanze Coloranti presso la Facoltà di Chimica Industriale. Successivamente al trasferimento di De Carli a Roma, Mangini passa alla Direzione dell'Istituto di Chimica Industriale dove ricopre

* Già Professore di Chimica Organica presso la Facoltà di Chimica Industriale, Università di Bologna.

** Ricercatore all'Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari".

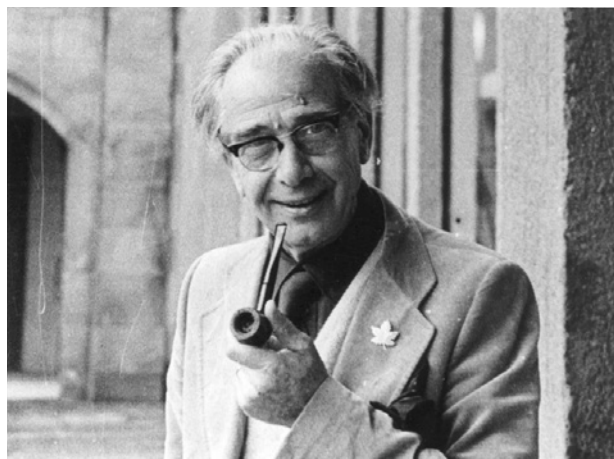


Figura 1. Il Professor Angelo Mangini.

negli anni che seguono le cattedre di Chimica Industriale, Chimica Organica e Chimica Organica Superiore fino al 1978, anno del suo ritiro.

Questa esposizione iniziale del giovane Mangini ad ambiti culturali diversi che andavano dalla Chimica Generale alla Farmaceutica, dalla Chimica Organica alla Chimica Fisica, contribuirà indubbiamente a consolidare quella larghezza di vedute in campo scientifico che lo accompagnerà per tutto il suo lungo e proficuo percorso accademico-scientifico.

2. Il periodo bellico ed il dopoguerra

Le traversie della guerra che intanto era scoppiata lo colgono nel pieno delle sue responsabilità istituzionali e di una fervida attività di ricerca che non abbandonerà mai, anche a costo di rischi non indifferenti.

A Bologna l'incontro con un grande chimico, il Professore Gian Battista Bonino, la cui figura viene ampiamente trattata nel capitolo del Professor Taddia, contribuisce a creare quel sodalizio che si protrarrà nel tempo e che li vedrà protagonisti in circostanze che segneranno per sempre l'avanzamento della Chimica bolognese. A Bologna, dove Giacomo Ciamician aveva da tempo intuito che nella spettroscopia si doveva trovare uno strumento potente per l'interpretazione dei fenomeni chimici, Mangini contagiato dall'amico Bonino, si infiamma di entusiasmo per la spettroscopia nella quale per tanti anni si immergerà perdutamente.

L'applicazione della teoria della sostituzione di Bonino all'anello benzenico e lo sviluppo dello schema a triplice freccia [2] con il quale si spiegano le implicazioni che gli elettroni hanno nella formazione di nuove sostanze aromatiche affascina Angelo Mangini. Questi concetti, pionieristici per l'epoca, accompagneranno e costituiranno per il giovane Angelo Mangini uno stimolo ad accettare e proporre nuove sfide scientifiche per tutto il prosieguo della sua lunga vita accademica e lo proietteranno personal-

mente, e successivamente attraverso i suoi allievi, verso la creazione di solide relazioni scientifiche in campo internazionale.

L'immediato dopoguerra vede Angelo Mangini proteso nell'immane sforzo di riordinare l'Istituto di Chimica Industriale e nel reperimento dei mezzi per farlo rivivere e potenziarlo. Quasi parallelamente alla nascita del sodalizio con Bonino si realizzano i primi contatti con la scuola anglosassone e la duratura amicizia con Sir Christopher Ingold (1893-1970) dello University College of London, amicizia questa che tanta importanza dovrà avere nell'affinare e nel completare la personalità scientifica del Maestro. È questo il primo tassello di quella che sarà una serie di eventi e di iniziative che daranno alla Facoltà di Chimica Industriale un respiro internazionale che durerà fino ai tempi odierni.

La Chimica Italiana aveva sofferto terribilmente durante la guerra ma, grazie al piano Marshall ed all'aiuto di Ingold, Angelo Mangini riesce a dotare l'Istituto di Chimica Industriale di una considerevole dote di attrezzature ivi inclusi i primi apparecchi automatici per la spettroscopia. È in quegli anni che inizia la prima di una numerosa serie di collaborazioni con prestigiose Università straniere. Nel Chemistry Department dello University College of London Giorgio Modena, destinato a diventare uno degli allievi prediletti del Maestro, trascorre un periodo nel 1947 collaborando con il professor Vernon dopo la discussione della sua tesi di laurea basata sull'applicazione dello schema a freccia tripla di Bonino [2] alla comprensione degli spostamenti elettronici nei composti etero aromatici (Fig. 2).

I frequenti viaggi che Angelo Mangini effettua insieme a Riccardo Passerini presso l'Istituto di Matematica di Oxford diretto da Charles Alfred Coulson, consentono inoltre a Carlo Zauli, un discepolo "non organico" di Angelo Mangini, di entrare negli anni successivi in contatto con Coulson e Craig e di introdurre a Bologna la Chimica quantistica. Ha inizio così una tradizione che continuerà ben oltre gli anni '70 coinvolgendo molti altri allievi delle generazioni successive.

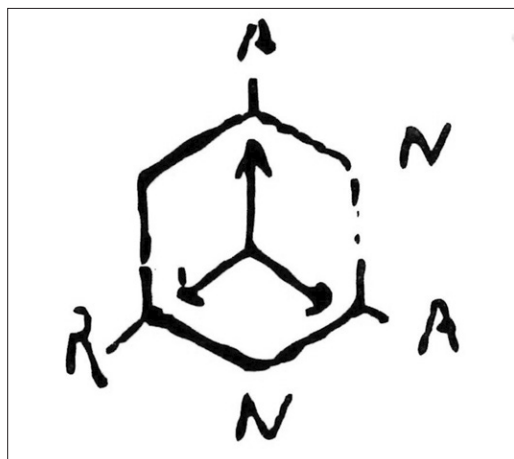


Figura 2. Esempio dello schema a freccia tripla disegnato da Angelo Mangini, che costituì l'impostazione della tesi di Laurea di Giorgio Modena sulle pirimidine (1946-47).



Figura 3. Il Professor Mangini legge la proposta di conferimento di Laurea Honoris Causa al professor Arne Tiselius.

La forte tendenza verso un respiro internazionale della Chimica Bolognese che accomuna Bonino e Mangini la si riscontra anche nel conferimento di Lauree “Honoris Causa” ad eminenti scienziati stranieri: da parte di Bonino, su impulso di Mangini, la Laurea in Chimica a Ingold nel 1951 e da parte di Angelo Mangini nel 1953 la Laurea in Chimica Industriale ad Arne Tiselius (1902-1971) dell’Università di Uppsala, Premio Nobel per la Chimica nel 1948 e Presidente della IUPAC dal 1951 al 1955 (Fig. 3).

Nel 1951 il Professor Angelo Mangini compie il suo primo viaggio negli Stati Uniti d’America per partecipare, quale membro effettivo della IUPAC in rappresentanza dell’Italia e in sostituzione di Bonino, insieme ad altri Maestri della Chimica Italiana (Nasini, Quilico ed altri), al World Chemical Conclave che si tiene al Waldorf Astoria di New York, appunto sotto la direzione di Tiselius. È questo un meeting la cui importanza travalica i contenuti puramente scientifici in quanto assumono una rilevanza non secondaria aspetti economici e politici, tanto per citarne uno il reinserimento a pieno titolo della Germania del dopoguerra nell’ambito della cooperazione USA-EUROPA. La presenza a questo evento dei maggiori rappresentanti della Scuola Italiana di Chimica assume pertanto una particolare importanza per quelli che saranno i futuri rapporti internazionali.

3. Gli anni della crescita

Gli anni successivi vedono Angelo Mangini infaticabile organizzatore e protagonista in primo piano di congressi quale quello internazionale di Spettroscopia Molecolare tenutosi a Bologna nel 1959 [3], e di meeting dove si dibattono idee nuove e dove si dischiudono nuovi orizzonti della scienza.

La Facoltà di Chimica Industriale, nata nel 1935 come trasformazione dal precedente Istituto/Scuola superiore di Ingegneria Chimica e Chimica Industriale, e di cui Angelo Mangini sarà Preside per ben 23 anni, dal 1944 al 1946 e poi dal 1948 fino al 1969, vive una vita frenetica. Con una popolazione studentesca che ammonta a 200 iscritti all'anno, si verifica la necessità di nuovo personale e di nuovi laboratori per la Chimica Industriale Organica ed Inorganica. La Facoltà subirà negli anni una crescita equilibrata in cui avranno ampio spazio settori disciplinari diversi dalla Chimica Organica quali la Chimica Fisica, Inorganica, Industriale, la Metallurgia e successivamente l'Analitica. Docenti provenienti da prestigiose Scuole della Chimica Italiana (Luciano Caglioti, Umberto Belluco, Sergio Carrà) transitano per periodi variabili presso la Facoltà, mentre diventeranno membri effettivi della Facoltà stessa docenti di varie discipline (anche non organiche) come Paolo Spinedi, Antonio Indelli, Goffredo Rosini, Luigi Busetto ed il compianto Antonino Fava. Una Facoltà, quella di Chimica Industriale, aperta a scambi con l'esterno, ma anche attenta ad un equilibrio tra i diversi ambiti culturali della Chimica, segno, anche questo, di modernità ed innovazione.

Poi vengono i frutti di questa spasmodica attività scientifica didattica ed organizzativa: i primi allievi di Angelo Mangini, che Bonino definì "il bersagliere della Chimica", conquistano la cattedra universitaria seguiti negli anni da molti altri che si spargono per le sedi universitarie della penisola, come testimoniato dal "Planetario" voluto da Mangini nel 1975 (in cui si raccolgono i nomi di oltre 20 allievi che hanno raggiunto la posizione di Professore ordinario) e che comunque negli anni successivi sarà oggetto di numerose ulteriori implementazioni.

Essi contribuiranno a diffondere le idee innovative del Maestro e ad aprire campi di ricerca in cinetica, Stereochimica organica, Chimica dei radicali liberi e più tardi in Chimica teorica, ma anche ad instaurare numerose nuove collaborazioni internazionali.

4. Iniziative per la Chimica Industriale e l'innovazione nella didattica della Chimica

In armonia con le finalità di ricerca attinenti alla cattedra di Chimica Industriale che all'epoca ricopriva, Angelo Mangini, con un occhio attento anche ai risvolti applicativi, si rende protagonista di un'importante iniziativa. Promuove numerose ricerche nel campo dei coloranti organici che sfociano negli anni '60, nella creazione, presso l'Istituto di Chimica Organica, del laboratorio ACNA, acronimo di Aziende Colori Nazionali e Affini, azienda del gruppo Montecatini, in cui i suoi collaboratori di allora realizzano e brevettano numerosi coloranti di interesse applicativo. Inoltre per sopperire alla mancanza quasi totale di testi Mangini pubblica, soprattutto ad uso degli studenti, quei "Quaderni di Chimica Industriale" [4a] tra cui quello sui coloranti risulterà il più riuscito e che al tempo costituiranno uno straordinario, avanzato e completo trattato di Chimica Industriale [4b]. Con gli opportuni aggiornamenti e perfezionamenti, queste rassegne di ampio respiro sull'Industria Chimica confluiranno poi nell'opera curata da

M. Giua all'inizio degli anni '60 [4b, c], l'unico "Trattato di Chimica Industriale" (in italiano) che potesse confrontarsi, per mole e contenuti, con analoghe opere straniere.

L'innovazione, figlia dei contatti con il mondo anglosassone, emerge anche nell'attività didattica. Quella che viene insegnata presso l'Istituto di Chimica Industriale è ormai la chimica organica che si rifà alla "*English Heresy*" basata sul concetto che "la chimica organica degli elettroni consente di capire e razionalizzare anche attraverso la spettroscopia come avvengono le reazioni abbandonando la precedente visione empirica e l'inutile sforzo della memoria".

Tale è la rilevanza nella Scuola di Angelo Mangini di questo moderno approccio che il testo di Ingold "*Structure and Mechanism in Organic Chemistry*" diventa presto la nuova Bibbia. Significativo è il commento che Adolfo Quilico, uno dei più illustri padri della chimica italiana dell'epoca ed il caposcuola dell'altra scuola in chimica organica di rilevanza nazionale, pronuncerà più tardi: "mentre in Italia la chimica organica veniva insegnata secondo i vecchi schemi, a Bologna i nuovi concetti erano già lingua volgare".

5. La Chimica dello zolfo

Gli studi sulla Chimica Organica dello zolfo costituiscono una delle tematiche su cui la passione di Angelo Mangini si focalizza maggiormente nel corso dei decenni. Tali studi promuovono un'attività sinergica all'interno della Facoltà, dovuta soprattutto alla forte interazione tra chimici organici e chimico fisici, ma anche sotto il profilo della visibilità internazionale della Facoltà. Nati intorno agli anni '50, gli studi sullo zolfo organico [5], inizialmente basati sulla spettroscopia UV di molecole organiche solforate, richiedono sin dall'inizio un forte sforzo a livello sintetico di molecole note e non, che venivano spesso "commissionate" con un breve preavviso (il venerdì pomeriggio per lunedì mattina della settimana seguente), compito che competeva ai laureandi e agli assistenti. Questo comportava anche turni di lavoro notturni e durante il weekend, che tuttavia venivano affrontati con serenità e con orgoglio nella percezione (e in questo risiedeva il carisma del Maestro) di stare partecipando a qualcosa di importante scientificamente. Questi studi trovarono successivamente nuovo impulso soprattutto per quanto riguarda gli aspetti stereochimici attraverso le ricerche di Montanari e del suo allievo Maccagnani il quale, seguendo quella che era una ormai consolidata tradizione, trascorre un periodo lavorativo presso l'Imperial College di Londra collaborando con il Nobel Laureate Sir Derek Barton e che successivamente negli anni '60 inizia con il suo gruppo una faticosa collaborazione con le Università di Groningen (Professor Hepke Hogeveen) e di Nijmegen (Professor Binne Zwanenburg). L'arrivo in Facoltà del Professor Antonino Fava, prima sulla cattedra di Chimica Generale e poi su quella di Chimica Organica, aprirà nuove tematiche nel settore dei composti solforati ciclici.

A portare le ricerche sulla chimica dello zolfo a livello internazionale contribuisce anche un importante evento, costituito dal IV Simposio Internazionale sullo Zolfo Organico organizzato da Angelo Mangini a Venezia nel 1970, a cui presenziano circa mille delegati, provenienti da tutto il mondo tra cui Ingold è l'ospite di onore (Fig. 4).



Figura 4. Il Professor Ingold ed il Professor Mangini al tavolo di presidenza del IV convegno ISOCS, Venezia 1970.

Sarà questa l'ultima occasione di una presenza del Professor Ingold in Italia.

In questa occasione il Professore esporrà quale emblema del congresso lo stendardo con il simbolo alchemico dello zolfo, che verrà fatto proprio dal comitato organizzatore e riproposto in tutte le successive edizioni di questa manifestazione (International Symposium on the Organic Chemistry of Sulfur – ISOCS) che si svolgeranno nei Paesi Europei ed extra-Europei negli anni a seguire (Fig. 5).



Figura 5. Lo stendardo con il simbolo alchemico dello Zolfo, emblema dei convegni ISOCS.

Il lungo dibattito protrattosi per anni sull'espansione degli orbitali d dello zolfo tra la scuola di Angelo Mangini e quella di Shigeru Oae dell'Università di Tokyo segna un ulteriore riprova del confronto di idee che a livello internazionale caratterizza questo periodo fervido di sfide scientifiche condotte sia livello teorico che sperimentale.

6. Il laboratorio del CNR

Alla fine degli anni '60, Angelo Mangini viene nominato Presidente del Comitato Nazionale per le Scienze Chimiche del CNR, carica che ricoprirà per diversi anni, dal 1968 al 1973. Mangini aveva già in precedenza fatto parte del Comitato per le Scienze chimiche del CNR, in particolare sotto la Presidenza di Vincenzo Caglioti (1965-72), ed in tale veste aveva stabilito rapporti con il più illustre scienziato della Chimica Industriale italiana, il Professor Giulio Natta (1903-1979) (Premio Nobel per la Chimica 1962), altro membro del comitato.

L'alta funzione svolta da Mangini nell'ambito del Consiglio Nazionale delle Ricerche si riverbera in maniera positiva nel reperimento di fondi e di "facilities", non solo sulla Facoltà di Chimica Industriale e su altre Istituzione Scientifiche operanti nell'ambito della chimica nell'Ateneo Bolognese, ma anche su altri Atenei. Mangini promuove inoltre la fondazione in quel di Ozzano dell'Emilia del "Laboratorio dei Composti del Carbonio Contenenti Eteroatomi e loro applicazioni" del CNR che sarà diretto inizialmente dal Professor Ghersetti e successivamente per molti anni dal Professor Maccagnani. Il Laboratorio viene dotato di una serie, impressionante per l'epoca, di strumentazioni per l'indagine spettroscopica delle molecole quali IR, UV, ESR, MS, PES, ESCA e del primo strumento di risonanza nucleare magnetica a 100 MHz presente a Bologna. In quegli anni il Laboratorio, confluito successivamente come Istituto di Sintesi Organica e di Fotoreattività (ISOF) nell'area di ricerca del CNR di Bologna, funge da polo di attrazione per numerosi studiosi italiani e stranieri che vi trascorrono frequenti periodi di ricerca, collaborando con il personale del CNR. Le potenzialità di ricerca di questa nuova struttura scientifica facilitano per gli allievi di Angelo Mangini l'instaurazione di nuove collaborazioni scientifiche che in ambito internazionale vedono affiancarsi a quelle già consolidate con il mondo anglosassone quelle con gli Stati Uniti ed il Canada: esse svolgeranno per i decenni successivi un ruolo fondamentale nello sviluppo di nuovi campi di ricerca avanzati in ambito bolognese.

7. Gli anni recenti

Negli ultimi anni, che sempre più frequentemente trascorre nella tranquillità del Laboratorio del CNR da lui creato, il Professor Mangini indirizza il suo interesse verso la Chimica Teorica e, grazie alla collaborazione con i gruppi delle Università di Toronto e di Ottawa guidati da Imre Czimadia e da Saul Wolfe, il suo allievo, il compianto

Professor Fernando Bernardi, introduce nella Scuola di Angelo Mangini la Chimica Computazionale, conseguendo in breve brillanti risultati che gli valgono riconoscimenti in ambito internazionale.

Dopo il suo ritiro nel 1978 Angelo Mangini continua ad essere un forte ispiratore per la ricerca scientifica innovativa condotta nell'Istituto di Chimica Organica, che diverrà Dipartimento negli anni '80. Oltre a nuove tematiche di sintesi asimmetrica, vedranno un grande sviluppo, grazie anche all'acquisizione di nuove strumentazioni di avanguardia, le ricerche avanzate nell'ambito dell'uso della risonanza magnetica per lo studio dei cristalli liquidi nonché gli studi conformazionali con NMR dinamico, ancora una volta portati avanti in collaborazione con prestigiose Istituzioni scientifiche inglesi e canadesi (Anderson, Emsley e K. Ingold), oltre agli studi basati sulla chimica dei radicali liberi e sull'uso dell'*electron spin resonance*, tematica quest'ultima che farà dire a Keith Ingold nel ricordare Angelo Mangini nel corso del "VII Symposium on Organic Free Radicals" del 1996 "Gomberg è il padre spirituale della chimica dei radicali organici liberi. Tuttavia tutti voi presenti oggi in questo simposio dovete molto di più ad uno straordinario Chimico Organico Italiano, Angelo Mangini, di quanto dobbiate a Gomberg". Un riconoscimento postumo che testimonia quanto negli anni sia rimasta viva nella memoria anche in ambito internazionale l'opera di Angelo Mangini.

Nel 1987, Angelo Mangini scrive il suo ultimo lavoro "Summary of my research on organo-sulphur chemistry" [6], forse un omaggio nostalgico alla sua giovinezza e a quella tematica da cui era partito il suo avvincente viaggio nel mondo della scienza. Muore l'anno successivo a Bologna all'età di 83 anni.

Nel Dipartimento di Chimica Industriale Toso Montanari che ha sostituito dal 2012 la Facoltà di Chimica Industriale, Angelo Mangini vedrebbe oggi realizzati tutti gli obiettivi che aveva perseguito per decenni con passione, tenacia e spirito pionieri-



Figura 6. Il Professor Ryoji Noyori in occasione del conferimento della Laurea Honoris Causa in Chimica Industriale, con un gruppo di docenti della Facoltà.



Figura 7. Il Professor Mangini in un momento di relax.

stico. Il relazionarsi delle nuove generazioni, afferenti a tutti gli ambiti culturali del Dipartimento con prestigiose Università straniere (per citarne alcune, oltre a quelle precedentemente menzionate, la Iowa State University, l'Università di Sheffield, il CNRs, le Università di Lille e Siviglia), le nuove sfide scientifiche in aree di frontiera anche fortemente interdisciplinari, il coinvolgimento in numerosi progetti di ricerca Europei ed il conferimento nel 2002 della Laurea Honoris causa in Chimica Industriale al Professor Ryoji Noyori, Premio Nobel per la Chimica nel 2001¹, ne costituiscono valida testimonianza (Fig. 6).

Nel corso della sua lunga vita accademica e scientifica ad Angelo Mangini sono state attribuite numerosissime e prestigiose onorificenze. Ma per quelli che hanno avuto il privilegio di potersi considerare suoi allievi esiste un altro modo per ricordarlo, quello delle riunioni nel suo studio a casa in cui ci coinvolgeva in vivaci discussioni su vari argomenti scientifici.

Erano quelli i momenti in cui, venuti meno gli atteggiamenti talvolta anche autoritari che assumeva in ambito ufficiale, il Maestro si mostrava in tutta la sua profonda umanità e questo ancora oggi ce lo fa ricordare con profondo affetto (Fig. 7).

¹ Nel 2001 ex-aequo con i Professori William S. Knowles e K. Barry Sharpless è stato conferito al Professor Ryoji Noyori dell'Università di Nagoya il Premio Nobel in Chimica per lo sviluppo delle sintesi asimmetriche catalitiche.

Bibliografia

- [1] a) Montanari F., “In memory of Angelo Mangini”, *Gazz. Chim. Ital.*, CXIX (1989) 119 (numero speciale dedicato ad Angelo Mangini); b) Zani P., Del Noce I., “Angelo Mangini (1905-88) nella Facoltà di Chimica Industriale a Bologna: cenni biografici sulla base dei documenti dell’Archivio Mangini”, *Rend. Accad. Naz. Sci. XL, Mem. Sci. Fis. Natur.*, XLI, p. II, t. II (2017) 189-199.
- [2] Bonino G.B., “Sulla costituzione molecolare del benzolo”, *Gazz. Chim. Ital.*, LXV (1935) 371-414.
- [3] Mangini A. (a cura di), *Advances in Molecular Spectroscopy. Proceedings of the 4th International Meeting of Molecular Spectroscopy, Bologna, 7-12 Sept. 1959*, 3 voll. (Pergamon Press, Oxford, 1962). Questa pubblicazione assume una grande rilevanza internazionale, tanto più in quanto costituisce uno dei primi esempi di atti congressuali pubblicati sotto forma di volumi.
- [4] a) Mangini A., *Quaderni di Chimica Industriale* (vari volumi) (Patron Ed., Bologna, 1947-1956); b) Mangini A., *Coloranti e Tintura delle Fibre Tessili*, in: *Trattato di Chimica Industriale*, a cura di Giua M., vol. VI, tomo II (UTET, Torino, 1962); Mangini A., 1961 *Chimica e Industria degli Intermedi*, in: *Trattato di Chimica Industriale*, a cura di Giua M., vol. IV, tomo I (UTET, Torino, 1962). L’opera, oggetto di una seconda edizione negli anni ’70 dopo la scomparsa del curatore Prof. M. Giua (1966), vede i due volumi redatti dal Prof. Mangini con gli opportuni aggiornamenti: c) Mangini A., Bonini B.F., Mazzanti G., *Coloranti e Tintura delle Fibre Tessili*, in: *Trattato di Chimica Industriale*, già a cura di Giua M., vol. IX, seconda ed. (USES, Firenze, 1977); Mangini A., Bonini B.F., Mazzanti G., *Chimica degli Intermedi*, in: *Trattato di Chimica Industriale*, già a cura di Giua M., vol. V, seconda ed. (USES, Firenze, 1975).
- [5] Zani P., Bonini B.F., “Angelo Mangini e i suoi allievi. Lo zolfo organico sulla collina bolognese”, *La Chimica e l’Industria Web*, ottobre 2014.
- [6] Mangini A., “Summary of my research on organo sulfur chemistry”, *Sulfur Reports*, VII (1987) 313.

Alcune note sul profilo ed il contributo di Giovanni Semerano

Claudio Trombini*

Giovanni Semerano nasce a Palmi (Reggio Calabria) il 23 gennaio 1907. Studia Chimica a Padova dove si laurea nel 1929 con una tesi sul metodo polarografico di Jaroslav Heyrovský. Heyrovský, chimico cecoslovacco nato a Praga nel 1890 (Fig. 1), è l'inventore dell'elettrodo a goccia di mercurio ed è considerato il padre della Chimica Elettroanalitica. Per queste sue ricerche gli verrà conferito il Premio Nobel nel 1959 *“per la scoperta e lo sviluppo dei metodi polarografici di analisi”* [1]. Giovanni Semerano inizia la sua carriera scientifica come allievo di Arturo Miolati, nato a Mantova nel 1869 (Fig. 2), noto per aver collaborato con Alfred Werner, chimico svizzero (Mulhouse, 1866) sullo sviluppo delle moderne teorie sulla struttura dei composti di coordinazione. Anche Werner riceve il Premio Nobel nel 1913 *“in riconoscimento del suo lavoro sul legame degli atomi nelle molecole per mezzo del quale ha gettato nuova luce sulle ricerche precedenti e aperto nuovi campi di ricerca specialmente in chimica inorganica”* [2].



Figura 1. Jaroslav Heyrovský.

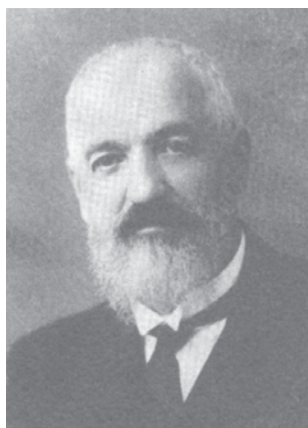


Figura 2. Arturo Miolati.

* Accademico Benedettino. Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, Università di Bologna.

Giovanni Semerano rimarrà legato tutta la vita alla figura del suo mentore Arturo Miolati, e presenterà in occasione di un Convegno di Storia della Chimica [3] la raccolta di 51 lettere in suo possesso, in parte in francese altre in tedesco, scritte da Alfred Werner al collega Arturo Miolati fra il 1893 e il 1907, che chiaramente testimoniano il contributo decisivo di Miolati alla teoria di Werner fatta attraverso misure di conducibilità elettrica di soluzioni di composti inorganici. Alla fine del suo percorso Giovanni Semerano fonderà a Padova in onore del suo Maestro la Comunità Culturale “Arturo Miolati” [4].

Il rapporto fra Miolati e Semerano inizia nel 1929 quando Miolati, allora Preside della Facoltà di Scienze di Padova propone allo studente Giovanni Semerano di iniziare ad usare il polarografo appena acquistato dalla Nejdly Company. L'entusiasmo e la dedizione messa dall'allievo gli varrà la laurea con lode quello stesso anno. Miolati, nonostante sia stato la persona che ha introdotto in Italia il metodo polarografico, non firmerà come coautore i primi lavori di Semerano. Semerano a sua volta, pur analizzando scrupolosamente le bozze dei lavori dei suoi collaboratori, non firmerà i loro lavori se il suo contributo non sarà stato essenziale. Alcuni di questi collaboratori sarebbero poi stati chiamati a Bologna dallo stesso Semerano come professori di Chimica Fisica, per la precisione Paolo Favero e Antonio Foffani.

Dopo 2 anni di ricerche sulla polarografia in alcune delle quali presentava dati che contestavano precedenti risultati apparsi in letteratura, nel 1931, col permesso di Miolati, Semerano si reca in visita da Heyrovský a Praga presentandogli una memoria di oltre 200 pagine sui suoi risultati. In quell'occasione getta le basi per una solida e duratura collaborazione oltreché un rapporto di amicizia testimoniato da varie lettere dello stesso Heyrovský a Semerano dal tono assolutamente fraterno [5].

Nel frattempo perfeziona i suoi studi all'estero anche in altre aree di ricerca (Heidelberg spettroscopia infrarossa, Francoforte preparazione del deuterio e dell'orto- e para-idrogeno, Londra studio delle fiamme e delle alte pressioni), e si appassiona alla scienza della fotografia [6] (dal 1961 ha una consulenza decennale con la Società Ferrania).

Giovanni Semerano raccoglierà l'eredità scientifica del Maestro Miolati succedendogli nel 1938 nella prima Cattedra di Chimica Fisica, istituita nel 1932.

L'attività di Semerano nel campo della polarografia durerà 30 anni e verterà dagli aspetti teorici ai miglioramenti strumentali della tecnica, alle applicazioni in vari campi industriali (Fig. 3) [7]. Nel 1947 fonda a Padova il Centro di Studio per la Polarografia del C.N.R. che dirigerà fino al 1963. Per oltre 30 anni fino al 1967 curerà la *Bibliografia Polarografica*, catalogando le pubblicazioni mondiali sull'argomento con un criterio cronologico-alfabetico (indice alfabetico per autori e per argomento). Le 20 edizioni della *Bibliografia Polarografica* totalizzeranno ben 21.798 articoli. Gli interessi scientifici di Giovanni Semerano toccano nel tempo moltissimi altri ambiti quali la Cinetica chimica, la Spettroscopia molecolare (IR, Raman e microonde), la Chimica dei radicali liberi [8] e di altre specie molecolari labili, la Fotochimica e la Chimica delle radiazioni, la Fisica dei polimeri.

Nel 1960 a seguito del trasferimento a Genova di Gian Battista Bonino, titolare della cattedra di Chimica Generale ed Inorganica dell'Università di Bologna, Giovanni

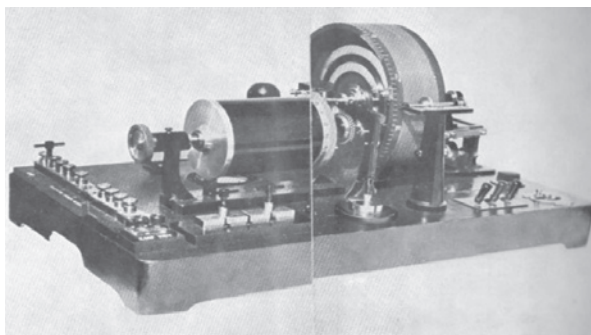


Figura 3. Il testo sulla polarografia del 1932 che riporta uno dei primi polarografi costruiti in Cecoslovacchia.

Semerano gli subentra ed inizia la sua avventura bolognese. Nel 1988 in occasione del 250° anno della prima cattedra universitaria di Chimica (1737) e nell'ambito delle manifestazioni per il IX centenario dell'Università di Bologna, Semerano commemorerà la figura di Gian Battista Bonino presso questa Accademia. Successivamente nel 1999, in occasione del centenario della nascita di Bonino, lo ricorderà sotto il profilo più personale, attingendo al suo carteggio di un centinaio di lettere [9]. In questa commemorazione ricorda non solo il ruolo avuto da Bonino in concorsi e premi ricevuti da Semerano, ma anche il sostegno da lui ricevuto, mentre negli anni '60 Bonino era Presidente del Comitato per la Chimica del CNR con Alberto Breccia segretario, alla costituzione dell'Istituto di Fotochimica e Radiazioni ad alta energia (FRAE) con relativo acceleratore presso la cittadina di Medicina, poi confluito presso l'Area della Ricerca CNR di Bologna, diretto da Semerano dal 1968 al 1976 e successivamente da Ugo Mazzucato e Vincenzo Balzani. Presso l'Istituto Chimico "Giacomo Ciamician" Semerano fu supportato da Bonino nel costituire il già citato Centro di Fisica delle Macromolecole da lui diretto dal 1963 al 1968 e, successivamente, da Roberto Zanetti, Giovanni Pezzin e Giuliana Cardillo, il Centro di Spettroscopia a Microonde affidato al Prof. Paolo Favero e del Laboratorio per la Spettroscopia Raman il cui Direttivo era costituito da Bonino, Semerano e Alessandro Bertoluzza.

Semerano dirige l'Istituto Chimico "Giacomo Ciamician" fino al 1977 con un'interruzione di un triennio (1966-1968 direttore Paolo Favero). Nel 1977 l'elezione a direttore ha un esito inaspettato per Semerano, presentandosi Alberto Ripamonti in contrapposizione a lui. La maggioranza elegge Alberto Ripamonti. Era evidente il peso di quella che era da lui vissuta come sconfitta se non tradimento di quanti, nella logica di

allora, non avevano esibito riconoscenza a chi li aveva cooptati. L'anno successivo lascerà Bologna per raggiunti limiti d'età stabilendosi di nuovo a Padova.

Nei 18 anni a Bologna Semerano crea le basi per l'evoluzione scientifica dell'Istituto che nel 1987 si ricostituirà in Dipartimento. La sua intensa attività manageriale lo ha portato a promuovere e dirigere varie istituzioni quali la Scuola di Specializzazione in Chimica Analitica, poi Scuola di Specializzazione in Metodologie chimiche di controllo e di analisi, di grande prestigio nazionale, diretta successivamente da Anna Maria Ghè poi da Giancarlo Torsi.

Per 8 anni (dal 1953 al 1960) ha organizzato corsi estivi di Chimica Fisica in Bressanone.

Ha promosso a livello di CNR l'istituzione di importanti realtà scientifiche quali il Centro di Spettroscopia a Radiofrequenza a Padova, da lui diretto dal 1959 al 1963, e a Bologna i già citati FRAE [10] e il Centro di Studio per la Fisica delle Macromolecole (CSFM) presso l'Istituto Chimico "Giacomo Ciamician", ed infine il Centro di Spettrometria di Massa e Gascromatografia, affidato alla gestione di Angelo Giumanini.

Si è sempre interessato ai problemi della didattica chimica ed ha promosso varie iniziative e sperimentazioni nel settore. E qui vengo ad un ricordo della mia vicenda personale di matricola nell'A.A. 1968-69. Il mio primo incontro corrispose ad un solenne rimbrotto perché entrai in aula alla prima lezione di Semerano con 5 minuti di ritardo. Quello era un anno di profondi cambiamenti nel mondo intero ma il clima all'Università di Bologna non sembrava risentire dell'influsso del Maggio francese del '68¹.

A Bologna per uno studente di provincia quale ero io, apparentemente tutto sembrava procedere nel rispetto della più profonda tradizione studentesca, con una scatenata caccia alle matricole da parte degli studenti anziani pluribollati di ogni Facoltà (1 bollo sul libretto corrispondeva ad un anno di iscrizione) a volte al limite della violenza psicofisica, con vendite forzose di papiri e codicilli. Ma Semerano, pur espressione della

¹ Il Maggio francese faceva seguito alle proteste dei Campus californiani nati dalla protesta studentesca di Berkeley nel 1964, poi estesi agli altri campus contro la guerra del Vietnam e a favore delle battaglie per i diritti civili e alle filosofie che esprimevano il rifiuto radicale verso un certo stile di vita conformista. Solo l'anno successivo (A.A. 1969-70) partì la contestazione a Bologna con la simultanea scomparsa dell'elemento goliardico, con occupazioni anche dell'istituto di Chimica, scioperi e polemica nei confronti del PCI, politicamente egemone a Bologna. La protesta toccava l'Est europeo con la Primavera di Praga che si sollevava per denunciare la mancanza di libertà, l'invadenza e brutalità della burocrazia di partito. In Italia il '68 è l'anno delle grandi proteste sindacali, l'autunno caldo, in quegli anni era iniziata per contrapposizione alle lotte operaie la strategia della tensione con le stragi di Piazza Fontana e di Brescia. Qualche anno prima (1963) si era costituito il primo Governo di centrosinistra a guida Aldo Moro e anche in quel caso come reazione si ebbe il tentativo "burletta", ma sempre tentativo, di colpo di stato del generale De Lorenzo (1964, Piano Solo). Anche per la Chiesa cattolica gli anni '60 erano anni di profonda messa in discussione dello "status quo" con il Concilio Vaticano II (1962-65), la vicenda di Don Milani e la Scuola di Barbiana, la Comunità dell'Isolotto a Firenze, e la costituzione della Comunità di Sant'Egidio (fondatore Andrea Riccardi, 1968), per citare qualche esempio più significativo. Tutto questo fervore ed inquietudine non sfuggivano a Semerano che nel suo ruolo cercava possibili soluzioni non traumatiche di transizione dell'assetto universitario.

più tipica baronia universitaria², seguiva molto bene l'evolversi della storia nel Paese e a livello internazionale. Intendeva dimostrare un suo riformismo e così decise di intervenire, paternalisticamente, *motu proprio*, nominando un co-governo, così fu definito da lui, nel quale venivano cooptati alcuni studenti (io ero uno di quelli) con il compito di partecipare alle assemblee di istituto (qui, iniziavano a manifestarsi voci di contestazione fra i più giovani membri del Consiglio, borsisti e assistenti) e alle discussioni sui problemi della didattica. Addirittura, per una sola sessione, mi ritrovai membro della commissione d'esame di chimica generale con Semerano ed alcune sue assistenti col ruolo di contrattare al rialzo il voto allo studente. Era ovvio che a 18 anni, sprovveduto ed intimidito dalla figura del "professore universitario", non potevo dare un contributo significativo all'interno di questo co-governo, un'iniziativa che infatti si spense nell'arco di un paio d'anni. Quello stesso anno, 1968, Semerano avviò una sperimentazione didattica per venire incontro alle difficoltà degli studenti di sbiennare (passaggio al triennio solo dopo aver superato tutti gli esami del biennio iniziale), passaggio ostico che allungava le carriere della maggioranza degli studenti. Si trattava di transitare ad un'organizzazione semestrale del biennio con corsi compatti, esercitazioni pomeridiane per le quali reclutava quasi d'imperio assistenti e personale del CNR (fra questi ricordo Giorgio Orlandi, Giancarlo Celotti, e Fabio Busi) ed esami, in parte scritti, alla fine di ogni semestre. Dal nostro punto di vista il vantaggio fu evidente in quanto la gran parte degli studenti della mia coorte³ poté sbiennare in corso senza difficoltà. Anche questo esperimento fu poi interrotto, anche se i germi positivi restarono nell'impostazione di alcuni corsi ed esami, ma solo trent'anni dopo l'Università sarebbe passata all'organizzazione semestrale generale quando, nel 1999, i ministri di 29 paesi europei si incontrarono per sottoscrivere la Dichiarazione di Bologna, che ha dato ufficialmente il via al processo di armonizzazione dei vari sistemi di istruzione superiore europei.

Giovanni Semerano è stato Socio dell'Imperial College of Science and Technology di Londra (1935), dell'Accademia Galileiana di Padova (dal 1939), dell'Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti (dal 1940), dell'Accademia dei Lincei (dal 1948), dell'Accademia Nazionale di Romania (dal 1965), dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna (dal 1966, socio benedettino), dell'Accademia Nazionale delle Scienze, detta

² La percezione di noi giovani era che Giovanni Semerano titolare dell'Istituto Chimico "Giacomo Ciamician" ne fosse quasi proprietario, con i vari colleghi nel ruolo di ospiti ed i suoi assistenti quasi "sue proprietà". Un esempio di questo atteggiamento lo si coglieva nel rito della firma sui buoni d'ordine dei suoi collaboratori, con a volte lunghe anticamere, nel quale con una vena accennata di "sadismo" esigeva spiegazioni dettagliate su ogni prodotto che si intendesse acquistare. Era estremamente severo con il personale tecnico-amministrativo, sempre in imbarazzo nei suoi confronti, intimidito dal suo modo di approcciarlo. Ricordano i colleghi più anziani il momento in cui Semerano "concesse" ai docenti e borsisti dell'Istituto l'accesso alla biblioteca, di cui era titolare. Nei confronti degli studenti richiedeva uno stile rigoroso, solo in giacca e cravatta ci si poteva presentare all'esame. Gli studenti allora si organizzavano con una cravatta "itinerante" scambiata fra di loro.

³ Diversi miei compagni di corso ebbero la possibilità poi di intraprendere una carriera di ricercatori all'Università o al CNR, fra gli altri Aldo Roda, Lucia Flamigni, Diana Sandrini, Franca Zanetti, Alberto Juris, Sergio Bonora, Francesca Piazza,...

dei XL (dal 1978). Fra gli altri incarichi, ha fatto parte del Comitato per la Chimica e per la Fisica del Consiglio Nazionale delle Ricerche e dell'Unione Internazionale di Chimica Pura Applicata (IUPAC).

Tra i vari premi di cui è stato insignito cito la Medaglia d'oro "Santoro" 1962 dell'Accademia Nazionale dei Lincei e il Premio Nazionale del Presidente della Repubblica per le Scienze Fisiche, Matematiche e Naturali per l'anno 1963. Precedentemente nel 1932 era stato insignito del Premio del Decennale della Rivoluzione Fascista. Successivamente avrebbe ricevuto la Medaglia d'oro di Federchimica (1997) e la Medaglia d'oro della Divisione di Chimica Fisica della Società Chimica Italiana (1998).

A volte impulsivo di carattere, grande polemista, fermo nelle proprie idee, si è fatto promotore di sollecitazioni e critiche in favore di riforme, trasparenza nei concorsi, snellimenti burocratici e riforme delle strutture didattiche e di ricerca negli organi di governo accademici, nelle istituzioni politiche (eletto nella prima metà degli anni '60 nel Consiglio comunale di Bologna per la lista Due Torri) e presso Istituzioni scientifiche (Ministero della Pubblica Istruzione, CNR, Accademia dell'Istituto delle Scienze di Bologna, Accademia dei Lincei, Accademia dei XL). A fronte di queste sue caratteristiche, Giovanni Semerano era estremamente riservato e reticente a comparire (sono pochissimi i documenti fotografici disponibili che lo ritraggono, cosa impensabile nell'attuale era dell'apparire e dei *selfie*), al limite della timidezza, parola che suona un ossimoro ricordandolo quale incarnazione della figura del Barone Universitario. In Fig. 4 una foto di Semerano all'atto di una proclamazione di laurea.

Muore a Padova il 1 ottobre 2003 e anche in questa occasione testimonia la sua riservatezza comunicando la sua morte con la seguente lettera postuma al Dipartimento Ciamician e alle Accademie alle quali è associato:

Esimio Direttore/Presidente...

La presente per comunicarLe la mia morte avvenuta in Padova il 01/10/2003.

Come ho già comunicato ai suoi Predecessori, non desidero venire commemorato in qualsiasi forma. Le notizie che mi riguardano si trovano nella mia pubblicazione "Memorie di un chimico fisico analitico ottuagenario" [11] [...] e in forma più estesa ed aggiornata negli Atti della Comunità Culturale Arturo Miolati in corso di compilazione.

Ossequi, auguri e ringraziamenti,

Giovanni Semerano

Si tratta indubbiamente di una personalità di grande complessità, un ricercatore appassionato, talent-scout che lasciava i suoi allievi liberi di esprimersi, vulcanico nella propria attività ed interessi, ma sempre con una grande attenzione alle applicazioni pratiche delle sue ricerche nell'ambito della Chimica-fisica ed Elettrochimica analitica. Giovanni Semerano è l'uomo che ha legato a sé la storia dell'Istituto, poi Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", per 18 anni (1960-1978), anni che segnano il passaggio del Dipartimento



Figura 4. Il Prof. Giovanni Semerano conferisce la laurea in Chimica a Sandra Bonafede il 22 novembre 1973. In primo piano a destra la Prof.ssa Anna Maria Marinangeli, in secondo piano i Proff. Gianfranco Cainelli a sinistra e Antonio Foffani.

stesso da una dimensione locale, abbastanza arretrata rispetto agli standard europei di allora, alla modernità, cosa resa possibile soprattutto dalle scelte da lui compiute chiamando a Bologna colleghi di valore da altri Atenei (i già citati Antonio Foffani e Paolo Favero da Padova e poi Alberto Ripamonti, Vincenzo Albano, Gianfranco Cainelli⁴, Achille Umani-Ronchi, Giuliana Cardillo), dall'Industria (Carlo Concilio dalla Zambon)⁵ e sulla valorizzazione dei suoi allievi migliori (Vincenzo Balzani, Elio Vianello, Sergio Roffia, Pietro Lanza, Anna Maria Mirri, Alessandro Bertoluzza, Anna Maria Marinangeli, ecc.). Tutti questi colleghi avrebbero poi creato Scuole capaci di portare il Dipartimento ai livelli di eccellenza oggi ampiamente riconosciuti a livello nazionale ed internazionale.

⁴ Il rapporto a Bologna fra i due grandi Baroni della Chimica dell'Ateneo, Giovanni Semerano e Angelo Mangini era di stima reciproca ma anche di grande rivalità (il vecchio adagio dei due galli in un pollaio). Quando Semerano decide di affrancarsi dalla Chimica farmaceutica per l'insegnamento del corso di Chimica organica per "chimici puri", tenuto fino al 1969 dalla titolare della cattedra di Chimica Farmaceutica Elisa Ghigi, chiama Gianfranco Cainelli. È esistita per decenni in seno alla Chimica organica italiana una netta separazione fra due scuole, quella bolognese di Mangini (Chimica fisica organica) e quella di Adolfo Quilico del Politecnico di Milano (Chimica delle sostanze organiche naturali). Piuttosto che accordarsi con Mangini, Semerano chiama Cainelli da Bari, formatosi alla Scuola di Adolfo Quilico e del Politecnico di Zurigo. Assieme a Cainelli arriveranno Achille Umani-Ronchi e Giuliana Cardillo, della stessa scuola milanese, che costituiranno due gruppi di ricerca attivi nel campo della Chimica organometallica (Umani) e della Chimica e sintesi di sostanze naturali ad attività farmacologica (Cardillo), dai quali scaturiranno gli attuali gruppi nei quali si articola la Chimica Organica del Dipartimento "Giacomo Ciamician".

⁵ La sensibilità di Semerano nei confronti di un contributo didattico da parte di chimici dell'industria era evidente anche nella cooptazione da lui fatta di ricercatori provenienti dal settore privato come professori incaricati per l'insegnamento di corsi complementari. Anche questo aspetto testimoniava la sua sensibilità per una formazione e una ricerca che doveva essere essenzialmente rivolta all'applicazione concreta. Ricordo nel piano di studi della laurea in Chimica del 1968 la presenza dei Proff. Zilio Grandi (Chimica analitica strumentale) e Franco Gozzo (Chimica organica applicata) provenienti dal Petrochimico di Marghera e Giovan Battista Gechele (Chimica degli alti polimeri) dalla Montedison.

Bibliografia

- [1] L.R. Sherman, "Jaroslav Heyrovský (1890-1967)", *Chem. Brit.*, 1990, 1165-1167.
- [2] K. Bowman-James, "Alfred Werner Revisited: The Coordination Chemistry of Anions", *Acc. Chem. Res.*, 38 (2005) 671-678.
- [3] G. Semerano, "Letters from Alfred Werner to Arturo Miolati of interest for the history of the coordination theory of inorganic compounds", in: Atti del VII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, L'Aquila, 8-11 Ottobre, 1997, *Rend. Accad. Naz. Sci.*, XXI (1977) 311-315.
- [4] G. Semerano, "I venti anni (1917-1937) di Arturo Miolati all'Università di Padova: realizzazioni e progetti", in: Atti del VI Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, Cagliari, 4-7 Ottobre, 1995, *Rend. Accad. Naz. Sci.*, XIX (1995) 513-519.
- [5] A. Breccia, "Giovanni Semerano, his contribution to the field of polarography", in: *Proceedings of the International Symposium on New Trends in Polarography and related techniques*, Fermo, 1-5 Settembre, 1986, 7-34.
- [6] W.F. Berg, U. Mazzucato, H. Meier, G. Semerano, *Dye Sensitization* (Focal Press, London, 1970). Citato come riferimento 125 nel testo di Tadaaki Tani intitolato *Photographic Sensitivity; Theory and Mechanisms* (Oxford University Press, 1995).
- [7] G. Semerano, *Il Polarografo. Sua teoria e applicazioni* (Draghi, Padova, 1932) pp. 207 (2^a ediz., Padova, 1933).
- [8] a) G. Semerano, "Labile organische Moleküle und Grenzflächenvorgänge", *Z. Elektrochem.*, 44 (1938) 598-602; b) G. Semerano, L. Riccoboni. "Reitrag zur Kenntnis metallorganischen Verbindungen. Silbermethyl und Silberäthyl und Silber_n-propyl", *Ber. Dtsch. Chem. Ges.*, 74 (1941) 1089-1099; c) A. Breccia, M. A. J. Rodgers, G. Semerano, *Oxygen and Sulfur Radicals in Chemistry and Medicine* (Lo Scarabeo, Fermo, 1986).
- [9] G. Semerano, "Ricordi personali di G. B. Bonino", in: Atti del VIII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, Arezzo, 28-30 ottobre 1999, *Rend. Accad. Naz. Sci.*, XXIII (1999) 303-308.
- [10] G. Semerano, "Laboratorio di Fotochimica e Radiazioni di Alta Energia", *Quaderni dell'Area di Ricerca dell'Emilia Romagna*, n. 86 (Consiglio Nazionale delle Ricerche, 1977) p. 689.
- [11] G. Semerano, "Memorie di un chimico fisico analitico ottuagenario", in: Atti del II Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica, Roma, 16-19 settembre 1987, *Rend. Accad. Naz. Sci.*, XII (1988) 237-249.

Fotochimica e Chimica delle Radiazioni al CNR di Bologna

Margherita Venturi, Mila D'Angelantonio***

La riforma del CNR, il cui primo atto si rifà alla legge n. 283 del 2 marzo 1963, ha avuto importanti ricadute anche a Bologna. Infatti, in questa città nel 1968 è stato istituito il Laboratorio di Fotochimica e Radiazioni d'Alta Energia (FRAE), trasformato nel 1979 nell'Istituto omonimo, di cui faceva parte anche una sede distaccata a Legnaro, e diventato ISOF (Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività) nel 2002, a seguito di una riorganizzazione generale degli istituti del CNR.

La nascita del FRAE si deve fondamentalmente alla lungimiranza di Giovanni Semerano e Alberto Breccia da sempre attenti ai nuovi filoni di ricerca in ambito internazionale. Il primo è stato Direttore del Laboratorio FRAE dall'anno della sua istituzione fino al 1976, mentre il secondo è stato per anni segretario del Comitato Nazionale delle Scienze Chimiche del CNR e riferimento costante per lo sviluppo delle linee di ricerca in ambito nazionale [1].

Al CNR di Bologna le due anime, Fotochimica e Chimica della Radiazioni, si sono sviluppate in stretto contatto e le ricerche effettuate in entrambi gli ambiti disciplinari per la loro elevata qualità e innovazione hanno permesso la nascita di collaborazioni internazionali offrendo così a molti giovani la possibilità di compiere esperienze in gruppi esteri di grande valore.

1. Fotochimica

A Bologna, lo studio della Fotochimica ha un'antica e radicata tradizione; risale addirittura agli inizi del secolo scorso, quando Giacomo Ciamician, spinto dalle sue osservazio-

* Accademica Corrispondente Residente, socia dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, già Professore di Chimica dell'Università di Bologna. Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", Università di Bologna.

** Ricercatrice senior associata ISOF-CNR. Istituto ISOF del CNR di Bologna.

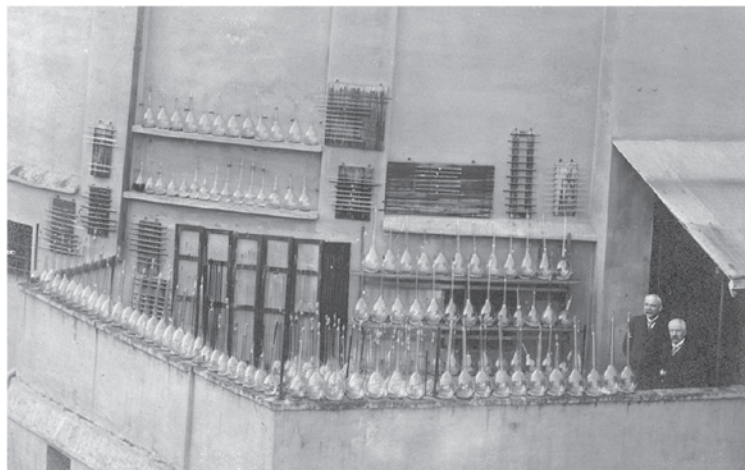


Figura 1. Giacomo Ciamician (a destra) e il suo collaboratore Paolo Silber nel laboratorio di Fotochimica sui tetti dell'istituto in cui lavoravano.

ni sulle reazioni chimiche che avvengono nelle piante ad opera del Sole, decise di studiare in modo sistematico l'azione chimica della luce in esperimenti di laboratorio (Fig. 1).

Le idee, le intuizioni e i concetti emersi dalle ricerche di questo grande chimico sono in gran parte riassunti in una sua celebre conferenza tenuta nel settembre del 1912 al VIII *International Congress of Applied Chemistry* di New York [2]. L'importanza che ha avuto questa conferenza, il cui contenuto non delude le aspettative create dal titolo "*La fotochimica del futuro*", è dimostrata dal fatto che il testo è stato pubblicato sulla rivista *Science* (Fig. 2) e poi tradotto anche in italiano, tedesco e francese. In questo articolo, che ancor oggi val la pena leggere per intero, Ciamician dopo aver parlato delle sue specifiche ricerche allarga la prospettiva in due direzioni: da una parte sottolinea l'importanza delle reazioni fotochimiche e fa previsioni sul loro uso in tanti campi della tecnologia; dall'altra affronta il grande problema, di assoluta attualità, delle risorse energetiche che l'umanità ha a disposizione domandandosi perché mai l'uomo, invece di far ricorso alla "sporca" energia solare fossile, non attinge alla "pulita e abbondante" energia che arriva con continuità dal Sole. Questo è il motivo per cui Ciamician è universalmente riconosciuto come uno dei fondatori della Fotochimica e come il primo profeta dell'energia solare.

I suoi studi e le sue idee, però, non ebbero seguito perché le ricerche in Fotochimica furono abbandonate per qualche decennio sia a livello nazionale che internazionale, finché ripresero proprio a Bologna dopo il 1950 ad opera di Vittorio Carassiti, assistente di Giovan Battista Bonino che, fra l'altro, fu uno dei Presidenti del Comitato Nazionale delle Scienze Chimiche del CNR.

Le ricerche si intensificarono con l'istituzione del Laboratorio FRAE [3] dove fra i primi ad entrare come ricercatori furono Piergiulio Di Marco, Quinto Giuliano Mulazzani e Maurizio Tamba, appena laureati in Chimica all'Università di Bologna. Negli anni successivi il Laboratorio FRAE si sviluppò notevolmente, non solo come numero di ricercatori, ma anche come apparecchiature, e gli studi fotochimici si concentrarono

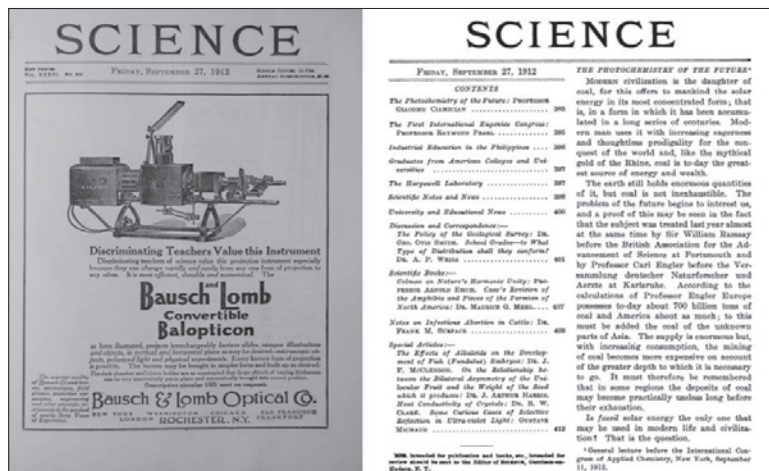


Figura 2. Numero di *Science* del 1912 in cui è stata pubblicata la conferenza di Ciamician "La Fotochimica del futuro".

sia su molecole organiche (Pietro Bortolus e Giancarlo Beggiano) che su materiali di interesse fotografico (Guido Pasini e Benito Righetti). Nel 1976 alla direzione del FRAE subentrò, in qualità di commissario, Ugo Mazuccato che vi restò finché, nel 1978, venne nominato Direttore Vincenzo Balzani. Questo portò naturalmente ad una intensificazione dei contatti fra il gruppo universitario del Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" dell'Università di Bologna, che Balzani già guidava, e quello del CNR. Alcuni ricercatori del FRAE che svolgevano ricerche di tipo fotochimico, fotofisico ed elettrochimico (Mario Gleria, Francesco Barigelletti, Sergio Dellonte, Giorgio Orlandi, Sandra Monti, Lucia Flamini e Mauro Ciano) o di Chimica delle Radiazioni (vedi dopo) su complessi metallici (Quinto Giuliano Mulazzani, Silvano Emmi, Piergiorgio Fuochi e successivamente Mila D'Angelantonio) cominciarono a collaborare, in parte, con i colleghi del gruppo universitario.

Questa unione di forze, assieme alla nascita di collaborazioni con numerosi gruppi di ricerca, soprattutto stranieri (ad esempio, M.Z. Hoffman, Boston University; J.-M. Lehn e J.-P. Sauvage, University of Strasbourg; F. Pina, University of Lisbona; A. von Zelewsky, University of Fribourg; N. Serpone, University of Montreal), portò ad un forte sviluppo della Fotochimica bolognese. Quando nel 1987 Balzani lasciò la direzione del FRAE, i due gruppi continuarono per anni a collaborare, pur prendendo progressivamente strade diverse.

Per quanto riguarda il CNR, il gruppo di Fotochimica, notevolmente potenziato, ha sviluppato linee di ricerca, sotto riportate, importanti non solo per le conoscenze di base, ma anche per la rilevanza delle loro possibili applicazioni [3].

- Studio dei processi fotoindotti di trasferimento di energia e di elettroni in complessi metallici, porfirine e molecole organiche come il fullerene* (Nicola Armaroli, Gianluca Accorsi, Andrea Barbieri, Francesco Barigelletti, Lucia Flamigni e Barbara Ventura).
- Fotostabilità dei farmaci e studio delle interazioni non covalenti fra biomolecole*

- e farmaci per lo sviluppo di nuove strategie terapeutiche* (Ilse Manet, Francesco Manoli, Giancarlo Marconi, Sandra Monti e Stefano Ottani).
- c) *Sviluppo di materiali organici per la produzione di congegni in grado di convertire efficacemente energia elettrica in energia luminosa (OLED) e per ottenere una più vasta gamma di colori* (Piergiulio Di Marco, Gabriele Giro, Valeria Fattori e Massimo Cocchi).
- d) *Produzione e caratterizzazione di materiali organici (coloranti fluorescenti, oligo- e poli-tiofeni, fullereni, coroneni, perileni, grafeni e DNA) per applicazioni nel settore fotovoltaico, della microelettronica e in medicina* (Nadia Camaioni, Derek Jones, Manuela Melucci, Vincenzo Palermo, Laura Favaretto e Massimo Zambianchi).

Dal 2002, con la trasformazione del FRAE in ISOE, queste linee di ricerca sono state riunite sotto l'area tematica *PHEEL (Photonics for Health, Energy and Environment Lab)*.

Tale accorpamento ha portato il grosso vantaggio che lo sviluppo di nuove molecole e nuovi materiali, con specifiche proprietà di assorbimento, luminescenza e fotoreattività, può essere affrontato utilizzando un approccio totalmente multidisciplinare che coinvolge varie discipline e tecnologie: Chimica teorica, Sintesi organica, Fotofisica, Fotochimica, Biofisica, Biochimica, Elettrochimica, Chimica delle Radiazioni, Scienza dei materiali, Microscopia ottica, Spettroscopia ottica, Optoelettronica. Queste ricerche, in perfetto accordo con la strategia EUROPA 2020, rispondono ad alcune delle sfide della nostra società, quali la necessità di utilizzare energia pulita ed efficiente, di tutelare la salute del cittadino e di preservare l'ambiente.

2. Chimica delle Radiazioni

Rispetto alla Fotochimica, la nascita e lo sviluppo della Chimica delle Radiazioni sono stati piuttosto lenti e soprattutto sono avvenuti in epoca relativamente recente. Infatti, anche se la prima osservazione di modifiche chimiche indotte da radiazioni d'alta energia si può far risalire al 1895, anno in cui Röntgen notò che i raggi X da lui scoperti annerivano una lastra fotografica, il termine Chimica delle Radiazioni è nato molto dopo. Fu proposto nel 1942 da Milton Burton per identificare le ricerche che venivano svolte da lui e da molti altri scienziati nell'ambito del Progetto Manhattan. Come Burton stesso dice [4]:

In May 1942, the title radiation chemistry did not exist [...] I sought an appropriate name from an area that we quickly realized had existed for 47 years without any name at all. The name radiation chemistry came out of the hopper; I did not like it; I asked Robert Mulliken's advice. He could not think of anything better and, with that negative endorsement, the old field received its present name.

Si dovette, comunque, aspettare la fine della Seconda Guerra Mondiale affinché i risultati di queste ricerche venissero resi pubblici e, quindi, la comparsa ufficiale della Chimica delle Radiazioni nel mondo della ricerca scientifica può essere fissata attorno al 1950. Sono stati, però, necessari altri 10 anni per assistere ai suoi progressi più importanti, arrivati con lo sviluppo di macchine acceleratrici, in grado di generare impulsi intensi e brevi di radiazioni ionizzanti, e con la realizzazione di sistemi di rilevamento veloci.

Per quanto riguarda l'Italia, la Chimica delle Radiazioni è nata a Bologna nel 1968 con l'istituzione del FRAE e, ancora una volta, se ciò si è potuto realizzare si deve fondamentalmente alla lungimiranza di Giovanni Semerano e Alberto Breccia.

Lo sviluppo organico della Chimica delle Radiazioni, iniziato negli anni 1970, si deve all'esperienza acquisita da alcuni ricercatori del FRAE che ebbero la possibilità di recarsi all'estero per lavorare con gli scienziati che, allora, erano considerati le punte di eccellenza del settore: J.H. Baxendale, Chemistry Department, University of Manchester (U.K.), G.R. Freeman, Chemistry Department, University of Edmonton (Canada), J.W. Boag, Institute of Cancer Research (U.K.), G.E. Adams, Gray Laboratory (U.K.).

Nacquero così importanti collaborazioni e con esse le prime quattro linee di ricerca [3], sotto riportate, intorno alle quali si coagularono i ricercatori del FRAE.

- a) *Meccanismi di trasferimento elettronico in composti di coordinazione.* In questo settore Quinto Giuliano Mulazzani, Paola Giordani, Margherita Venturi (borsista universitaria con un incarico di ricerca del CNR), e, successivamente, Silvano Emmi, Piergiorgio Fuochi e Mila D'Angelantonio caratterizzarono un gran numero di complessi in stati di ossidazione inusuali utilizzando le tecniche radiolitiche. La ricerca, partita sulla spinta della collaborazione con il gruppo di J.H. Baxendale (M.A.J. Rodgers e G.V. Buxton), nel giro di pochissimi anni si focalizzò sullo studio dei meccanismi di trasferimento elettronico alla base dei cicli fotocatalitici modello per la conversione dell'energia solare in energia chimica. Di fondamentale importanza a questo proposito fu la collaborazione con il gruppo di Fotochimica di Balzani dell'Università di Bologna e con M.Z. Hoffman dell'Università di Boston.
- b) *Meccanismi delle reazioni radicaliche e di trasferimento di carica in liquidi organici.* Questa ricerca, svolta inizialmente in stretta connessione con il gruppo di G.R. Freeman, fu portata avanti da Fabio Busi. Si ottennero interessanti informazioni sui fattori che regolano la radiolisi di idrocarburi e alcoli alifatici allo stato liquido e sulla cinetica delle reazioni indotte dai radicali formati in questi solventi. Successivamente lo studio si estese ai solventi clorurati, con la partecipazione di Silvano Emmi, Giancarlo Beggiato e Giuseppe Casalbore Miceli, portando alla definizione del meccanismo di formazione di specie radicaliche ossidanti.
- c) *Meccanismi delle reazioni radioindotte in sistemi di interesse biologico.* Queste ricerche hanno coinvolto Maurizio Tamba, Roberto Badiello, Marcello Quintiliani e, successivamente, Giustina Simone con la collaborazione di M. Fielden dell'Institute of Cancer Research (Sutton, U.K.), G.E. Adams e dell'I-

stituto Superiore di Sanità di Roma. Gli studi sono stati molteplici e hanno riguardato l'effetto delle radiazioni ionizzanti su composti organici del selenio e dello zolfo, su proteine enzimatiche e strutturali, su culture di batteri e di cellule normali e tumorali. Una parte della ricerca è stata anche rivolta allo sviluppo di radiosensibilizzanti e radioprotettori da usarsi in radioterapia.

- d) *Polimerizzazione radioindotta e sviluppo di nuovi materiali polimerici.* Gli studi in quest'ambito, svolti nella sede del FRAE distaccata a Legnaro da Mario Carenza e Silvano Lora in collaborazione con la Montedison (Loris Busulini) e l'Università di Padova (Giancarlo Palma), hanno riguardato la determinazione delle costanti di velocità degli stadi di propagazione e di terminazione della polimerizzazione di monomeri, lo studio dei processi di co-polimerizzazione di monomeri organici con composti inorganici per preparare prodotti con particolari caratteristiche tecnologiche e l'effetto dei raggi gamma sulle proprietà fisiche di sistemi macromolecolari soprattutto dovute alla capacità di queste radiazioni nell'indurre reticolazione.

Furono anni di grande entusiasmo e attività durante i quali il FRAE divenne il centro di riferimento nazionale ed internazionale per la Chimica delle Radiazioni anche per le importanti strumentazioni di cui si era potuto dotare, sempre grazie all'intervento di Alberto Breccia: due sorgenti di raggi gamma a ^{60}Co , un acceleratore Febetron 705-B in grado di dare impulsi di elettroni da 2 MeV e un acceleratore lineare di elettroni da 12 MeV con impulsi di durata modulabile da pochi nanosecondi ai microsecondi, capace di lavorare sia a singolo impulso che a impulsi ripetuti. Per questa macchina, di cui al mondo si contavano pochissimi esemplari date le prestazioni per quel periodo davvero eccezionali, fu costruito in località Fossatone di Medicina un apposito edificio a cupola (Fig. 3). La sua installazione, la messa a punto del sistema di rilevamento spettrofotometrico con tempi di risposta sulla scala dei nanosecondi e il controllo costante necessario per il suo buon funzionamento furono a carico dello staff tecnico del FRAE costituito da Alessandro Martelli, Vincenzo Raffaelli, Giuseppe Roffi e Andrew Hutton.

Per gli anni successivi al 1990, in quasi tutto il mondo, la ricerca di base in Chimica delle Radiazioni subì una battuta d'arresto, mentre vennero privilegiati gli aspetti applicativi. Le cose cambiarono anche a Bologna, dove il gruppo impegnato in questa disciplina si era notevolmente assottigliato (alcuni ricercatori avevano chiesto il trasferimento in sedi diverse e qualche altro era scomparso prematuramente).

Il gruppo, però, dimostrò di saper stare ugualmente al passo coi tempi sviluppando alcune linee di ricerca applicata di considerevole interesse [3].

1. *Sviluppo di nuovi materiali polimerici per applicazioni mediche e biotecnologiche* (Silvano Lora e Mario Carenza). In quest'ambito l'interesse è stato rivolto alla sintesi e alla caratterizzazione di idrogeli per l'immobilizzazione e il rilascio di specie biologicamente attive e di polimeri biocompatibili a base fosfazenica da usarsi come guaine per la ricrescita di nervi o per implantologia.



Figura 3. La cupola costruita appositamente per ospitare un acceleratore di elettroni da 12 MeV e parti dell'acceleratore.

2. *Caratterizzazione di sostanze di interesse farmacologico e cosmetico* (Maurizio Tamba, Silvano Emmi e Mila D'Angelantonio) in grado di catturare i principali radicali responsabili dell'invecchiamento cellulare, quali O_2^- , OH e RO_2^- .
3. *Studio degli effetti delle radiazioni ionizzanti su componenti elettronici* (Piergiorgio Fuochi e Marco Lavallo). Questa ricerca, importante dal punto di vista industriale e svolta in collaborazione con la società Ansaldo, ha messo in evidenza che fasci di elettroni ad alta energia possono efficacemente essere utilizzati per controllare il tempo di vita dei portatori di carica e per modificare le proprietà elettriche di dispositivi di potenza a semiconduttori, quali tiristori e diodi a ripristino veloce.

Dal 2002, quando il FRAE è diventato ISOF, il gruppo di Chimica delle Radiazioni, nonostante alcune nuove collaborazioni con Angelo Alberti, Armida Torreggiani e Chrysostomos Chatgililoglu, si è assottigliato ulteriormente per i numerosi pensionamenti e per la mancanza di nuove assunzioni, cosa che ha anche portato alla chiusura definitiva della sede di Legnaro e alla dismissione dell'acceleratore lineare di elettroni.

È importante però ricordare l'importante lavoro condotto dal 2002 al 2009 da Quinto Giuliano Mulazzani, in collaborazione con Chrysostomos Chatgililoglu,

Mila D'Angelantonio, Maurizio Guerra e altri collaboratori del gruppo Biofreeradicals, sull'ossidazione radiolitica di componenti del DNA e relativo meccanismo di reazione, lavoro testimoniato da pubblicazioni su riviste di prestigio del settore.

3. Conclusioni

Come già detto, la nascita del CNR a Bologna si deve fondamentalmente a Giovanni Semerano e ad Alberto Breccia, da sempre attenti ai nuovi filoni di ricerca in ambito internazionale. Alberto Breccia ha inoltre avuto il grande pregio di capire che per fare buona ricerca ci vogliono fondi adeguati, strumentazioni d'avanguardia e spazi consono. Ha lavorato infatti su tutti questi fronti: ha cercato di far aumentare in maniera consistente i finanziamenti per la ricerca nelle Scienze Chimiche [1]; si è adoperato per l'acquisto dell'acceleratore lineare di elettroni da 12 MeV, una macchina con prestazioni eccezionali che ha permesso di fare ricerca di altissimo livello nell'ambito della Chimica delle Radiazioni, e, da ultimo, ha lavorato affinché si costruisse l'Area della Ricerca del CNR in via Gobetti 101 (Fig. 4), che assieme a gran parte dei dipartimenti scientifici dell'Università di Bologna che si stanno trasferendo in quella zona, diventerà un polo scientifico di grande rilevanza

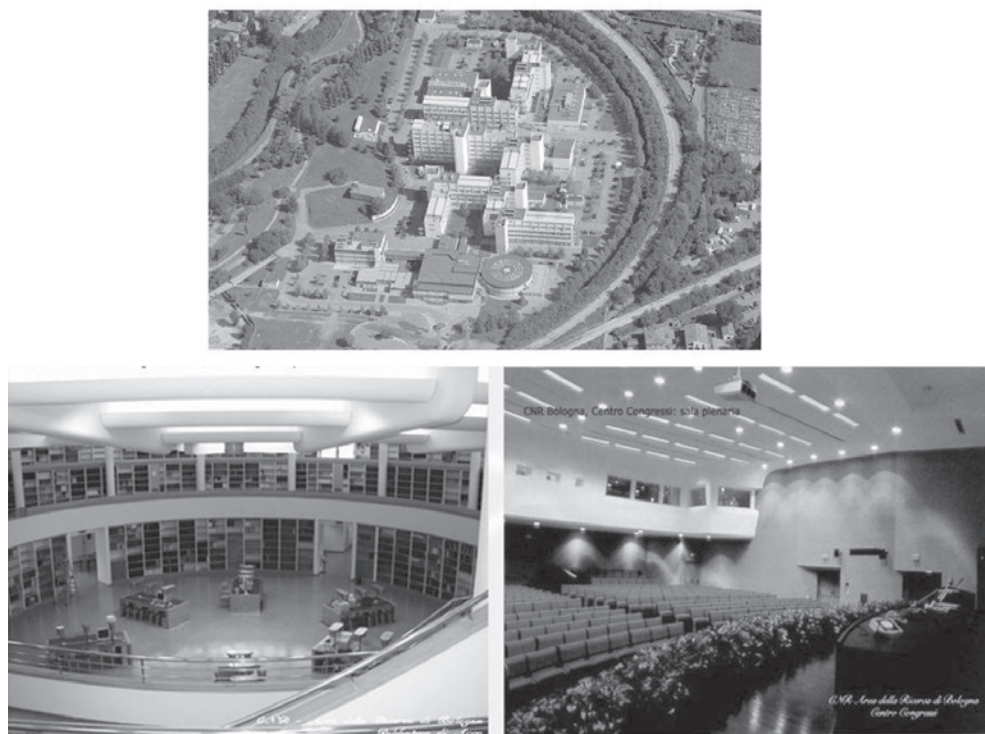


Figura 4. Area della Ricerca del CNR a Bologna, la biblioteca e la sala conferenze.

Bibliografia

- [1] A. Breccia Fratadocchi, *Chim. Ind.*, 1 (2013) 124.
- [2] G. Ciamician, *Science*, 36 (1912) 385.
- [3] V. Balzani, M. Venturi, in: *Nuovi Ponti tra Scienza e Società – il CNR, crocevia della cultura italiana* (Bollati Boringhieri, Torino, 2011) p. 199.
- [4] M. Burton, *Chem. Eng.*, 47 (1969) 86.

L'attualità bolognese nello sviluppo delle Scienze Chimiche

Luca Prodi, Angelo Vaccari***

Un evento cardine nello sviluppo delle scienze sperimentali a Bologna è rappresentato dalla fondazione nel 1711 dell'Istituto delle Scienze ad opera di Luigi Ferdinando Marsigli (1658-1730) come organismo parallelo e complementare all'Università, con lo scopo di modificarne il sistema educativo basato su astratte lezioni teoriche, privilegiando le materie scientifiche ed improntando l'insegnamento sulla dimostrazione pratica [1, 2]. Le materie scientifiche ed in particolare la Chimica hanno avuto in seguito un impetuoso sviluppo grazie al contributo di eminenti scienziati o insigni benefattori, come ad esempio Giacomo Ciamician (1857-1922) [3, 4] o Luciano Toso Montanari (1849-1920) [5, 6], il cui ricordo si perpetua nei nomi dei Dipartimenti di Chimica e Chimica Industriale. Alla data del presente convegno i chimici dell'Alma Mater Studiorum – Università di Bologna (UNIBO) sono circa duecento, principalmente raggruppati in tre Dipartimenti: il Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician” (CHIM, 76 docenti), il Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari” (CHIMIND, 56 docenti) e il Dipartimento di Farmacia e Biotecnologie (FABIT, 42 docenti appartenenti al macrosettore CUN 03) (Fig. 1).

Altri docenti dei settori chimici, presenti numericamente in misura inferiore, ma con punte di eccellenza scientifica, afferiscono ai Dipartimenti di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali (DICAM), di Scienze e Tecnologie Agro-alimentari (DISTAL) e di Scienze per la Qualità della Vita (QUVI, presso la Sede di Rimini).

* Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, Università di Bologna.

** Professore Alma Mater e Professor Honorario dell'Universidad del Litoral di Santa Fé (Arg), già Direttore del Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali e del Dipartimento di Chimica Industriale. Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari”, Università di Bologna.



Figura 1. Le sedi “storiche” dei tre principali Dipartimenti chimici di UNIBO.

1. L’offerta didattica

In UNIBO nell’a.a. 2017-18 i corsi di laurea (CdL) chimici coinvolgono circa 2700 studenti regolari (con oltre 40% di donne), dei quali circa 1500 al FABIT, 700 a CHIMIND e 500 a CHIM. È interessante notare l’elevato valore del tasso di occupazione ad un anno, è mediamente circa del 50%, superiore alla media nazionale per gli analoghi CdL, ai quali occorre aggiungere una percentuale importante impegnata nei cicli superiori (20%).

In particolare, l’offerta formativa di CHIM prevede una laurea triennale (LT) in Chimica e Chimica dei Materiali (a Bologna) e tre lauree magistrali (LM) in Chimica, con un Curriculum internazionale “Chemical Innovation and Regulation - ChIR” e in Fotochimica e Materiali Molecolari a Bologna ed uno in Science for the Conservation - Restoration of Cultural Heritage a Ravenna. L’offerta di CHIMIND consiste di due LT (in Chimica Industriale a Bologna e in Chimica e Tecnologie per l’Ambiente e i Materiali, con due indirizzi rispettivamente focalizzati sull’Ambiente a Rimini e sui Materiali a Faenza) e di due LM (in Chimica industriale ed in Advanced Spectroscopy in Chemistry, entrambe a Bologna). Infine, FABIT, integrando la componente chimica con quelle biologica e medica, offre tre LM a Ciclo Unico (due in Farmacia – a Bologna e Rimini – ed una in Chimica e Tecnologie Farmaceutiche a Bologna), due LT (in Scienze Farmaceutiche Applicate a Imola e in Biotecnologie a Bologna) e una laurea magistrale (Biotecnologie Farmaceutiche a Bologna).

Si tratta sicuramente di un’offerta didattica particolarmente ampia, alla quale si andranno presto ad aggiungere nuovi corsi di studio – tutti progettati in lingua inglese per aumentare l’attrattività internazionale del nostro Ateneo – dedicati a settori importanti per le sfide scientifiche, sociali ed economiche che comportano, testimoniando una grande vivacità del tessuto bolognese. In particolare, è in corso l’attivazione di una LT

(Genomics) da parte del FABIT e di due LM (Advanced Cosmetic Sciences) a Rimini da parte di CHIM e Low Carbon and Sustainable Chemistry-LoCaTe- a Bologna da parte di CHIMIND.

Inoltre, UNIBO offre al momento due Masters in campo chimico, che hanno in comune le tematiche innovative ed un'elevata interazione con numerose Aziende non solo del territorio: uno sui Materiali Compositi (Ma.Co.F) a Faenza ed uno sui Materiali e Prodotti Polimerici per il Settore Biomedicale organizzato insieme all'Università di Modena (Fig. 2).

MA.CO.F. MASTER IN MATERIALI COMPOSITI FAENZA

SPONSOR

BLA-KS, BUCCI INDUSTRIES, SANLORENZO, CURTI, ELANTAS, NETZSCH, Riba, UMANA, GIULIANI, IEMCA, SINTECO, TOP CARBON, VIRE.

SOSTENITORI

BCC, CETHA, GHT, Diamant Filtration, DOW, EMI, FIBRE, grafitecompositi.it, MASERATI, METAL TIG, MSC Software, MICRONS, POTTINGER, romagnatech, scm group, TEC Surclub.

MATERIALI E PRODOTTI POLIMERICI PER IL SETTORE BIOMEDICALE

Master di II livello

con il patrocinio di

Distributed by **Medtronic**, **FRESENIUS KABI** caring for life, **LivaNova** Health innovation that matters, **altran**, **Lilly**.

Figura 2. I due Masters in settori avanzati della Chimica con le relative aziende coinvolte.

Anche il terzo livello della formazione universitaria offre un'ampia e qualificata scelta a cominciare dal Dottorato di Ricerca in Chimica, promosso dai due Dipartimenti chimici, rappresentando, a nostro giudizio, un caso virtuoso di sinergia tra differenti Dipartimenti. Gli studenti che conseguono il Dottorato di Ricerca in Chimica, valutato di eccellenza a livello nazionale, trovano facilmente lavoro presso Aziende o Strutture di ricerca nazionali ed internazionali.

Gli stessi Dipartimenti chimici hanno inoltre promosso il nuovo corso di Dottorato in "Nanoscienze per la medicina e per l'ambiente" assieme ad altri 3 Dipartimenti: il Dipartimento di Fisica e Astronomia (DIFA), il DISTAL ed il Dipartimento di Medicina Specialistica, Diagnostica e Sperimentale (DIMES), nella convinzione che la promozione di azioni fortemente interdisciplinari, in un contesto generalmente più settoriale, sia fondamentale per sostenere la ricerca più avanzata nelle aree scientifiche, mediche e tecnologiche, settori di punta della ricerca di UNIBO.

2. L'impatto sulla ricerca scientifica

Come si evince dalla Tabella 1 [7] relativa all'anno 2017, la Chimica bolognese è oggi un'eccellenza nel panorama italiano, rivestendo un ruolo importante anche nel contesto internazionale in forza delle numerose pubblicazioni su riviste scientifiche qualificate e dell'elevato numero di citazioni che esse ricevono. Inoltre, recentemente CHIM è entrato nel novero dei Dipartimenti finanziati dal bando dei Dipartimenti di Eccellenza, Legge n. 232 del 11 dicembre 2016, con un finanziamento complessivo di 8.500.000 € su un arco temporale di cinque anni.

Inoltre, più di 1.500.000 € sono previsti per l'acquisto di strumentazioni e l'attivazione di infrastrutture con modalità concordate tra i tre Dipartimenti chimici principali (CHIM, CHIMIND e FABIT) e con analoghe modalità verrà gestito il finanziamento di 500.000 € complessivo ricevuto dai tre Dipartimenti nell'ambito del bando Alma Attrezzature 2017. In un contesto nel quale l'obsolescenza delle attrezzature per la ricerca e la didattica rappresenta un fattore fortemente penalizzante, questi due interventi sono particolarmente importanti, nell'auspicio che ad essi possano seguire ulteriori analoghi interventi. È inoltre, a nostro parere, da sottolineare come la progettazione comune di questi investimenti abbia rappresentato un valore aggiunto per l'Ateneo che auspichiamo possa rimanere come stile consolidato anche per le prossime scelte.

Per quanto riguarda i finanziamenti della ricerca, sono state censite nel 2017 entrate per 5,50 M€, provenienti in particolare da istituzioni europee ed internazionali (1,55 M€), attività commerciale (1,30 M€), PRIN ad altre fonti istituzionali nazionali (1,02 M€), Bilancio di Ateneo (BID, BIR e BDF) (1,08 M€) e Fondazioni (0,55 M€).

Infine, ma certamente non meno importante, piace rimarcare che in UNIBO sono attive a gennaio 2018 sette aziende spin-off chimiche e che 45 sono stati i brevetti attualmente attivi di proprietà dell'università con docenti chimici come autori.

QS World University Rankings by Subject®  and QS Stars		
Europe  Italy 		
RANK	UNIVERSITY	LOCATION
Overall... 	Search for universities... 	
51-100	 Alma Mater Studiorum - University of Bologna	 
101-150	 Sapienza University of Rome	 
151-200	 University of Florence	 
151-200	 University of Milan	 
151-200	 Università di Padova	 

Tabella 1. Classifica a livello nazionale della ricerca in UNIBO [7].

3. Il nuovo insediamento del Navile

Se, come ricordato, gli investimenti in attrezzature rimangono insufficienti per sostenere con successo le sfide internazionali nel lungo periodo, sta invece ormai venendo a compimento la realizzazione di un nuovo insediamento al Navile (Fig. 3), contiguo all'area CNR dove è particolarmente forte la componente chimica, generando le basi per una forte sinergia sia interna a UNIBO che con il CNR, con evidenti vantaggi per tutta la comunità scientifica bolognese.

In questo contesto sono previsti, al momento di questo convegno, 114 Laboratori per complessivi 4481 mq effettivi, 140 studi per docenti e ricercatori (2664 mq), 28 studi per il personale Tecnico Amministrativo (554 mq), 10 sale riunioni (293 mq), un centro strumenti (325 mq) e depositi per 900 mq circa. Per la didattica, oltre alle aule già esistenti ed alle tre più capienti previste in un nuovo edificio di prossima costruzione, ci saranno 6 laboratori didattici da 110 posti (2280 mq), 6 studi per il personale Tecnico Amministrativo di supporto (138 mq) e 6 sale strumenti (153 mq).



Figura 3. Il nuovo insediamento al Navile per le attività didattiche e di ricerca chimiche.

4. Conclusioni

L'ampia e qualificata offerta della Chimica bolognese nelle sue diverse strutture permette di intercettare le differenti richieste di formazione e di ricerca da parte del tessuto produttivo regionale, nazionale ed internazionale. Permette inoltre di donare ai giovani una formazione di base di qualità accoppiata a cammini diversificati che li possano portare ad affrontare con successo le sfide del mondo del lavoro. La presenza dei diversi profili fondati su collaudate esperienze e competenze, che vengono offerti in maniera sinergica, non rappresenta una sterile duplicazione, ma al contrario una significativa ricchezza che ulteriormente rafforza l'eccellenza della chimica bolognese.

Bibliografia

- [1] www.museocereanatomiche.it.
- [2] www.unibo.it/musei/palazzopoggi.
- [3] *Atti del Simposio su "L'eredità di Giacomo Ciamician a Bologna"*, Bologna, 25 ottobre 1996, (Lo Scarabeo Editrice, Torino, 1996).
- [4] *Ciamician – Profeta dell'Energia solare, Atti del convegno storico scientifico in occasione del 150° anniversario della nascita*, 16-18 settembre 2007 (Fondazione Eni Enrico Mattei, Milano, 2007).
- [5] www.chimica-industriale.unibo.it/it/dipartimento/presentazioni/la.storia.
- [6] *Annuario della Real Scuola Superiore di Chimica Industriale di Bologna* (Società tipografica già Compositori, Bologna, 1925-1931).
- [7] www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2018.

TAVOLA ROTONDA

Le nuove frontiere della Chimica: energia, materiali innovativi, nanotecnologie

Coordinatore: *Vincenzo Balzani*

Innovazione, sostenibilità ecologica, sostenibilità sociale

Vincenzo Balzani*

Non è possibile continuare con l'economia lineare, basata sul falso presupposto che le risorse siano infinite. È necessario passare all'economia circolare. L'innovazione, motore della crescita e dello sviluppo, non deve generare consumismo e disuguaglianze, ma sostenibilità ecologica e sociale.

1. I limiti del pianeta Terra

Il pianeta Terra su cui viviamo è una specie di astronave che viaggia nell'infinità dell'Universo. È un'astronave del tutto speciale perché non potrà mai “atterrare” in nessun luogo per fare rifornimento, per essere riparata o per sbarazzarsi dei rifiuti che vi si accumulano. L'unico rapporto con l'esterno è la luce che riceve dal Sole, risorsa fondamentale per la vita dei 7,3 miliardi di passeggeri.

La prima cosa di cui essere consapevoli è che il pianeta Terra ha dimensioni “finite” [1]. Pertanto, fatta eccezione per l'energia solare, le risorse di cui disponiamo sono limitate ed è limitato anche lo spazio in cui collocare i rifiuti. Si tratta di una realtà innegabile; eppure, spesso, viene ignorata.

Nel 1980, le risorse, utilizzate, estratte dalla Terra ammontavano a 40 miliardi di tonnellate; nel 2015 sono salite a circa 70 miliardi di tonnellate, pari a 27 kg per persona al giorno. Alle risorse utilizzate vanno aggiunte quantità da due a tre volte maggiori di risorse estratte ma difficili da utilizzare, rapporto che aumenta costantemente, man mano che i depositi di risorse più ricchi si vanno esaurendo [2]. Ci si può chiedere: rimarrà qualcosa per le future generazioni?

Le dimensioni finite del pianeta hanno conseguenze anche per quanto riguarda la collocazione dei rifiuti [3] che si producono ogni volta che si usano risorse; non pos-

* Accademico Benedettino, Professore Emerito dell'Università di Bologna. Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, Università di Bologna.

siamo sbarazzarcene collocandoli in un non esistente “non luogo”. I rifiuti finiscono inesorabilmente sotto terra, sulla superficie della terra, sulla superficie o sul fondo dei mari e nell’atmosfera; in ogni caso, con conseguenze poco piacevoli. Le scorie di materie plastiche che si sono accumulate nell’Oceano Pacifico formano un’“isola” grande come l’Europa. La quantità di anidride carbonica riversata in atmosfera supera i 30 miliardi di tonnellate all’anno e, come sappiamo, causa un aumento dell’effetto serra ed i conseguenti cambiamenti climatici.

2. Economia lineare ed economia circolare

Queste semplici considerazioni devono farci capire che non è possibile continuare con l’economia lineare (Fig. 1), basata sul falso e ingannevole presupposto [4] che le risorse siano infinite e che non ci siano problemi per la collocazione dei rifiuti. Non è possibile, cioè, continuare col consumismo e con “l’usa e getta”. Questo tipo di economia ci sta portando sull’orlo del baratro ecologico [5] ed è la causa delle crescenti, insostenibili disuguaglianze [6]. Anche il Papa, nell’enciclica “Laudato si” [7], lancia un appello accorato: “Di fronte al deterioramento globale dell’ambiente, voglio rivolgermi a ogni persona che abita questo pianeta. Ciò che sta accadendo ci pone di fronte all’urgenza di procedere in una coraggiosa rivoluzione culturale”.

È necessario passare quanto prima dall’economia lineare all’economia circolare (Fig. 2), nella quale le risorse vengono usate in quantità il più possibile limitate (risparmio) e in modo intelligente (efficienza), per fabbricare oggetti programmati non solo per essere usati, ma anche, quando è necessario, per essere riparati e poi riusati, raccolti e riciclati per fornire nuove risorse. Gli ammonimenti degli scienziati [8], le direttive dell’Unione Europea, le decisioni prese alla Conferenza COP21 di Parigi sui cambiamenti climatici [9] e la bellissima enciclica “Laudato si” di papa Francesco [7] sono esattamente su questa linea.

3. Innovazione: per fare cosa?

Abbiamo faticosamente attraversato un periodo di recessione. Economisti e politici ci dicono che per uscirne dobbiamo consumare di più perché, se crescono i consumi, cresceranno anche la produzione, l’occupazione e il PIL. Le parole d’ordine sono sviluppo, crescita ed innovazione. L’innovazione, parola oggi così frequentemente usata (20.800.000 voci su Google), è considerata il motore dello sviluppo e della crescita. All’innovazione si chiede dunque di fare aumentare i consumi, cioè di creare prodotti nuovi, sempre più attraenti e desiderabili per il consumatore. Non importa se si tratta di prodotti inutili, perché con la pubblicità si possono sempre imporre sul mercato. Meglio se si riescono a programmare perché si rompano dopo breve tempo, così che si dovranno gettare e non avremo scrupoli nel comprare il modello più recente. Non

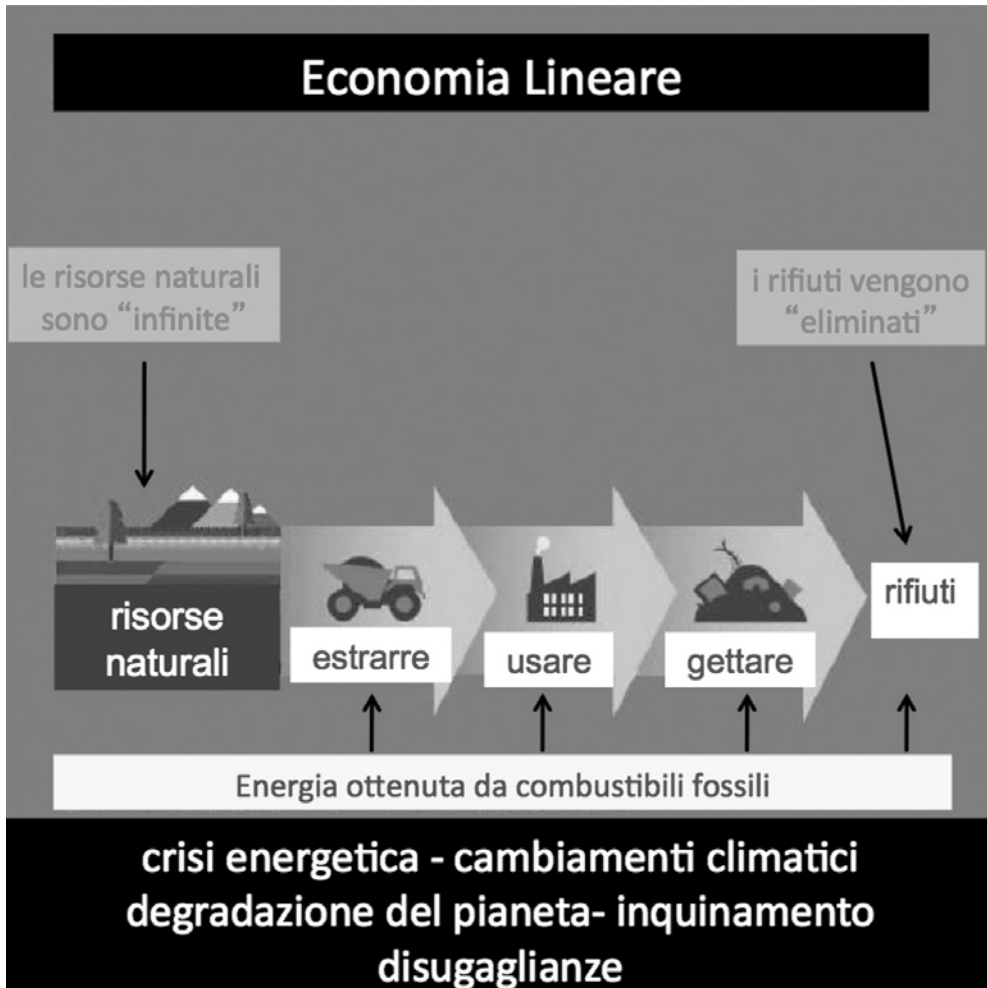


Figura 1. Schema di un sistema economico lineare che presuppone risorse in quantità infinita e spazi infiniti dove collocare i rifiuti [4].

dobbiamo neppure preoccuparci di produrre rifiuti, perché troveremo sempre un modo per farli scomparire dalla nostra vista: nascondendoli sottoterra, bruciandoli perché se ne vadano, invisibili, in quella immensa discarica comune che è l'atmosfera, oppure gettandoli nei mari che ricoprono tre quarti della superficie del pianeta. Nel caso dei rifiuti elettronici, poi, potremo continuare a "regalarli" ai paesi sottosviluppati dell'Asia o dell'Africa, dove ci saranno sempre dei poveri che tenteranno di ricavarne qualcosa, con gravi rischi per la loro salute [10].

Una simile ricetta, però, è profondamente sbagliata perché è basata sull'economia lineare ed è quindi insostenibile. Un'innovazione volta soltanto ad aumentare i consumi ci porterebbe al disastro collettivo nel giro di qualche decina d'anni o forse

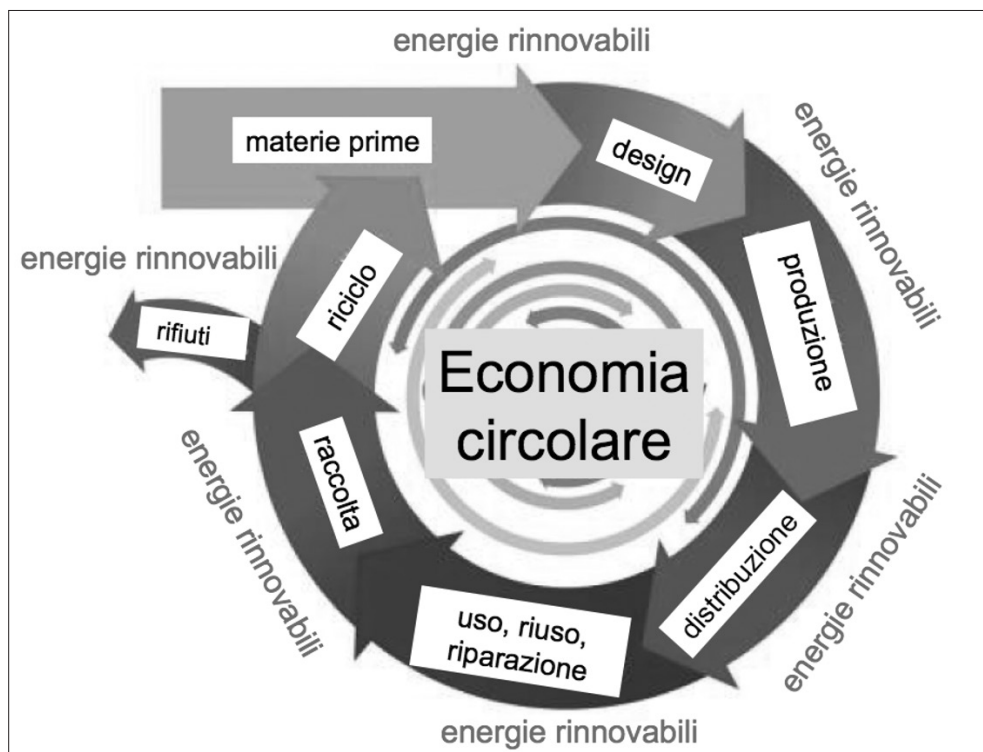


Figura 2. Schema di un sistema economico circolare basato sul concetto che le risorse sono limitate. Quindi bisogna usarle con parsimonia, mediante processi aventi la massima efficienza, per fabbricare prodotti programmati non solo per essere usati, ma anche riparati, riusati e riciclati per ottenere nuove risorse [4].

prima. Sappiamo bene che continuando ad immettere anidride carbonica nell'atmosfera stiamo causando cambiamenti climatici sempre più disastrosi ed irreversibili. Sappiamo che le risorse non rinnovabili sono in quantità limitata e che molte di esse hanno già superato il picco di produzione [11]. Sappiamo anche che le risorse rinnovabili, ad esempio gli alberi delle foreste e i pesci del mare, non possono sostenere consumi al di sopra di certi limiti [12].

Un classico esempio di ricetta sbagliata è l'accordo fra Governo, Regione Emilia-Romagna e Audi (l'azienda tedesca che possiede la Lamborghini) per la produzione del nuovo SUV Lamborghini a Sant'Agata Bolognese; un accordo celebrato da alcuni politici ed industriali come straordinario esempio di innovazione [13]. Ma tutti sanno che c'è poco o nulla da innovare nei motori a scoppio, usati da più di un secolo. Se si vuol fare innovazione nel campo delle automobili, oggi la si può fare solo sulle auto elettriche (motori elettrici, batterie, dispositivi di ricarica veloce, ecc.), come in effetti stanno facendo le industrie americane, giapponesi e tedesche. I motori elettrici non causano danni all'ambiente e hanno un rendimento tre volte superiore ai motori a scoppio. Per capire quanto poco innovativo sia il SUV Lamborghini, presentato al salone di Pechino

nel 2012, basta pensare che nel 2025 Olanda, Norvegia e anche India prevedono di vietare la vendita ad auto con alimentazione a benzina o gasolio [14].

Con la sua mostruosa potenza di 600 CV, il SUV Lamborghini è un emblema del consumismo e della “civiltà” dell’usa e getta, dalla quale le vere innovazioni dovrebbero farci uscire. Col suo costo di 250.000 euro, è anche l’icona delle disuguaglianze, causa prima dell’insostenibilità sociale.

4. Innovazione per un mondo sostenibile

Sviluppo, crescita ed innovazione oggi sono parole che vanno declinate non più nell’ambito dell’economia lineare, ma dell’economia circolare, la sola che può assicurare un futuro al pianeta ed ai suoi abitanti.

Parlare genericamente di innovazione senza qualificarla non ha senso. Bisogna guardarsi bene da ogni innovazione basata su maggior consumo di risorse, maggior produzione di rifiuti e aumento delle disuguaglianze. L’unica innovazione che dobbiamo perseguire è quella che ha per obiettivo la sostenibilità nel suo duplice aspetto: sostenibilità ecologica e sostenibilità sociale. Infatti, come scrive papa Francesco nella sua enciclica [7]: “Non ci sono due crisi separate, una ambientale e un’altra sociale, bensì una sola e complessa crisi socio-ambientale. Le direttrici per la soluzione richiedono un approccio integrale per combattere la povertà, per restituire la dignità agli esclusi e nello stesso tempo per prendersi cura della natura”.

5. Cosa innovare

Le prime cose da innovare sono istruzione e cultura. Bisogna far sapere a tutti i cittadini, in particolare ai giovani, qual è la situazione reale del mondo in cui viviamo riguardo risorse, rifiuti e disuguaglianze. L’istruzione è in gran parte di competenza dello Stato, ma anche a livello locale si può fare molto. Lo possono fare, con opportuni corsi di aggiornamento, i comuni, le regioni, le confederazioni degli industriali e degli artigiani. Lo possono fare le grandi e anche le piccole imprese con appositi *stages* per gli studenti. Possono contribuire con iniziative culturali le Fondazioni bancarie, le parrocchie e le associazioni di ogni tipo.

Nell’industria, nell’agricoltura e nei trasporti innovazione per la sostenibilità significa anzitutto ridurre i consumi di energia, di acqua, di suolo e di materie prime, eliminando sprechi ed aumentando l’efficienza dei processi. Il risultato sarà anche una diminuzione dei costi di produzione.

Un settore particolarmente importante è quello dei consumi energetici. Nei prossimi anni il costo dell’energia è destinato ad aumentare e l’uso dei combustibili fossili sarà progressivamente penalizzato. Quindi, l’innovazione deve essere volta a consumare di meno e facilitare la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili [1, 15].

Consumare meno energia mediante innovazioni nei vari stadi di un processo industriale è una strada già seguita con successo da molte imprese di ogni tipo e dimensione.

Per le industrie, il passaggio dall'uso dei combustibili fossili a quello delle energie rinnovabili nella maggior parte dei casi è facilitato dalla disponibilità di tetti, terrazze, coperture per parcheggi e altri spazi inutilizzati dove si possono installare, senza grandi costi, pannelli fotovoltaici, collettori termici e in taluni casi anche pale eoliche. Nelle regioni ricche di scarti vegetali la produzione di energia da biomassa può dare un contributo. L'esempio più eclatante di grande industria che ha affrontato seriamente il problema energetico è quello della Tesla che nel nuovo gigantesco stabilimento del Nevada, in cui verranno costruite batterie al litio per auto elettriche, tutta l'energia necessaria sarà autoprodotta con fonti rinnovabili (*net Zero Energy*) [16].

Al risparmio nel consumo di energia deve affiancarsi il risparmio nel consumo delle materie prime. Tecnici specializzati in questi settori e nella valutazione dell'impatto ambientale sia dei rifiuti che dei prodotti giocheranno un ruolo sempre più importante per creare un mondo sostenibile.

Come già accennato, nell'economia circolare la progettazione di un prodotto deve prevedere non solo l'uso a cui il prodotto è destinato, ma anche la possibilità che possa essere riparato, ad esempio mediante la sostituzione delle sue parti più soggette all'usura. In fase di progettazione si dovrà anche tener conto del fatto che, quando il prodotto non potrà più essere usato come tale, si possano usare per altri scopi alcune sue parti, facilmente individuabili e separabili. Infine, il prodotto deve essere progettato considerando anche la facilità di procedere al riciclo dei suoi singoli componenti per rigenerare risorse. Un numero sempre maggiore di imprese si dedicherà al recupero dei materiali e l'innovazione giocherà un ruolo importante nel rendere il riciclo sempre più efficiente ed economicamente conveniente (*waste = opportunity* [17]). Tutto ciò permetterà di generare nuovi posti di lavoro. In un mondo con risorse limitate, ma sempre più digitalizzato e interconnesso, verranno venduti sempre di più servizi piuttosto che prodotti. A causa dell'aumento dei costi di trasporto, le imprese basate su materiali devono rivolgersi a mercati ristretti, mentre chi vende informazioni può operare su un mercato globale (*atoms are local, bits are global* [17]).

Le imprese debbono considerare che l'innovazione responsabile, cioè l'innovazione nella direzione della sostenibilità, sarà sempre più premiata perché si va diffondendo fra la gente la consapevolezza che bisogna porre rimedio alla crisi energetica e climatica e più in generale ai danni causati dall'economia dell'usa e getta. Già oggi molti acquirenti, e il loro numero aumenterà costantemente, sono disposti a pagare di più se hanno la certezza che quello che comprano è stato prodotto seguendo i criteri della sostenibilità. Un modo efficace per acquistare quote di mercato è pubblicizzare il valore aggiunto, ecologico ed etico, che deriva da una produzione sostenibile.

L'altro aspetto della sostenibilità, quello relativo alle disuguaglianze, è oggetto di numerosi studi. La storia mostra che la disuguaglianza è una conseguenza del progresso [18]. Le fughe in avanti di poche nazioni o di poche persone lasciano indietro, inesorabilmente, molte nazioni e molte persone. Purtroppo in molti casi lo sviluppo di un paese

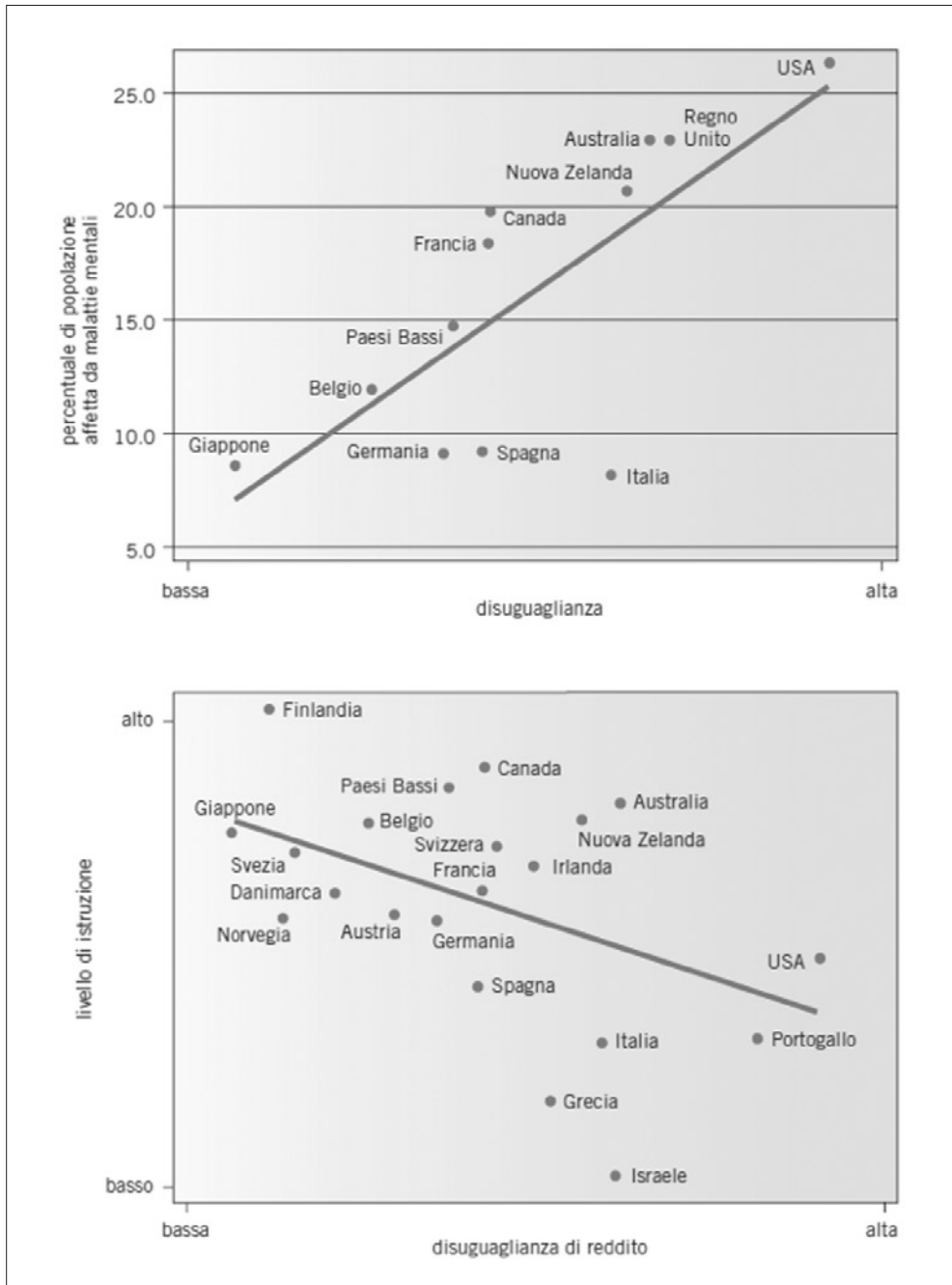


Figura 3. Al crescere della disuguaglianza economica, aumentano gli indici di malessere, quali la percentuale di persone affette da malattie mentali (parte alta della figura), la mortalità infantile, gli omicidi, il numero dei carcerati, l'obesità e l'abuso di droghe, mentre diminuiscono gli indici di benessere identificabili con il livello di istruzione (parte bassa della figura), la fiducia reciproca, la mobilità sociale, la vita comunitaria e il benessere dei bambini. La figura illustra i dati riportati in [20].

avviene a spese di un altro e lo sviluppo di una classe sociale a spese di un'altra, e questo non dovrebbe accadere. Il capitalismo produce meccanicamente delle ineguaglianze insostenibili, arbitrarie. La disuguaglianza di reddito si autoalimenta e dovrebbe essere frenata con tetti agli stipendi troppo elevati e con una appropriata tassazione progressiva [6]. Un'indagine estesa a molti Paesi sviluppati [19] indica che i problemi sociali e sanitari sono tanto più gravi quanto maggiore è la disuguaglianza di reddito nella popolazione e che, indipendentemente dal reddito medio, al crescere della disuguaglianza aumentano gli indici di malessere e diminuiscono quelli di benessere (Fig. 3 [20]). Nel Regno Unito, per esempio, si è stimato che basterebbe dimezzare la disuguaglianza di reddito per ridurre del 65% le malattie mentali e aumentare dell'85% il livello di fiducia, con beneficio non solo dei poveri, ma della società nel suo insieme. Quindi, nei Paesi sviluppati, se si vuole aumentare la qualità della vita, non è tanto importante perseguire un'ulteriore crescita economica, ma piuttosto si devono ridurre le disuguaglianze. Non si possono risolvere i problemi del mondo producendo di più e, allo stesso tempo, aumentando le disuguaglianze, come è avvenuto negli scorsi decenni. D'altro canto, le disuguaglianze non possono essere risolte con una caritatevole politica sociale perché è il lavoro che dà dignità all'uomo. C'è da innovare, quindi, anche nei rapporti fra imprese e lavoratori. Il Papa dice che "Il lavoro è una necessità, è parte del senso della vita su questa terra, via di maturazione, di sviluppo umano e di realizzazione personale. [...] L'attività imprenditoriale, che è una nobile vocazione orientata a produrre ricchezza e a migliorare il mondo per tutti, può essere un modo molto fecondo per promuovere la regione in cui colloca le sue attività, soprattutto se comprende che la creazione di posti di lavoro è parte imprescindibile del suo servizio al bene comune" [7].

6. Conclusione

L'innovazione è e rimarrà sempre il motore della crescita e dello sviluppo. Ma oggi sappiamo che crescita e sviluppo devono essere governati non più dal consumismo, ma dalla sostenibilità ecologica e sociale. Ci vuole molta innovazione per ottimizzare l'uso delle risorse, evitare sprechi, fare di più con meno, massimizzare l'efficienza dei processi, ridurre la quantità di rifiuti, mirare alla riparazione e non alla rottamazione, riciclare e anche per ridurre le disuguaglianze all'interno di ciascuna nazione, fra le nazioni e fra il Nord e il Sud del mondo.

L'abbandono del consumismo e lo sviluppo di un'economia circolare sostenibile dipende anche da ciascuno di noi. Un cambiamento nei nostri stili di vita può esercitare una forte pressione su coloro che detengono il potere politico ed economico e che ci spingono all'usa e getta. Come suggerisce papa Francesco, "la coscienza della gravità della crisi culturale ed ecologica deve tradursi in nuove abitudini" [7].

Il problema di ridurre le disuguaglianze per aumentare la qualità della vita di tutta la società deve essere affrontato dalla politica e dall'economia, a tutti i livelli: regionale, nazionale, europeo, globale. Non dobbiamo dimenticare però che ciascuno di noi, nel

campo in cui opera, con le competenze di cui dispone, nella situazione in cui si trova, può dare un suo valido contributo per costruire una società più equa e più giusta, facendo leva sulle preziose energie spirituali che caratterizzano l'uomo: responsabilità, sobrietà, collaborazione, solidarietà, amicizia, creatività.

Bibliografia

- [1] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra. Terza edizione: l'era delle rinnovabili* (Zanichelli, Bologna, 2017).
- [2] http://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Factsheet_Measuring_Resource_Extraction.pdf accessibile da <http://wupperinst.org/en/a/wi/a/s/ad/2148/>.
- [3] V. Balzani, M. Venturi, *Energia, risorse, ambiente* (Zanichelli, Bologna, 2014).
- [4] V. Balzani, "Salvare il pianeta: energie rinnovabili, economia circolare, sobrietà", *La Chimica e l'Industria online*, 5(7) ottobre (2018) 4-20.
- [5] L.R. Brown, *World on the Edge: How to Prevent Environmental and Economic Collapse* (Earth Policy Institute, Washington, DC, 2011).
- [6] T. Piketty, *Disuguaglianze* (Università Bocconi Editore, Milano, 2014).
- [7] Papa Francesco, *Laudato si', Lettera enciclica sulla cura della casa comune* (Paoline Editoriale Libri, Roma, 2015).
- [8] <https://ipccitalia.cmcc.it/ipcc-special-report-global-warming-of-1-5-c/>.
- [9] <http://www.accordodiparigi.it/>.
- [10] <http://ourworld.unu.edu/en/toxic-e-waste-dumped-in-poor-nations-says-united-nations>.
- [11] U. Bardi, *Extracted: How the Quest for Mineral Wealth Is Plundering the Planet* (Chelsea Green Publishing, White River Junction, VT, USA, 2014).
- [12] <http://www.footprintnetwork.org/it/>.
- [13] <http://www.regione.emilia-romagna.it/notizie/2015/maggio/nuovo-suv-lamborghini-firmato-a-palazzo-chigi-protocollo-dintesa-tra-ministero-sviluppo-economico-e-regione>.
- [14] www.huffingtonpost.it/.../auto-elettriche-olanda_n_9640970.html.
- [15] A.B. Lovins, *Reinventing Fire: Bold Business Solutions for the New Energy Era* (Chelsea Green Publishing, White River Junction, VT, USA, 2011).
- [16] <https://www.teslamotors.com/gigafactory>.
- [17] J.B. Moody, B. Nogrady, *The Sixth Wave: How to Succeed in a Resource-limited World* (Random House Australia Pty Ltd, North Sidney, 2010).
- [18] A. Deaton, *La Grande fuga: salute, ricchezza e origini della disuguaglianza* (Il Mulino, Bologna, 2015).
- [19] <https://www.equalitytrust.org.uk/>.
- [20] <http://www.slideshare.net/equalitytrust>.

La chimica inquina o protegge l'ambiente?

Nuovi strumenti per produrre e manipolare le sostanze chimiche a favore dell'uomo e dell'ambiente

Emilio Tagliavini*

1. La chimica è essenziale

Prima di porci il problema se la chimica inquina l'ambiente o lo protegge, se è una minaccia per la nostra e le altre specie o se è il principale strumento per la tutela del nostro benessere e la salvaguardia dell'intero biota, dovremmo forse chiederci se possiamo farne a meno, risolvendo a priori la questione. La risposta è definitivamente no.

Studiamo la chimica e cerchiamo di approfondirla perché essa è uno dei principali strumenti di comprensione della natura, e pertanto della nostra essenza. *"Fatti non foste a viver come bruti, ma per seguir virtute e canoscenza"* è stato detto una volta, ma resterà valido in eterno. E questo sgombra il campo dalla domanda retorica.

Ma ci sono tanti altri motivi per interessarci di chimica. Essa è tra i principali motori del benessere della specie *Homo sapiens* [1]. Possiamo facilmente elencare alcuni dei settori in cui ciò si è realizzato (Fig. 1):

- FARMACI
- FRAGRANZE
- TESSUTI
- POLIMERI
- ADDITIVI
- DETERGENTI
- PIGMENTI
- ECC. ECC. ECC.



MATERIALI PER
LIQUID CRYSTAL
DEVICES -LCD

SISTEMI DI
GONFIAGGIO
PER AIR-BAGS

AZIDOTIMIDINA (AZT)
FARMACO ANTIVIRALE
CONTRO L'AIDS

Figura 1. La chimica è essenziale.

* Professore di Chimica Organica dell'Università di Bologna. Già Direttore del Centro interdipartimentale di Ricerca Industriale "Energia e Ambiente". Membro del Senato Accademico. Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician", Centro Interdipartimentale di Ricerca Industriale "Fonti Rinnovabili, Ambiente, Mare, Energia".

Senza l'incredibile contributo dei nostri maestri chimici, oggi la vita media sarebbe forse di 45 anni, avvolgeremmo i nostri alimenti con stracci pieni di batteri, puzzeremmo come nel Medio Evo e i nostri notebook, se mai potessero esistere, peserebbero 10 kg e misurerebbero $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$. Soprattutto, la produzione alimentare sarebbe gravemente insufficiente e ad ogni siccità o inondazione grave morirebbero 10 volte il numero di persone che ora muoiono per queste cause.

2. La chimica inquina?

La narrazione che ho appena esposto è ben presente a tutti i chimici e, speriamo, alla maggior parte degli scienziati, ma è molto lontana dai sentimenti che la maggior parte della rimanente popolazione prova quando si parla di chimica: paura, senso di estraneità, innaturalità, pericolo di manipolazione.

In realtà, questa narrazione è solo un lato della medaglia. Negare che esiste un'atra realtà meno edificante della chimica, pur intesa come strumento di progresso e benessere, non solo è mistificatorio, ma non giova in primo luogo alla comunità dei chimici e degli scienziati; giova ancor meno al mondo produttivo centrato sulla chimica.

La chimica inquina. Non è una domanda retorica, ma un'affermazione [2].

Pesticidi organici sono sparsi in tutti gli ambienti del mondo, compresi i più remoti; solventi volatili ed idrocarburi incombusti trasformano la troposfera in un micidiale brodo di ozono ed aldeidi tossiche [3]; i clorofluorocarburi ci hanno tolto parte della preziosa coperta stratosferica contro le radiazioni UVc [4]; le emissioni di gas-serra, dovute all'uso di idrocarburi fossili per produrre energia e sostanze chimiche, stanno irreversibilmente cambiando il clima terrestre; isole, visibili ormai dallo spazio, di frammenti di plastica viaggiano negli oceani più remoti [5], mentre ben più pericolose, ma invisibili, nanoparticelle di polimeri organici riempiono le colonne d'acqua ed entrano inalterabili nelle catene alimentari; ci ammaliamo di cancro per ciò che inevitabilmente mangiamo e per il fatto stesso di respirare, ma un contributo importante e, in questo caso, evitabile viene anche dai *chemicals* antropogenici che quotidianamente entrano nel nostro corpo (Fig. 2).

- METALLI PESANTI
- GAS A EFFETTO SERRA
- VOCs e CFC
- PESTICIDI
- REFLUI ORGANICI
- CANCEROGENI



Figura 2. La chimica inquina.

3. La chimica è pericolosa?

Non c'è solo il sibilo del serpente dell'inquinamento, che striscia subdolo sul palcoscenico della chimica; c'è anche il ruggito degli incidenti gravi.

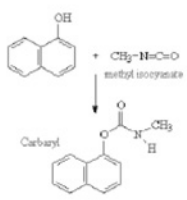
Noi chimici ci siamo spesso sentiti più affidabili dei fisici, macchiati dai peccati mortali di Hiroshima, Nagasaki, Fukushima, ecc. Ma anche noi abbiamo le nostre Cernobyl e le nostre Three Miles Island: si chiamano Seveso, Bophal, Talidomide, Minamata, ecc.

L'incidente di Bophal (Fig. 3) del 3 dicembre 1984 [6], una città di oltre un milione di persone nello Stato del Madhya Pradesh, al centro dell'India, è senz'altro il disastro più grave in termini di morti; avvenne a causa del colonialismo industriale della multinazionale Union Carbide. Un deposito abbandonato di Isocianato di metile, pericoloso reagente per la sintesi dell'insetticida Carbaryl, esplose perché i sistemi



Nel dicembre 1984 a Bophal (India) morirono 4000-8000 persone intossicate da ISOCIANATO DI METILE





La causa fu l'esplosione di un serbatoio di un impianto in disuso per la produzione di erbicidi della UNION CARBIDE, una multinazionale USA, a causa di un incidente e del malfunzionamento degli impianti di sicurezza.

Figura 3. La tragedia di Bophal.

di sicurezza erano stati disattivati e una nube tossica investì i quartieri più poveri di Bophal, causando da 4.000 a 20.000 morti e oltre 550.000 intossicati. Nessuno ha fatto un giorno di prigione per quelle morti ed il risarcimento è stato inferiore a 1.000 \$ per ogni intossicato. L'incidente poteva essere evitato, questo è certo. Ma la produzione e l'uso massiccio di sostanze come il metil isocianato è forse un rischio che non vale la pena di correre. Che si *doveva evitare* di correre.

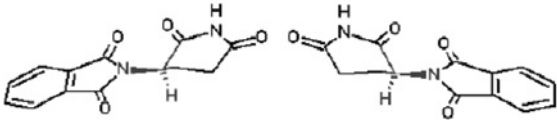
A Seveso, 25 km dal centro di Milano, il 10 luglio 1976 andò fuori controllo un reattore della ICMESA (controllata dalla svizzera Givaudan) dove si produceva il 2,4,5 triclorofenolo, intermedio per la sintesi di un potente erbicida. L'innescarsi di una reazione esotermica in mancanza di adeguato raffreddamento causò un brusco innalzo termico che portò prima alla

formazione di poco meno di 20 kg di 2,3,7,8-tetraclorodibenzodiossina e poi all'esplosione del reattore. Furono contaminati alcune decine di ettari ed interessate diverse centinaia di persone. Il danno ambientale fu molto rilevante, ma non si può sapere l'impatto sulla salute pubblica, perché non vi furono morti dirette per intossicazione da diossina e quelle causate da aumento di malattie croniche, in particolare tumori, sono molto difficili da stimare. Tuttavia l'impatto mediatico fu enorme, sicuramente superiore a quello della tragedia di Bophal, a testimoniare ancora una volta che ahimè il valore della vita umana è considerato ben diversamente a seconda della collocazione geopolitica delle persone colpite [7].

Il dramma del Talidomide (Fig. 4) è precedente: tra il 1957 ed il 1962 anno di ritiro totale del farmaco [8]. È una sostanza chirale, un blando sedativo contro la nausea delle gestanti. Solo alcuni anni dopo l'introduzione come presidio terapeutico se ne scoprì la teratogenicità, ma a quel punto circa 10.000 bambini erano nati con gravi malformazioni (5.000 nella sola Germania Ovest) ed altri 2.000 erano morti. La teratogenicità è dovuta al solo enantiomero (*S*)-(-)-Talidomide e questo ha fatto capire l'importanza delle relazioni stereochimiche tra farmaci e bersagli biologici.

Oggi abbiamo imparato la lezione. L'abbandono di impianti chimici in condizioni di assenza di misure di sicurezza non è più consentito nemmeno nei Paesi meno sviluppati. Oggi l'India è tra i maggiori produttori di sostanze chimiche del mondo e lo fa con standard qualitativi elevati. Dall'incidente di Seveso è derivata una normativa molto stringente (Direttiva europea 82/501/CEE "Seveso I; Direttiva 96/82/CE "Seveso II; Direttiva 2012/18/UE "Seveso III) [9] che regola la produzione e manipolazione di sostanze chimiche pericolose. Le sostanze candidate ad essere farmaci vengono controllate tramite accurati protocolli, tra cui le misure di tossicità di ciascun stereoisomero separatamente e la valutazione della tossicità in gravidanza. Bophal, Seveso, Talidomide non potrebbero più avvenire. Ma siamo proprio sicuri che sia così? In ogni parte del mondo? E allora perché la gente ha tanta paura della chimica?

Il Talidomide è un farmaco usato tra la fine degli anni '50 ed i primi anni '60 del '900 come tranquillante e blando sedativo per le gestanti.



Uno dei due enantiomeri (forme speculari della molecola) si è rivelato essere teratogeno ed ha causato migliaia di nascite di persone focomeliche prima che il farmaco venisse ritirato



Figura 4. Il dramma del Talidomide.

4. Una chimica che aiuta l'uomo e l'ambiente: Green Chemistry o Sustainable Chemistry

Cosa dovrebbero fare allora i chimici, cosa le persone di scienza in questo contesto? Dovrebbero ammettere con sincerità che a fronte degli splendidi benefici che la chimica ci ha dato, ci sono state colpevoli negligenze, errori e complicità. Ma dentro questa stessa ammissione c'è la chiave del progresso: si può cercare un punto di vista diverso; si possono scrivere nuovi paradigmi, nuove linee guida per indirizzare l'innovazione e lo sviluppo.

Questa via nuova ha preso il nome di *Sustainable Chemistry*, perché la sua prospettiva non è il progresso di una generazione umana, ma di molte generazioni; o anche il nome di *Green Chemistry*, perché la salvaguardia dell'unico ambiente che abbiamo, dell'Astrosfere Terra, è anche più importante della crescita del PIL.

Chimica sostenibile in Europa è qualcosa più di un'idea o un'ambizione. Col lancio del 7° Programma Quadro per la Ricerca e l'Innovazione – FPVII, SusChem (Fig. 5) è diventata una delle Piattaforme Tecnologiche che hanno contribuito a scrivere l'Agenda. L'Università di Bologna ha avuto un ruolo preminente in questo ambito e Luigi Busetto, Professore dell'allora Facoltà di Chimica Industriale, ha tenuto per primo la guida di SusChem Italia [10]. Oggi, con il programma Horizon 2020 (H2020), SusChem ha un assetto diverso, soprattutto industriale, ma ancora contribuisce a produrre idee e visioni per una Chimica sostenibile.

Green Chemistry è l'iniziativa statunitense. Come avviene anche in altri campi, i "leader del mondo" che stanno oltreatlantico, gli USA, sono i responsabili delle maggiori minacce ad un futuro accettabile per l'umanità e al contempo sono quelli in grado di proporre ed elaborare il know-how scientifico in grado di rendere possibile questo futuro. *Green Chemistry* è un'iniziativa dell'*Environmental Protection Agency* [11] e i "12 Principi" che la comunità scientifica e produttiva ha fatto propri sono nati in quel con-



Figura 5. La Chimica verde o Chimica sostenibile.

testo. Il *Presidential Green Chemistry Challenge Award* è tutt'ora lo standard che misura, con molti limiti, contraddizioni ed errori, il successo nel campo della Chimica sostenibile. Non c'è, a tutt'oggi, null'altro di simile nel mondo.

5. Come e perché nasce la Green Chemistry

La *Green Chemistry* nasce quando il mondo scientifico si rende conto che i problemi dell'inquinamento chimico e del rischio chimico in generale non sono semplicemente affrontabili con un "approccio rivolto al problema" che cerca e trova volta per volta una soluzione per uno specifico rischio o minaccia, ma che occorre una rivoluzione culturale che faccia proprio il "principio di precauzione temperato": occorre prevenire il rischio, per quanto ragionevolmente possibile, piuttosto che affrontarne le conseguenze. La *Green Chemistry* (Fig. 6) nasce dunque negli USA coi nomi di Paul Anastas, John Breen, John Warner. Essa deve molto all'Ambientalismo, a partire da Rachel Carlson e poi il WWF, Greenpeace ecc. ma va ben oltre, realizzando un sistema molto più complesso e rigoroso.

Tra le pietre miliari vanno menzionate l'istituzione nel '96 del *Presidential Green Chemistry Challenge Award* [12] e nel '98 la pubblicazione dei 12 Principi da parte di Anastas e Warren.

In Europa, come abbiamo ricordato, la Commissione Europea nel lanciare FPVII fa nascere la Piattaforma Tecnologica SusChem e gli obiettivi della Chimica Nuova entrano nelle strategie della ricerca e innovazione della UE.

Un diverso punto di svolta è l'approvazione nel 2006 da parte del Parlamento Europeo della normativa REACH (*Registration Evaluation Authorization and restriction of Chemical*) che rappresenta lo standard mondiale in tema di regolamentazione delle sostanze chimiche. La prevenzione diventa l'obiettivo primario, anche

- **1990 USA Pollution Prevention Act**
- **1991 Green Chemistry inizia all'EPA grazie a Paul Anastas**
- **1996 viene istituito il Presidential Green Chemistry Challenge Awards**
- **1998 In "Green Chemistry: Theory and Practice" Anastas e Warner propongono i 12 Principles of Green Chemistry**
- **1999 "Green Chemistry" della RSC**
- **2005 EU lancia la SusChem Technological Platform**
- **2006 REACH regulation (CE 1907/2006)**
- **2006 "ChemSusChem" della Wiley**
- **2013 ACS Sustainable Chemistry and Engineering**

Figura 6. Le tappe della Green Chemistry.

se con una certa lentezza, ed il mondo produttivo è chiamato ad assumersi per primo la responsabilità della salvaguardia dell'ambiente e della salute umana da rischio chimico.

Il progresso della ricerca scientifica viene promosso dalla pubblicazione di riviste specializzate: "Green Chemistry", "ChemSusChem", "ACS Sustainable Chemistry and Engineering", ed altre, e dall'organizzazione di congressi e conferenze sul tema.

Oggi possiamo senz'altro dire che la visione dei chimici è cambiata. Il successo di una ricerca chimica non si misura più solo in termini di resa, costo, efficienza, ma anche in termini di scarsa tossicità di reagenti, solventi, prodotti; di uso di fonti rinnovabili; di degradabilità ambientale delle sostanze; di riciclo ed economia circolare; ecc.

Il successo di una produzione si misura non solo in termini di profitto economico o di concorrenzialità, ma anche in termini di impatto ambientale dei prodotti, di sicurezza intrinseca degli impianti; di eliminazione di solventi alogenati; ecc.

Ma ci sono luci ed ombre, passi avanti e passi indietro ed un lungo cammino ancora da fare; soprattutto il progresso non è consolidato e nessun miglioramento va dato per scontato.

6. Che cosa è la Green Chemistry

La *Green Chemistry* è un cambio di paradigma nella ricerca, nella progettazione, nella produzione industriale, nella gestione delle sostanze chimiche (Fig. 7). Questo paradigma, di per sé molto astratto, si è tradotto in linee guida: i "Principi della Green Chemistry".

Se nei due secoli passati gli obiettivi di ricerca e produzione industriale sono stati l'efficienza ed il vantaggio economico, col nuovo secolo la riduzione (possibilmente eli-

- **L'uso di una serie di principi che riduce o elimina l'uso o la generazione di sostanze pericolose nella progettazione, manipolazione e applicazione delle sostanze chimiche**
- **In sostanza, è l'applicazione temperata del Principio di Precauzione in campo chimico**
- **L'applicazione dei principi della Green Chemistry fornirà vantaggi economici a lungo termine**

Figura 7. La definizione della Green Chemistry.

minazione) del rischio chimico diventa l'obiettivo primario e la precauzione diventa un imperativo categorico. Tutto ciò ha spaventato sia il mondo produttivo sia i ricercatori. Soprattutto, il timore che la ricerca della sicurezza chimica e la riduzione dell'impatto ambientale si traducano in una minore competitività, cioè in un danno economico per le aziende e le nazioni, è forte.

È necessario, però fare molta chiarezza a questo proposito. L'inquinamento, il danno alla salute, la distruzione degli habitat, i cambiamenti climatici, ecc. hanno un costo economico pesantissimo che qualcuno oggi o in futuro dovrà pagare. Questo costo per ora non si riflette sul mercato perché, in nome della competitività, esso viene assorbito dalla collettività presente o da quella dei nostri figli e dei nostri nipoti. Ma così si crea un mercato fasullo ed il prezzo della "merce chimica" non riflette appieno il suo reale valore, perché manca il costo dovuto all'inquinamento ed al danno alla salute. L'applicazione dei principi della *Green Chemistry* produrrà domani un vantaggio economico per chi ha intrapreso oggi il cammino virtuoso della sostenibilità.

7. I 12 principi

Le linee guida della Chimica sostenibile non sono solo una serie di indicazioni. Sono 12 Principi (Fig. 8) che la comunità dei chimici è chiamata a cercare di realizzare. Sono stati formulati da Anastas e Warner nel 1998 e gradualmente accettati [13].

In realtà, l'attuale formulazione ha certamente dei limiti ed è in parte datata. Anastas ha effettuato una revisione critica dei Principi, confermandone la validità sostanziale, se coniugati secondo quelli che sono stati gli sviluppi scientifici e tecnologici degli ultimi 20 anni, non tutti prevedibili negli ultimi anni del '900 [14].

- 1. E meglio prevenire le emissioni che tentare di trattarle una volta formatesi**
- 2. Le strategie di sintesi devono essere progettate per massimizzare l'incorporazione dei materiali usati nel prodotto finito**
- 3. Quando è possibile, le strategie di sintesi devono essere progettate in modo da utilizzare e generare sostanze non tossiche o poco tossiche per l'uomo e per l'ambiente**
- 4. Nuove sostanze chimiche dovrebbero essere progettate al posto di altre in uso mantenendo la capacità funzionale ma diminuendo la tossicità**
- 5. L'uso di sostanze ausiliarie (solventi, agenti di separazione ecc.) dovrebbe diventare non necessario, o almeno innocuo**

Figura 8. I 12 Principi della Green Chemistry.

6. Nella valutazione del dispendio energetico dovrebbe essere considerato l'effetto sull'ambiente. I processi chimici dovrebbero essere eseguiti a temperatura ambiente
7. Se tecnicamente ed economicamente possibile, utilizzare fonti rinnovabili di materiale
8. Evitare le derivatizzazioni (protezioni/deprotezioni, ausiliari sintetici, ecc.) se non strettamente necessarie
9. I catalizzatori (il più possibile selettivi) sono preferibili ai reagenti stechiometrici non incorporabili nel prodotto
10. I prodotti chimici devono essere degradabili nell'ambiente per fornire sostanze innocue
11. Devono essere sviluppate metodologie analitiche per il monitoraggio in linea dei processi allo scopo di evitare la formazione di sostanze tossiche
12. I processi chimici e le sostanze usate devono essere progettati per minimizzare il rischio di incidenti, dispersioni, incendi ecc.

Figura 8. Segue.

8. Il ciclo di vita

Tra gli aspetti che hanno assunto via via maggior peso nel tempo, c'è sicuramente quello di prendere in esame l'intero ciclo di vita (Fig. 9) delle sostanze e dei prodotti: *from the cradle to the grave and beyond*. Questo "beyond" è l'aspetto che mediaticamente viene coniugato come *economia circolare*.

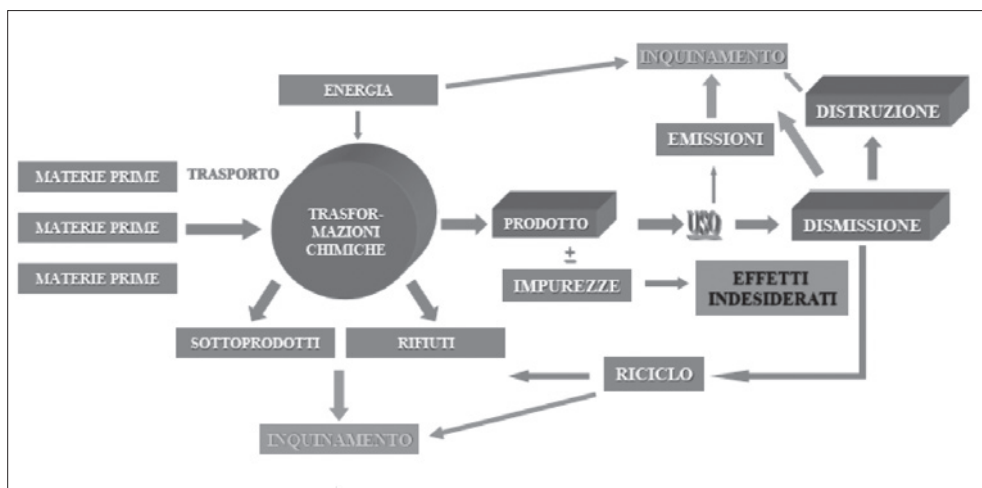


Figura 9. Il Ciclo di Vita delle sostanze chimiche.

Materie prime, trasporto, trasformazioni chimiche, sottoprodotti, uso ed effetti collaterali, quantità e tipo di energia impiegata, dismissione, recupero e riciclo sono tutti temi rilevanti e oggetti dell'impegno scientifico e innovativo che i ricercatori e le aziende devono sviluppare per la crescita della Chimica sostenibile.

9. I successi della Green Chemistry

Dobbiamo ora esaminare alcuni casi ed esempi di innovazioni, alcuni dei quali presi dall'elenco dei vincitori del *Presidential Green Chemistry Challenge Award* [15].

a) Bisacilidrazine [16]

Presidential Green Chemistry Challenge Award 1998 per Designing Greener Chemicals

Quello degli insetticidi è un tema molto rilevante, perché sono tra gli inquinanti più diffusi e pericolosi. Le Bisacilidrazine (Fig. 10) sono estremamente selettive: agiscono sul sistema della muta, esclusivo degli Artropodi e colpiscono selettivamente i bruchi delle farfalle con pochi danni per gli insetti impollinatori.

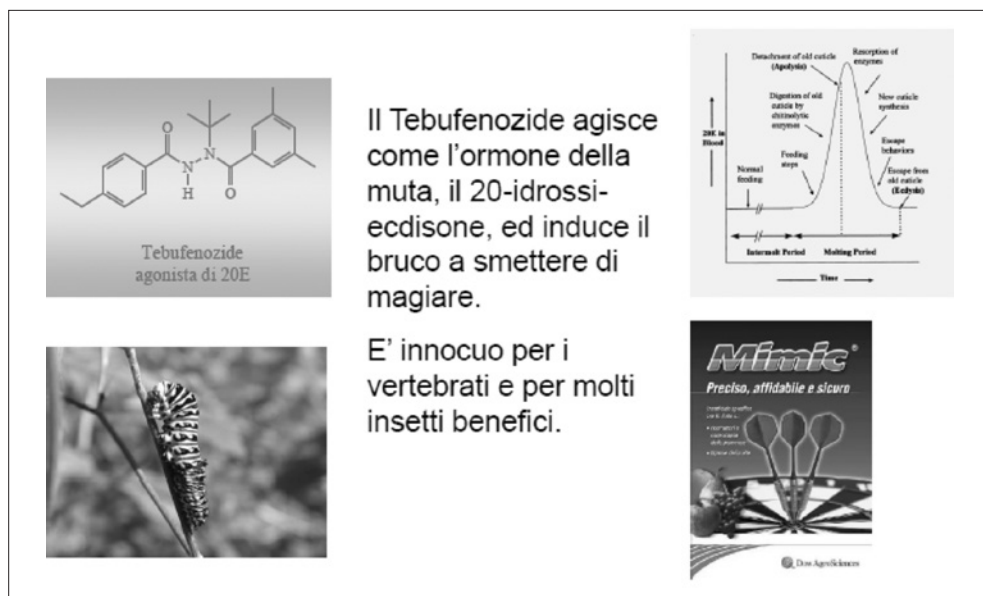


Figura 10. Il Tebufenozide: un antiparassitario "green".

b) See Nine®

Presidential Green Chemistry Challenge Award 1998 per Designing Greener Chemicals

I derivati di trialchilstagno, usati dagli anni '60 fino al 2003 sono fortemente inquinanti e persistenti. Il DCOI (Fig. 11) è un Antiincrostante per le chiglie delle navi non persistenti in ambiente marino e degradabile.



Figura 11. DCOI: un antincrostante “green” per le chiglie delle navi.

c) Fonti rinnovabili: Platform chemicals [17]

La conversione di biomassa in sostanze intermedie per l'industria chimica e per altre tecnologie è un obiettivo estremamente rilevante per la sostenibilità chimica. È molto verosimile che il futuro andrà, prima o poi, in questa direzione. Lo sviluppo della Chimica si è basato quasi esclusivamente sugli idrocarburi fossili. Oggi si apre un'opportunità eccezionale per i ricercatori e le aziende di sviluppare una chimica innovativa basata sui *Platform Chemicals* da biomassa (Fig. 12).

La strategia è già stata delineata: la Bioraffineria; un sistema adattabile con input e output variabili per qualità e quantità, per rispondere al meglio alle esigenze della società e della produzione, garantendo il valore economico dell'impresa in tutte o quasi le condizioni di mercato.

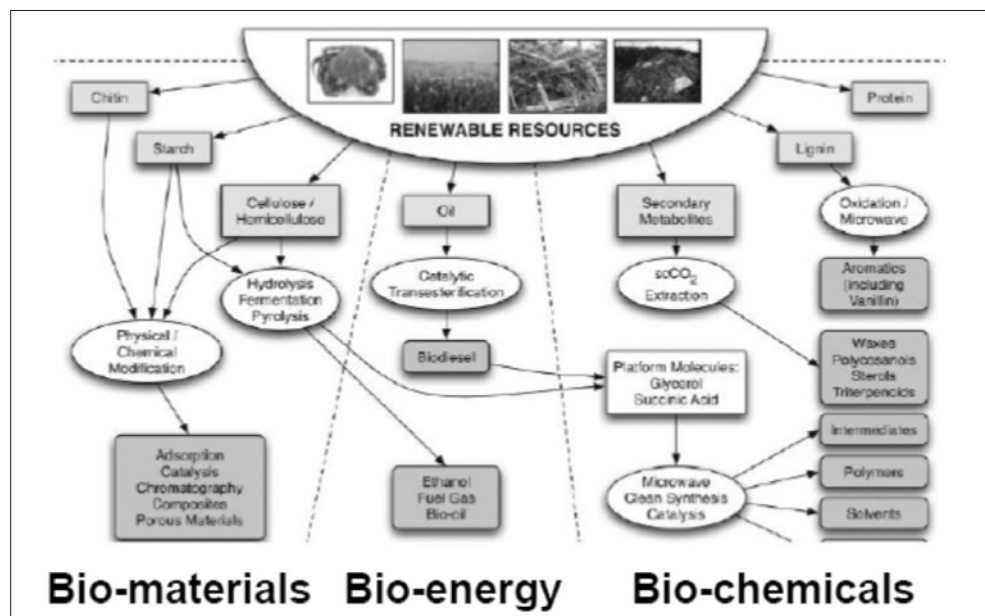


Figura 12. Fonti rinnovabili.

d) Fonti rinnovabili: biofuels [18]

L'impatto della sostituzione di fonti fossili con fonti rinnovabili per l'industria chimica, sebbene estremamente rilevante da altri punti di vista, non sarebbe sufficiente a modificare il trend dell'aumento di gas clima-alteranti perché le masse in gioco sono piccole rispetto a quelle impiegate per la produzione di energia. Nel settore cruciale dell'energia, il contributo della Chimica sostenibile può avvenire attraverso lo sviluppo di biocarburanti prodotti da biomassa nell'ottica della Bioraffineria (Fig. 13).

È un aspetto cruciale e controverso della Chimica sostenibile. Ci sono tecnologie ben sviluppate (Bioetanolo, Biodiesel) che già oggi forniscono una quota non trascurabile di carburanti per autotrazione ma il loro effettivo contributo alla riduzione di emissioni di gas-serra è incerto e a volte è valutato quasi nullo. Soprattutto, la competizione con l'uso alimentare delle biomasse amidacee o oleose e la competizione per il terreno coltivabile sono un grosso punto a sfavore di Bioetanolo e Biodiesel di 1^a generazione. Non è eticamente accettabile, in un mondo che ancora in parte soffre la fame, destinare ad altri usi ciò che può alimentare un bambino denutrito.

In realtà, quello della competizione alimentare potrebbe essere un problema artificioso: c'è chi non ha da mangiare e chi mangia e spreca troppo; è un problema di redistribuzione, non tanto di risorse.

La vera chiave per il successo dei *biofuels*, comunque, è quella di basarsi su materiale di scarto, che comunque esiste già e viene sprecato, o su coltivazioni non edibili, come le biomasse acquatiche. Sono le cosiddette Bioraffinerie di 2^a, 3^a e 4^a generazione. Qui

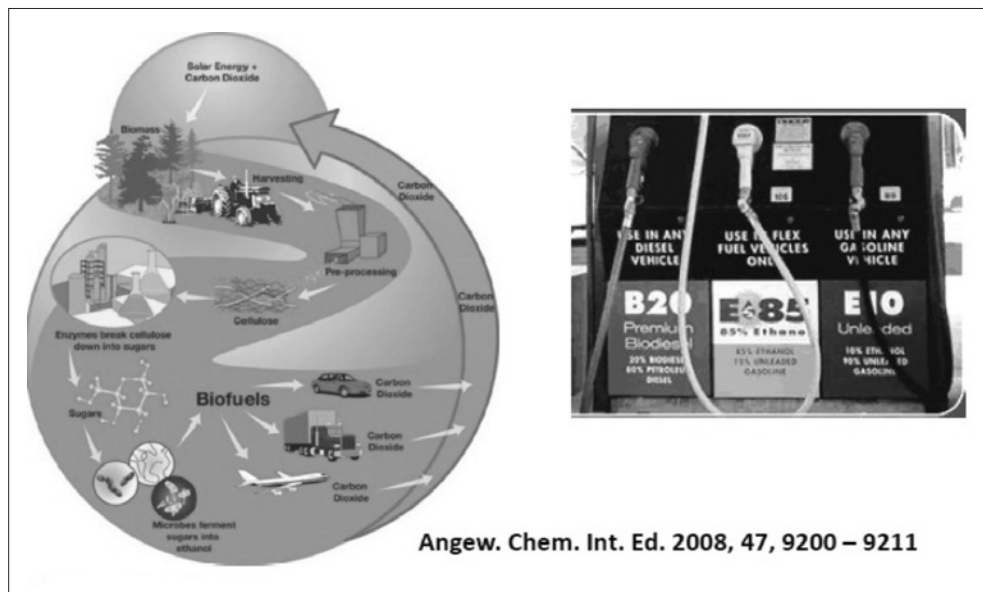


Figura 13. Biocarburanti.

però le tecnologie sono ancora in parte da sviluppare o comunque da migliorare significativamente e la competizione coi “*fossil fuels*” è per ora inesistente.

Un altro aspetto controverso è che comunque sia, *fossil-based* o *bio-based*, i motori a combustione interna sono inquinanti in modo inaccettabile e l'unica transizione possibile è quella verso la trazione elettrica. Probabilmente ciò è vero, a patto che l'energia elettrica sia prodotta da fonti rinnovabili, ma i biocarburanti potrebbero contribuire alla fase intermedia della transizione, aumentando la possibilità di realizzare nel medio termine gli obiettivi della *low-carbon economy*.

e) Green syntheses: Ibuprophen [19]

Presidential Green Chemistry Challenge Award 1997 per Greener Synthetic Pathways

La *Green Chemistry* è innanzitutto scienza chimica e un obiettivo irrinunciabile della chimica è realizzare nuove metodologie sintetiche. Una frazione significativa dei 12 Principi è dedicata alle strategie e metodologie sintetiche; in questo campo la fantasia e la competenza dei chimici ha avuto modo di produrre soluzioni di grandissimo impatto innovativo. Nell'Università di Bologna entrambi i Dipartimenti chimici hanno offerto un contributo importante con lo sviluppo di sistemi catalitici efficienti e selettivi (9° Principio), uso di fonti rinnovabili (7° Principio), eliminazione di solventi o uso di solventi non dannosi (5° Principio), aumento dell'*Atom Economy* (2° Principio) ed altro ancora.

Tra gli esempi comunemente ritenuti più significativi in questo campo, c'è la sintesi *green* di un importante farmaco di amplissimo uso come antinfiammatorio: l'Ibuprofene (Fig. 14).

Che cosa rende *green* la strategia della Hoechst Celanise rispetto al processo Boots? La capacità di incorporare molto meglio i reagenti nel prodotto e sprecare pochi atomi (cfr. *Waste boxes*) e l'uso esclusivo di trasformazioni catalitiche.

Ma non è tutto oro quello che luccica! Il processo Hoechst Celanise fa uso di reagenti tossici, HF, CO, o pericolosi H₂, e di metalli pesanti (Pd); ciononostante, il grado di miglioramento rispetto alla sintesi *brown* è comunque impressionante anche a prima vista. Ma un progresso non è mai definitivo, "*research begets research*": la sintesi *green* dell'Ibuprofene può essere migliorata; c'è ampio spazio per le nuove generazioni di chimici.

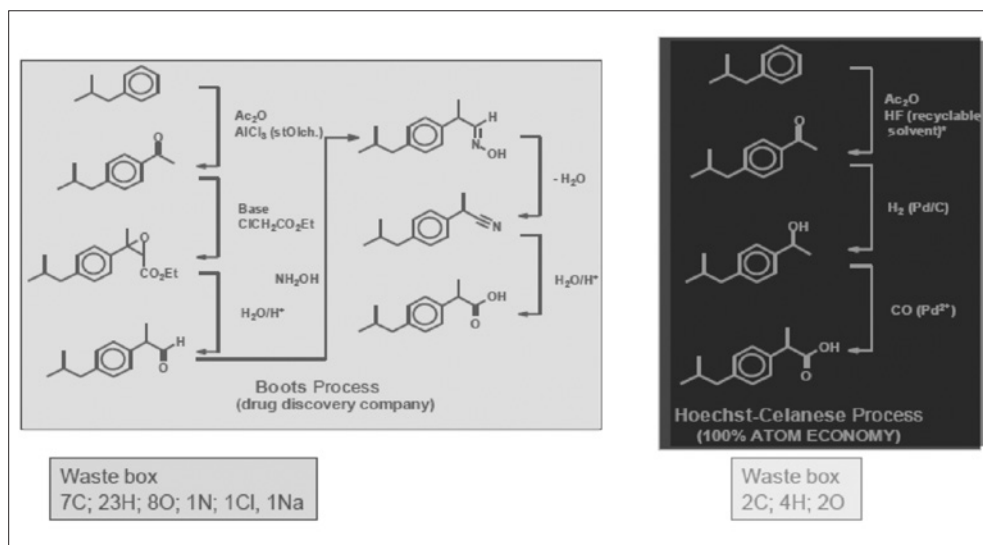


Figura 14. Sintesi "brown" e "green" dell'Ibuprofene.

f) Solventi alternativi: Sc-CO₂ (biossido di carbonio supercritico)

L'impatto dei solventi organici è enorme, a causa dei grandi volumi in gioco e della loro facilità di dispersione. Sono inoltre spesso tossici, infiammabili, esplosivi. I solventi non sono solo mezzi di reazione, ma anche mezzi di estrazione, sistemi per la pulizia, diluenti e veicolanti e altro ancora. Quello dei solventi è stato uno dei campi su cui si è concentrato maggiormente lo sforzo innovativo della Chimica sostenibile: Sistemi *solventless*, Acqua, Liquidi ionici e *Switchable solvents*, Fluidi supercritici trovano sempre più applicazioni come solventi sostenibili.

Tra i sistemi solvente innovativi di maggior successo c'è il biossido di carbonio in fase supercritica. È un solvente eccezionale per la facilità di rimozione, la bassissima viscosità, la tossicità molto bassa e la scarsa pericolosità, le vaste possibilità di modularne le proprietà. I limiti principali sono dovuti alla necessità di operare sotto pressione (almeno 78 bar) con conseguente forte aumento di costi e difficoltà operative. Ma dove sono possibili economie di scala, come nell'estrazione massiva di caffeina dai chicchi di caffè verde (Fig. 15), i vantaggi di Sc-CO₂ sono davvero importanti [20].

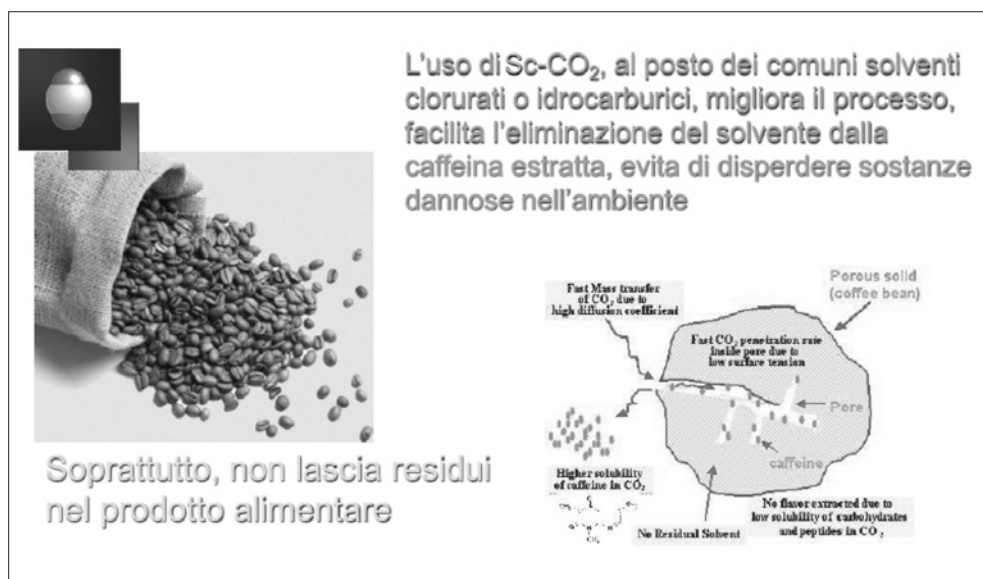


Figura 15. Estrazione della caffeina con Sc-CO₂.

10. Considerazioni finali

a) Ripensare i principi e gli strumenti

Ci possiamo allora accontentare dei successi della Chimica sostenibile e degli strumenti di cui si è dotata? Senz'altro no. È stato Anastas per primo [14] a riconoscere che i 12 Principi hanno bisogno di un ripensamento, enfatizzando maggiormente certi aspetti che 20 anni fa sembravano marginali: l'organocatalisi ha fatto passi da gigante; sono disponibili materiali, come il grafene, che allora erano impensabili; l'inquinamento da microplastiche è diventato un allarme mondiale di prima grandezza; il fiato dei cambiamenti climatici è sempre più sul nostro collo, mentre la politica negazionista abbaia con rinnovato vigore; per citare solo qualche esempio.

b) Cos'è la Green Chemistry oggi?

Quali obiettivi possiamo darci, allora come scienziati consapevoli? (Fig. 16). Forse quello di fare in modo che il concetto di Sostenibilità Chimica diventi pervasivo, nel modo della scienza, nel mondo della produzione e dell'economia, nel mondo della decisione politica, nel mondo della percezione sociale, della cultura in generale, e la formazione a tutti i livelli.

- **E', o deve diventare, una principale fonte di ispirazione per l'innovazione chimica**
- **E', o deve diventare, uno strumento primario di valutazione della qualità dell'innovazione chimica**
- **E', o deve diventare, una linea guida per orientare politicamente l'incentivazione della ricerca e del trasferimento delle tecnologie chimiche al mondo produttivo**
- **E', o deve diventare, una linea guida per l'adozione di politiche fiscali che orientino il mercato**

Figura 16. Il futuro della Green Chemistry.

Bibliografia

- [1] <https://www.federchimica.it/la-chimica-per/vita-quotidiana>.
- [2] United Nations Environment Programme, <https://www.unenvironment.org/>; United Nations Environment Programme (UNEP), Annual Report, Nairobi, Kenya, 2015.
- [3] <https://www.eea.europa.eu/themes/air/air-quality/resources/glossary/photochemical-smog>.
- [4] <http://www.theozonhole.com/>; World Meteorological Organization Global Ozone Research and Monitoring Project–Report No. 58, <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf>.
- [5] S. Pahl, K.J. Wyles, R.C. Thompson, *Nat. Hum. Behav.*, 1 (2017) 697-699.
- [6] *Bhopal Gas Tragedy Relief and Rehabilitation Department*, Madhya Pradesh Government. Bhopal. Last Updated: 9 dicembre 2010; Mandavilli Apoorva, “The World’s Worst Industrial Disaster Is Still Unfolding”, *The Atlantic*, 10 July 2018.
- [7] B. Eskenazi, M. Warner, P. Brambilla, S. Signorini, J. Aames, P. Monicelli, *Environ. Intern.*, 121 (2018) 71-84.
- [8] <https://thalidomide.ca/en/what-is-thalidomide/>; Lenz W., “A short history of thalidomide embryopathy”, *Teratology*, 38, 3 (1988) 203-215, DOI:10.1002/tera.1420380303.
- [9] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=celex%3A32012L0018>.

- [10] G. Centi, *La Chimica e l'industria*, 88 (2006) 16-18.
- [11] <https://www.epa.gov/greenchemistry>.
- [12] <https://www.epa.gov/greenchemistry/information-about-green-chemistry-challenge>.
- [13] P.T. Anastas, J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice* (Oxford University Press, Oxford, 1998).
- [14] P.T. Anastas *et al.*, "The Green ChemisTREE: 20 years after taking root with the 12 principles", *Green Chem.*, 20 (2018) 1929-1961.
- [15] EPA *Presidential Green Chemistry Challenge*, Award Recipients 1996-2016, https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-10/documents/award_recipients_1996_2016.pdf.
- [16] G. Smagghe, L.E. Gomez, T.S. Dhadialla, "Bisacyhydrazine Insecticides for Selective Pest Control", *Adv. Insect Physiol.*, 43 (2012) 163-249.
- [17] S.K. Brar, S.J. Sarma, K. Pakshirajan (eds.), *Platform Chemical Biorefinery: Future Green Chemistry* (Elsevier, Amsterdam, 2017).
- [18] A. Pandey *et al.* (eds.), *Biomass, Biofuels, Biochemicals: Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*, second edition (Elsevier, Amsterdam, 2019).
- [19] M.C. Cann, *Real-World Cases in Green Chemistry* (American Chemical Society, 2000).
- [20] I. De Marco, S. Riemma, R. Iannone, "Life cycle assessment of supercritical CO₂ extraction of caffeine from coffee beans", *J. Supercrit. Fluids*, 133 (2018) 393-400.

La Chimica Farmaceutica

Maurizio Recanatini*

La Chimica Farmaceutica è comunemente intesa come quel ramo della Chimica che si occupa della progettazione e sintesi di molecole biologicamente attive. Questa definizione, ancorché al giorno d'oggi sicuramente riduttiva, evidenzia tuttavia con sufficiente chiarezza un nucleo di interessi proprio della disciplina, che soprattutto dal secondo dopoguerra in avanti si è venuta configurando nel campo ben più vasto della scoperta di farmaci (*drug discovery*) [1]. Il termine inglese *medicinal chemistry* che sta per l'italiano Chimica Farmaceutica è infatti apparso nella letteratura negli anni '50 del secolo scorso e si è poi andato affermando per identificare una disciplina di ricerca chimica focalizzata sul farmaco, in particolare per quanto riguarda progettazione, identificazione, estrazione, preparazione e caratterizzazione di composti dotati di attività biologica e/o Farmacologica. In quegli anni iniziarono anche ad affermarsi in ambito bio/medico gli studi di Farmacologia Molecolare, che aprirono la strada alla determinazione quantitativa dell'attività biologica di un composto, indispensabile per poter associare alla mera descrizione dell'effetto di una molecola un numero che definisse l'entità dell'effetto stesso. Questa espressione dell'attività biologica attraverso i noti parametri farmacologici (tipo IC_{50} , EC_{50} , ecc.) permetteva un confronto oggettivo delle attività di molecole diverse in uno stesso sistema di saggio (animale, coltura cellulare, organo isolato, ecc.) e fu alla base della nascita degli studi di relazioni struttura-attività (*Structure-Activity Relationships*, *SAR*). Attraverso queste indagini, si mira, ancora oggi, a identificare le caratteristiche strutturali cruciali per l'azione biologica, in modo da ottimizzare le prestazioni di una serie di analoghi o di un chemotipo.

La necessità di applicare e valutare in un contesto bio/medico i prodotti del loro lavoro al banco (le molecole, appunto) ha indotto fin quasi dall'inizio i chimici farmaceutici a rapportarsi con altri ambiti di competenze, favorendo così il sorgere e il con-

* Accademico Corrispondente Residente, Professore di Chimica Farmaceutica, già Direttore dei Dipartimenti di Scienze Farmaceutiche e di Farmacia e Biotecnologie. Dipartimento di Farmacia e Biotecnologie (FaBiT), Università di Bologna.

solidarsi del carattere interdisciplinare del settore. In effetti, a partire dagli anni '80 del Novecento, ormai affermatasi l'interazione con la Farmacologia, il campo delle possibili relazioni si è enormemente allargato con i grandi avanzamenti di conoscenza portati dalle scienze molecolari e dall'informatica. Per quanto riguarda le prime, è difficile sottovalutare l'importanza della Biologia e della Genetica molecolari nello scoprire e descrivere i meccanismi patologici alla base delle malattie. Al giorno d'oggi, queste ultime possono essere descritte attraverso la loro Biologia di Sistema (*System Biology*), ovvero sia attraverso la rete di interazioni molecolari che si stabiliscono tra vari componenti del sistema (recettori, enzimi, fattori di trascrizione, ecc.) e che determinano il fenotipo. È dunque tramite questo tipo di conoscenze che è possibile la comprensione del meccanismo d'azione di un farmaco, nonché la progettazione di nuove entità chimiche mirate a specifiche componenti del sistema biologico interessato dalla malattia. D'altra parte, il progresso impressionante nelle tecnologie informatiche e nello sviluppo di algoritmi rende possibile lo sfruttamento sempre più efficace delle informazioni ottenute dai biologi molecolari nel laboratorio "bagnato" (*wet*). E questo sotto due punti di vista: la razionalizzazione/visualizzazione del sistema e la simulazione/predizione di eventi futuri. In ambedue i casi, le metodologie statistiche e le procedure di simulazione molecolare (spesso integrate) forniscono modelli interpretativi e/o predittivi che possono assistere il chimico farmaceutico nelle attività di progettazione di nuove molecole o di selezione da repertori virtuali (*virtual screening*).

Come si può dedurre da quanto evidenziato finora, l'evoluzione del paradigma del *drug discovery*, ha portato ad una parallela evoluzione della figura del chimico farmaceutico. Esso quindi non si può più identificare in un mero esperto di sintesi organica, ma deve essere uno scienziato versatile, dotato di una buona conoscenza a livello chimico/molecolare di tutti gli aspetti riguardanti quei particolari tipi di molecole che sono i farmaci, dalla ideazione alla sperimentazione clinica. È evidente che alla base della Chimica Farmaceutica rimane una approfondita e aggiornata conoscenza della Chimica, organica, analitica e computazionale in particolare, ma è altrettanto chiaro che questa base da sola non è sufficiente. Per poter lavorare alla scoperta di farmaci è necessario saper dialogare con biologi e medici, e quindi avere sviluppato una capacità di cogliere anche gli aspetti fondamentali e peculiari alla base del funzionamento della materia vivente diversi da quelli della materia condensata.

Ma, attenzione: proseguendo su questa linea di ragionamento, si corre il rischio di dipingere una figura di "tuttologo" generalista privo di una ben definita identità scientifica. In effetti, il rischio della perdita di identità della Chimica Farmaceutica è ben noto all'interno della comunità, tanto che negli ultimi anni sulle riviste del ramo sono stati numerosi gli interventi mirati a riflettere sulla figura del chimico farmaceutico nella situazione odierna di rapida evoluzione delle conoscenze e dei paradigmi [2, 3, 4]. In realtà, ciò che emerge dalle varie discussioni sembra essere la convergenza verso un ruolo e una competenza che è quella della progettazione molecolare. L'attività di progettazione di farmaci (*drug design*) è quella che distingue la Chimica Farmaceutica da altre discipline chimiche ed è quella verso cui convergono le varie *expertise* che possiedono i

chimici farmaceutici. Con ciò si vuole affermare che non necessariamente tutti i chimici farmaceutici sono esperti in ogni campo scientifico/tecnologico coinvolto nella progettazione, ma sicuramente in qualcuno di essi. E parallelamente hanno una frequentazione delle altre competenze che li rende non specializzati, ma sufficientemente attrezzati per integrare i diversi ambiti di conoscenza. Con le parole di P. Nussbaumer [3]:

A modern medicinal chemist has to be an open-minded, passionate, interactive, interdisciplinary team player who knows which technologies and methodologies of the available state-of-the-art armamentarium are best for a particular project, whom to ask for collaboration, and, in principle, is able to work on any small-molecule drug discovery project, regardless of the compound class, the target class, and the stage of the project.

Una panoramica sulla moderna Chimica Farmaceutica non può trascurare la sua relazione con un'altra disciplina che si è affermata negli anni 2000: la Biologia Chimica (*Chemical Biology*). Questo settore all'interfaccia tra Chimica e Biologia, sostanzialmente altro rispetto alla classica Biochimica, si occupa di studiare i meccanismi cellulari attraverso l'uso di sonde chimiche, cioè di affrontare problemi biologici mediante l'uso di strumenti chimici. Se si pensa che queste sonde chimiche (piccole molecole organiche) vanno progettate e sintetizzate, è evidente la collateralità di questa nuova disciplina con la Chimica Farmaceutica. Di più: le sonde, come i candidati farmaci, vanno ottimizzate, eventualmente rese selettive, caratterizzate analiticamente e nella loro interazione con il(i) *target*. Non meraviglia quindi se le due discipline e i membri delle rispettive comunità tendono a fondersi e a battere campi di applicazione comuni e avanzati [5]. Un altro aspetto importante delle interazioni tra *Medicinal Chemistry* e *Chemical Biology* è che queste si realizzano soprattutto a livello accademico, dove, rispetto all'industria, è maggiore la vocazione e l'impegno verso la cosiddetta ricerca di base e minori sono i vincoli imposti da necessità e pressioni extra-scientifiche. È facile prevedere che i prossimi progressi in aree, quali l'identificazione di *target* innovativi per malattie complesse, la definizione di approcci per colpire *target* sfidanti (ad esempio, complessi proteina-proteina, RNA, proteine intrinsecamente disordinate) e la messa a punto di sonde per studiare sistemi cellulari in maniera selettiva e reversibile, verranno da gruppi in cui, indipendentemente dalla definizione nominalistica, si fa progettazione molecolare nell'accezione multidisciplinare a cui si è accennato sopra.

Per concludere, è doveroso un cenno alla scuola bolognese di Chimica Farmaceutica, che ha fornito e fornisce tuttora un importante contributo a livello nazionale e internazionale al recente rinnovamento del settore. Dall'inizio dell'800, nello storico edificio di via Belmeloro 6, angolo via Selmi, ha avuto sede l'Istituto di Chimica Farmaceutica e Tossicologica, che ha lasciato il posto nel 1986 al Dipartimento di Scienze Farmaceutiche. Il riassetto delle strutture dell'Ateneo bolognese seguito alla riforma promossa dalla legge 240/2010, ha portato alla costituzione dell'attuale Dipartimento di Farmacia e Biotecnologie (FaBiT) nella sede di Bologna e al Dipartimento di Scienze per la Qualità

della Vita (QuVi) nel campus di Rimini, presso i quali operano i farmaceutici bolognesi. Gli indirizzi nella ricerca e nell'insegnamento della Chimica Farmaceutica seguono le linee di evoluzione della disciplina tracciate sopra e si devono in gran parte all'impulso al rinnovamento iniziato negli anni '80 ad opera di Paolo Da Re (di provenienza industriale) e Carlo Melchiorre (di provenienza accademica) per gli studi di progettazione e sintesi farmaceutica, Vanni Cavrini per l'analisi farmaceutica, e Maurizio Recanatini per l'applicazione delle tecniche computazionali al *drug design*.

Bibliografia

- [1] EFMC Position Paper on Medicinal Chemistry, <https://www.efmc.info/position-paper-medicinal-chemistry>.
- [2] Lombardino J.G., Lowe J.A., "The Role of the Medicinal Chemist in Drug Discovery - Then and Now", *Nat. Rev. Drug Discov.*, 3(10) (2004) 853-862. <https://doi.org/10.1038/nrd1523>.
- [3] Nussbaumer P., "Medicinal Chemists of the 21st Century - Who Are We and Where to Go?", *ChemMedChem*, 10(7) (2015) 1133-1139. <https://doi.org/10.1002/cmdc.201500133>.
- [4] Holbrook S.Y.L., Garneau-Tsodikova S., "What Is Medicinal Chemistry?-Demystifying a Rapidly Evolving Discipline!", *MedChemComm*, 8(9) (2017) 1739-1741. <https://doi.org/10.1039/c7md90030a>.
- [5] Plowright A.T., Ottmann C., Arkin M., Auberson Y.P., Timmerman H., Waldmann H., "Joining Forces: The Chemical Biology–Medicinal Chemistry Continuum", *Cell Chem. Biol.*, 24(9) (2017) 1058-1065. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2017.05.019>.

I materiali innovativi: l'esperienza del Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali del CNR

M. Lucia Curri, Maurizio Peruzzini***

Più di un quinto del prodotto interno lordo europeo è legato allo sviluppo ed alla commercializzazione di materiali, componenti, tecnologie e processi. Quasi un quinto della produzione totale dell'Unione Europea – con un *trend* in costante aumento – è costituito da prodotti e servizi basati sulle “tecnologie abilitanti”, che sono, secondo la definizione fornita dalla Commissione Europea, tecnologie “ad alta intensità di conoscenza ed associate ad elevata intensità di ricerca e sviluppo, a cicli di innovazione rapidi, a consistenti spese di investimento e alla creazione di posti di lavoro altamente qualificati”.

La ricerca sui materiali avanzati, classificata, appunto, come tecnologia abilitante, è rivolta alla progettazione e realizzazione di materiali con nuove funzionalità e caratteristiche sempre più performanti da utilizzare in applicazioni ad alta tecnologia. In particolare, oggi, gli studi sui materiali sono rivolti sia alla realizzazione di nuovi e più economici sostituti per i materiali esistenti, che allo sviluppo di nuovi prodotti e servizi ad elevato valore aggiunto in settori chiave della nostra economia quali salute, energia, trasporti e aerospazio.

Lo studio di materiali e tecnologie altamente innovative, la capacità di intercettare e di integrare nuove catene di valore, ma anche di stimolarne di nuove, può costituire un indiscusso volano per lo sviluppo economico della società. Infatti ogni avanzamento della conoscenza in questo ambito può accorciare significativamente i tempi necessari al trasferimento tecnologico dei risultati della ricerca, traducendoli in strumenti di innovazione prontamente fruibili dal comparto industriale e produttivo. Va inoltre sottolineato che i risultati della ricerca e dell'innovazione possono fornire soluzioni originali e valide

* Professore Ordinario di Chimica Fisica e Ricercatore Associato all'Istituto per i Processi Chimico-Fisici del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Dipartimento di Chimica, Università di Bari Aldo Moro, Istituto per i Processi Chimico Fisici - CNR, SS Bari - CNR.

** Direttore di Ricerca, già Direttore del Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali del Consiglio Nazionale delle Ricerche; Presidente della Fondazione “Luigi Sacconi”. Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali - CNR.

alle problematiche e alle necessità che emergono quando si affrontano importanti sfide sociali. Significativo, a questo riguardo, è il contributo offerto dalla progettazione e dallo sviluppo di materiali innovativi e delle tecnologie avanzate di produzione e processo, per fornire risposte scientificamente valide e tecnologicamente convincenti alle grandi questioni aperte quali, per esempio, l'approvvigionamento di energie, che siano rinnovabili e sostenibili, la difesa dell'ambiente dall'alterazione antropogenica del clima, e per mantenere alto il livello di innovazione nel campo della protezione della salute e della medicina, dell'efficienza delle risorse e della *Circular Economy*.

Nell'ambito della ricerca condotta dagli Istituti che afferiscono al Dipartimento di Scienze Chimiche e Tecnologie dei Materiali (DSCTM) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Fig. 1), le attività rivolte ai materiali avanzati sono una delle aree strategiche che caratterizzano la mission del dipartimento coprendo numerosi aspetti della ricerca che sono tra loro complementari, sia di tipo fondamentale, che di rilevanza tecnologica. La ricerca che viene sviluppata dagli Istituti del DSCTM spazia dalla sintesi, preparazione e produzione di materiali innovativi, agli studi dei meccanismi alla base della loro progettazione e realizzazione, dall'indagine strutturale, spettroscopica e morfologica, all'elucidazione delle relazioni tra struttura, proprietà e funzione, dalla comprensione delle proprietà chimico-fisiche dei materiali studiati, alla messa a punto di tecnologie innovative di processo, per finire con lo *scale up* della produzione dei materiali per l'integrazione nei sistemi produttivi industriali. Gli studi fondamentali sui materiali innovativi sono non solo di grande fascino, ma possono portare alla rivelazione di proprietà e caratteristiche originali e talmente rivoluzionarie da riuscire ad impattare anche gli ambiti applicativi. La fruizione dei nuovi materiali in sistemi e dispositivi funzionali per specifiche applicazioni tecnologiche richiede uno *step* importante, di integrazione e sviluppo. Nel DSCTM, metodologie chimiche per lo sviluppo di materiali e approcci tecnologici dedicati contribuiscono strategicamente alle aree Chimica e Materiali per la Salute e la Scienza della Vita, Chimica per l'Energia, e Chimica Verde.

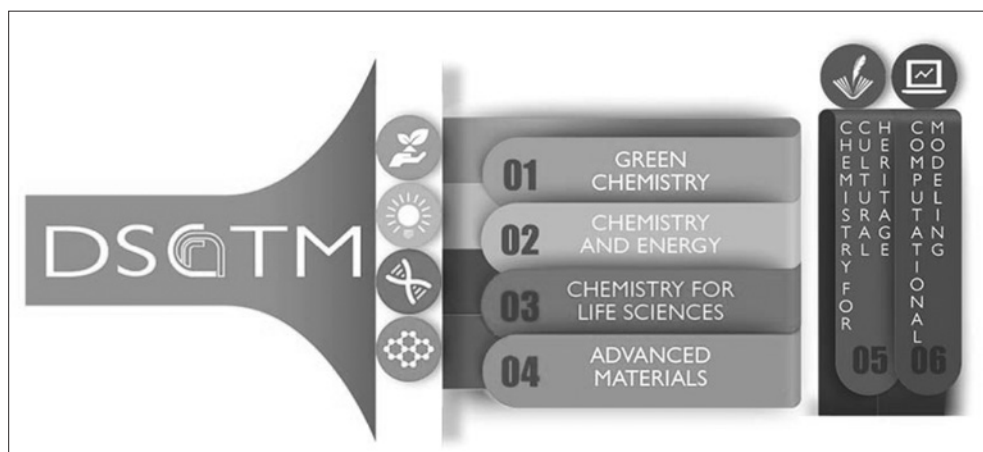


Figura 1. Aree progettuali del DSCTM (CNR) (<http://www.dsctm.cnr.it>).

Materiali funzionali e metodologie di diagnostica avanzata rivestono, inoltre, una grande rilevanza nel campo dei Beni Culturali. Notevole enfasi è posta sugli strumenti modellistici e computazionali in grado di predire e interpretare proprietà di materiali, tecnologie e processi. Consolidate sono pure le attività nell'ambito dello sviluppo ed applicazione di metodologie avanzate di indagine sui materiali.

Quella dei Materiali Avanzati non rappresenta solo una delle aree progettuali strategiche del Dipartimento (Fig. 2) ma anche uno snodo fondamentale per le altre aree che ne costituiscono la struttura portante, quali l'Energia, la Chimica Verde, la Salute, i Beni Culturali e la Chimica Computazionale. Il DSCTM del CNR si avvale di solide competenze sui materiali avanzati ben consolidate in molti degli Istituti afferenti, e di significative punte di eccellenza riconosciute a livello internazionale e largamente presenti al loro interno. In particolare, il DSCTM copre uno spettro vasto di ambiti e settori di ricerca che spaziano dagli studi su polimeri e biopolimeri, materiali ceramici e compositi, a quelli su sistemi bio-mimetici ed ai biomateriali, dai nanomateriali inorganici di tipo metallico, magnetico e semiconduttore, con originali proprietà dipendenti dalle dimensioni, a nanostrutture organiche, ibride e bioconiugate, da sistemi a base di grafene e altri materiali 2D a materiali multifasici, da interfacce bio-organiche e architetture organizzate ed auto organizzate alla *living soft matter*. Le attività nell'area della Chimica dei Materiali comprendono la sintesi e preparazione, gli studi sui meccanismi di sintesi, l'indagine strutturale, l'elucidazione delle relazioni struttura-funzione, la comprensione delle caratteristiche chimico fisiche dei materiali ottenuti, la messa a punto di tecnologie



Figura 2. I Materiali Avanzati nel quadro delle aree strategiche del DSCTM (CNR).

innovative di processo, fino allo *scale up* dei materiali ed alla loro efficace integrazione in sistemi e dispositivi funzionali.

In questo ambito, gli strumenti modellistici e computazionali sono in grado di predire e interpretare processi e proprietà. Le attività di *screening* computazionale ad alto *throughput* sono riconosciute a livello internazionale come un fondamentale strumento di supporto e di facilitazione alla creazione di nuovi materiali con specifiche proprietà, e specificamente indicati nei bandi del Programma Quadro Europeo H2020 dedicate ai materiali (*Nanotechnologies, Advanced Materials, Biotechnology, and Advanced Manufacturing and Processing*, NMBP). Tali tecniche permettono la rapida selezione di nuovi materiali ottenuti mediante approcci di tipo combinatoriale attraverso elaborate tecniche di analisi come algoritmi genetici accoppiati a metodi *ab initio*, indirizzando la sintesi e la caratterizzazione verso i candidati più promettenti di una data classe con determinati requisiti. A valle di sintesi e caratterizzazione, il *modelling* fornisce essenziali informazioni interpretative consentendo una visione elettronica ed atomistica di nano-materiali ed interfacce fondamentali nella realizzazione di dispositivi.

Consolidate e *state-of-the-art* sono le attività nell'ambito dello sviluppo ed applicazione di metodologie di indagine avanzate, con punte di eccellenza negli ambiti che riguardano gli studi di spettroscopia di raggi X, spettroscopia ottica, molecolare, Raman, risolta in tempo, di *fast imaging*, di nanospettroscopia, di spettroscopie di risonanza nucleare, magnetica ed elettronica, e di spettroscopia di neutroni. Le eccellenti *facility* del DSCTM, congiuntamente al profondo *know-how* nella analisi di materiali sono coinvolte nella nascente infrastruttura di ricerca diffusa nel settore Beni Culturali.

I materiali messi a punto sono integrati mediante sia approcci *top-down*, quali tecniche di micro e nano fabbricazione e microfluidica, che tramite procedure chimiche *bottom-up* di organizzazione supramolecolare, *self-assembly*, *layer-by-layer*, in sistemi e dispositivi di interesse nel campo del fotovoltaico, della spintronica, delle tecnologie quantistiche, e della diagnostica biomedica.

Metodologie chimiche per lo sviluppo di materiali di interesse nel campo della salute e delle scienze della vita hanno, tra gli altri, obiettivi quali biomateriali per membrane bioartificiali, anche per *organ* e *tissue engineering*, polimeri, nanomateriali, sia organici che inorganici (metalli, semiconduttori, magnetici) e bioconiugati per diagnostica (biomarcatori, *biochip*, *labelling*), *drug delivery*, teranostica, bioceramici e composti bioibridi per la medicina rigenerativa. Di rilievo anche la messa a punto di materiali per le biotecnologie omiche e la nutraceutica. Sono sviluppati, inoltre, compositi e nanocompositi funzionali per imballaggio e rivestimenti barriera, valorizzando anche la loro applicazione nel *food packaging* e per la conservazione e protezione degli alimenti. Le attività di sviluppo di materiali sono affiancate da studi sul loro impatto sull'ambiente e sull'uomo, con valutazioni di biocompatibilità, tossicità e sicurezza.

Nel campo dell'energia il DSCTM si occupa in modo intensivo dello sviluppo di materiali e tecnologie per la conversione sostenibile dell'energia luminosa in energia

elettrica, nell'ottica del fotovoltaico ibrido e organico. Significative sono le attività per la messa a punto, la realizzazione e lo studio di sistemi e componenti altamente performanti, per elettrodi a base di nanomateriali, grafene o sistemi multifunzionali. La progettazione, la sintesi, o anche, in alternativa, l'estrazione nel caso di molecole di origine naturale, e, successivamente, l'integrazione di sensibilizzatori, sia organici che inorganici e la sintesi e caratterizzazione di semiconduttori inorganici da soluzione, le perovskiti ibride, nonché la realizzazione e l'utilizzo di polimeri conduttori, arricchiscono lo scenario dell'innovazione che si sta delineando nel campo dell'energia, con evidente potenziale tecnologico e applicativo di assoluto livello. Materiali inorganici sono anche messi a punto e sviluppati per la realizzazione di elementi attivi in batterie e supercondensatori. Verso le applicazioni nel settore della conversione selettiva di risorse rinnovabili, si posizionano le attività sulla realizzazione di catalizzatori per celle a combustibile, di materiali e processi per la valorizzazione del biossido di carbonio e, in genere, per la decarbonizzazione, nonché di materiali per efficientamento energetico.

Verso la sostenibilità ambientale è orientata la realizzazione di materiali funzionali da integrare, ad esempio, in dispositivi per il monitoraggio di parametri di rilevanza ambientale, o da impiegare per la bonifica ambientale, quali per esempio i materiali, anche nanostrutturati, (foto)catalitici per la degradazione di inquinanti in acque e in atmosfera, e polimeri porosi e strutture inorganiche per membrane per il trattamento delle acque.

La progettazione e sintesi di catalizzatori omogenei ed eterogenei, anche nanostrutturati, per sintesi verdi di materiali e composti con metodologie sostenibili, e la messa a punto di innovative tecnologie di processo di materiali polimerici e compositi, polimeri biodegradabili, bioplastiche e bioadditivi anche provenienti da fonti rinnovabili e da materie prime seconde, contribuisce strategicamente alle attività dell'area Chimica Verde.

Il settore dei Beni Culturali si giova significativamente delle ricerche condotte nel campo dei materiali avanzati, sia quali componenti attivi in sistemi e dispositivi per il monitoraggio e la diagnostica di opere d'arte e monumenti, ma anche per la protezione e conservazione dei beni storico-artistici. Materiali funzionali e compositi *self-healing*, geopolimeri, polimeri ibridi, compositi e materiali nanostrutturati per protezione, consolidamento e *self-cleaning* di strutture di interesse archeologico ed artistico rivestiranno un grande potenziale nel campo dei Beni Culturali.

Le attività del DSCTM nell'ambito della Chimica dei Materiali sono svolte avvalendosi di numerose e prestigiose collaborazioni con università ed altri enti di ricerca, sia in Italia che all'estero. Tra le altre, di particolare rilevanza risultano quelle attive nell'ambito della *Graphene Flagship*, che coordina circa 140 gruppi di ricerca accademici e industriali di 19 paesi europei e di cui il CNR, presente con il DSCTM ed IL DSFTM, è uno dei fondatori iniziali.

Diverse sono le tipologie di interlocutori per gli istituti del DSCTM, oltre alle università ed agli enti di ricerca, in Italia ed all'estero. Di rilievo sono le interazioni con realtà industriali, che testimoniano l'elevato livello di maturità tecnologica della ricerca

chimica sui materiali, che, pertanto, raggiungendo un livello di *technology readiness* più elevato, meglio si prestano all'applicazione ed al trasferimento dei risultati della ricerca. In tal senso numerose sono le interazioni con piccole e medie imprese ma anche con *stakeholder* industriali di dimensione anche internazionale, nonché con le istituzioni pubbliche, interessate alla ricaduta economica e sociale della ricerca, sia a livello locale che nazionale. Tali collaborazioni sono attuate sia nell'ambito di partenariati e di consorzi di progetti, regionali, nazionali ed internazionali, ma anche attraverso strumenti più ampi quali, ad esempio, accordi di programma, accordi quadro, convenzioni, protocolli di intesa, esistenti o messi a punto specificatamente in funzione delle esigenze che via via maturano e si manifestano.

In definitiva, le attività nel DSCTM del CNR testimoniano pienamente la grande rilevanza attribuita alla ricerca sui materiali avanzati e sottolineano che la funzione di tale ricerca non sia identificabile quale meramente applicativa e di supporto alla tecnologia. Vi è, infatti, sicuramente ancora più importante, il riconoscimento del valore della ricerca fondamentale di elevata qualità, con carattere sempre crescente di inter- e multidisciplinarietà, e di come questa sia fondante per una solida innovazione, essendo studi metodologici ed approcci di base essenziali per fornire soluzioni originali e autenticamente innovative per la ricerca orientata. Questa visione dimostra l'assoluta strategicità della ricerca fondamentale, non finalizzata, *curiosity driven*, nel quadro più completo della valorizzazione del "sistema ricerca" nel suo complesso che è il solo in grado di portare sviluppo e benefici a lungo termine per la società e per l'economia del nostro Paese.

TAVOLA ROTONDA

Chimica, accademia e imprenditorialità

Coordinatore: *Ferruccio Trifirò*

Scienze Chimiche e Industria

*Ferruccio Trifirò**

Introduzione

I rapporti fra Scienze Chimiche e Industria nella Università di Bologna possono essere efficacemente testimoniati dai risultati ottenuti con le ricerche svolte in mutua collaborazione. In questo capitolo verranno riportati gli argomenti e le tematiche sviluppate fra gruppi di ricerca universitari e ricercatori dell'industria, l'utilizzo industriale dei risultati, i brevetti, le pubblicazioni in comune e quelle risultanti da progetti ricerca finanziati da industrie o da enti pubblici anche attraverso borse di studio post laurea. In tema di rapporti fra Accademia e Industria è importante citare i finanziamenti destinati dalle imprese per borse di dottorato di ricerca perché, molto spesso, risultano determinanti per finalizzare le ricerche oggetto dei programmi comuni. L'analisi, riportata nei paragrafi che seguono, si riferisce agli anni compresi fra il 1977 e il 2013 ed è stata eseguita su dati forniti dai docenti che hanno partecipato alle ricerche che, per semplicità, sono stati raggruppati per area disciplinare e/o dipartimento di appartenenza. Nella sezione Bibliografia vengono riportati solo i brevetti e le pubblicazioni più significative di ogni argomento citato nel testo.

1. Chimica Organica e Industria

Le collaborazioni in questo ambito si sono svolte con l'obiettivo di migliorare i processi di sintesi di sostanze organiche molto complesse come alcuni farmaci o di ottenere nuovi principi attivi di farmaci e di fitofarmaci. Studi e collaborazioni si sono rivolti, anche se in misura inferiore, alla sintesi di prodotti utilizzati da industrie chimiche e a nuovi metodi per analisi biomedicali.

* Professore Emerito di Chimica Industriale, Università di Bologna e Direttore della rivista della Società Chimica Italiana "La Chimica e l'Industria".

1.1 Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”

Il gruppo di ricerca dell'area di Chimica Organica (G. Cainelli, A. Umani Ronchi, M. Contento, M. Panunzio e E.F. Galletti) afferente al Dipartimento “Giacomo Ciamician” ha per molti anni svolto ricerca in collaborazione con industrie farmaceutiche e con aziende chimiche ottenendo rilevanti risultati coperti da numerosi brevetti. Tra i più significativi vengono citati quelli che riguardano la sintesi di principi attivi di farmaci antibiotici [1], la sintesi di acidi carbossilici utilizzati come intermedi per la preparazione di fitofarmaci, farmaci e di prodotti di chimica fine [2] (con Montedison), la sintesi di antibiotici [3] (con la Società Farmaceutici Italia) e di farmaci utilizzati come inibitori androgeni [4] (con Farmitalia-Carlo Erba). Inoltre il Prof. Cainelli è stato coinvolto, in qualità di docente, in corsi avanzati per il gruppo di R&D della Farmitalia Carlo Erba, corsi che si sono protratti per diversi anni. Con l'azienda “Biochimica OPOS S.p.A.” il gruppo di ricerca ha intrattenuto intensi rapporti testimoniati da sei pubblicazioni [5] e quindici brevetti [6] sulla sintesi di principi attivi utilizzati per la produzione di cefalosporine e penicillina, si riporterà come riferimento un brevetto¹ ed una pubblicazione [5]. Con la “Farmabios” è stata studiata la sintesi di diversi intermedi per la preparazione di formulati farmaceutici con azione antinfiammatoria e la ricerca ha prodotto, con ricercatori dell'azienda, 5 brevetti [6]. L'azienda chimica italiana “Newchem S.p.A.” si è rivolta al gruppo per migliorare la sintesi del principio attivo di un farmaco progestinico sintetico usato nei contraccettivi orali combinati e nella terapia ormonale. Il problema è stato risolto con successo portando alla realizzazione di due brevetti [7]. Insieme ad Aldo Roda (professore di Chimica Analitica del Dipartimento di Scienze Farmaceutiche) e ad altri docenti di chimica organica, il gruppo del Ciamician ha collaborato con l'azienda farmaceutica “Alfa Wassermann” per mettere a punto principi attivi analoghi a quelli naturali di farmaci contro la calcolosi biliare. Il risultato della ricerca è testimoniato da un brevetto [8] realizzato con ricercatori dell'azienda ed una pubblicazione [9]. Nel campo della ricerca applicata il Prof. Claudio Trombini, docente di Chimica Organica del Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, ha collaborato con Enichem sulla polimerizzazione anionica di dieni coniugati e vinil areni [10] e, con la partecipazione M. Lombardo e A. Roda, hanno messo a punto insieme alla “start up” “R.d. Pharmadvice S.r.l” un metodo per la produzione di nanoparticelle di silice utilizzabili come sensori in analisi biomediche ed hanno ottenuto un brevetto [11].

1.2 Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari”

In questo paragrafo vengono riportati i brevetti e le pubblicazioni realizzate dal gruppo di ricerca di Chimica Organica (G. Rosini, P. Righi, E. Marotta e C. Paolucci) in collaborazione con ricercatori di diverse aziende chimiche. Le principali tematiche affrontate riguardano l'individuazione e la messa a punto di nuove vie sintetiche di interesse industriale per la preparazione di principi attivi di farmaci, fitofarmaci e fragranze e lo studio di procedimenti semplici, ma competitivi per la preparazione di sostanze enantiomericamente pure di interesse industriale. Ogni collaborazione ha dato origine ad un contratto di ricerca fra Azienda ed il Dipartimento di Chimica Organica “A. Mangini”,

ora Dipartimento "Toso Montanari", con il finanziamento di borse per neo laureati assegnate dall'Azienda stessa tramite bandi di concorso. Negli anni Novanta G. Rosini ha svolto diverse ricerche in collaborazione con l'azienda "Alfa-Wasserman" (oggi Alfa-Sigma) S.p.A. In particolare è stato pubblicato uno studio NMR sui principi attivi di un farmaco [12], successivamente sono state effettuate ricerche che hanno portato a due brevetti [13] ed una pubblicazione [14]. Dopo una interruzione, la collaborazione del gruppo con l'Azienda ha avuto una nuova stagione con il pieno inserimento del Prof. Paolo Righi. Al gruppo di ricerca Rosini-Righi fu assegnata dall'Azienda una borsa di ricerca vinta dal Dott. Denis Severini, obbiettivo mirato della ricerca era lo studio dei polimorfi della Rifaximina, un antibiotico battericida non assorbibile del gruppo delle rifamicine. Questa collaborazione con il gruppo di ricerca Alfa-Wasserman diretto dal Dott. Giuseppe Viscomi e che ha visto la partecipazione del Dott. Vincenzo Cannata (coautore dei brevetti) è stata eseguita con l'unità di ricerca del Prof. Dario Braga del Dipartimento "Giacomo Ciamician". Nel 2003 è stato depositato il primo brevetto italiano [15] esteso a molti paesi nel mondo. Questa attività ha portato a più di 20 brevetti migliorativi che ha permesso all'Azienda di mantenere una posizione da leader su un suo principio attivo molto apprezzato in campo internazionale. I risultati sono stati anche argomento di una pubblicazione [16]. La collaborazione di G. Rosini con l'ENDURA S.p.A ha avuto inizio dall'incontro con il Dott. Antonio Tozzi fondatore e titolare dell'azienda che aveva l'obiettivo di trasformare la sua società commerciale in una azienda produttrice di prodotti di chimica fine e fitofarmaci. All'inizio della collaborazione il gruppo universitario ha usufruito di una borsa di ricerca assegnata al Dott. Dario Brancaleoni alla quale sono seguite molte altre, tutte finanziate e destinate a giovani laureati. Svariati sono stati i temi affrontati ed in pochi anni l'assidua collaborazione con il gruppo di ricerca dell'ENDURA S.p.A., diretto dal Dott. Valerio Borzatta, ha portato a tre brevetti [17], e quattro pubblicazioni [18, 19], uno studio comparativo di due processi industriali per la preparazione dell'alcol di Elliott [20] e una presentazione ad un congresso internazionale [21]. Molteplici risultati sono andati ad accrescere il patrimonio conoscitivo dell'Azienda nella delicata fase dell'insediamento della propria attività produttiva nel comprensorio industriale di Ravenna. G. Rosini ha inoltre collaborato con l'Istituto Donegani-Enimont (già Agrimont, ora Isagro S.p.A.) allo studio di feromoni dedicato allo sviluppo di metodologie sintetiche efficienti per la loro preparazione anche nelle forme enantiomericamente arricchite. Con questa azienda è stato realizzato un brevetto [22], diverse pubblicazioni [23], oltre una monografia [24] ed un libro inerenti agli argomenti trattati.

Non sempre le collaborazioni attivate dal gruppo con Aziende hanno portato a brevetti e/o alla pubblicazione dei risultati delle ricerche svolte, ma sempre le Aziende ed il gruppo universitario hanno derivato benefici dal lavoro comune svolto in piena armonia e con l'inserimento di giovani laureati che hanno potuto così affrontare i primi passi nel mondo del lavoro. Al riguardo, emblematica è stata la collaborazione con la "Fatro S.p.A." su temi di ricerca inerenti la sintesi di molecole ad attività farmacologica per uso veterinario. Come sempre, la collaborazione si è avvalsa dell'attivazione di borse di

ricerca per neo laureati che hanno favorito l'esordio professionale di diversi vincitori fra i quali il Dott. Giorgio Orsolan. Con quest'ultimo è stato ottenuto un nuovo processo di sintesi di cloprostenolo destrogiro ad elevata purezza ottica e la sua assunzione in Fatro S.p.A. ha permesso il trasferimento del know-how all'Azienda.

2. Chimica Inorganica e Chimica Fisica e Industria

Norberto Roveri docente di Chimica Generale ed Inorganica del Dipartimento "Giacomo Ciamician" ha effettuato studi nel settore dei prodotti cosmetici e biomedicali a base di sostanze inorganiche. In questo campo ha collaborato con la "Menarini industrie farmaceutiche riunite" realizzando un brevetto sulla sintesi di idrossiapatite con proprietà biomimetiche [25]. Sempre nello stesso settore, ha ottenuto in collaborazione con la "Coswell", azienda italiana specializzata in "oral care", una serie di prodotti innovativi per l'odontoiatria a base di idrossiapatite sintetica biomimetica realizzando con ricercatori di questa azienda alcuni brevetti [26]. Ha collaborato con l'azienda olandese "Parx Plastics BV" con la quale ha realizzato un brevetto sulla sintesi di polimeri con proprietà antibatteriche aggiungendo a polimeri tradizionali in commercio sali di zinco [27]. Dopo il 2009 ha fondato diverse start-up in particolare "Chemical Center S.r.l.", "Bio eco Active S.r.l." e "LEBSC S.r.l." con le quali ha svolto una intensa attività di ricerca applicata realizzando diversi brevetti.

Marina Mastragostino, docente di Chimica Fisica (Dipartimento di Scienza dei Metalli, Elettrochimica e Tecniche Chimiche) e fondatrice del laboratorio LEME insieme a Catia Arbizzani, ha svolto ricerche con partner industriali in progetti sia europei che nazionali nel campo dell'energetica elettrochimica. In questo ambito sono stati sviluppati materiali e dispositivi per l'accumulo e conversione dell'energia come le batterie al litio, batterie litio-ione e supercapacitori per un trasporto sostenibile (veicoli elettrici e elettrici ibridi). I supercapacitori sono accoppiati alle batterie nei veicoli elettrici ibridi, fornendo i picchi di potenza in accelerazione e recuperando l'energia di frenata, e sono una promettente soluzione di medio termine per un trasporto a bassa emissione. La partecipazione al progetto nazionale ALPE (1994-1998) in collaborazione con Enea e l'azienda Arcotronics ha consentito lo sviluppo di accumulatori solidi al litio con componenti polimerici [28]. Il medesimo gruppo di ricerca ha partecipato (1998-2001) al progetto "*Supercapacitors of Power and Energy*" in collaborazione con aziende come CEAC-EXIDE (F) (Coordinator), Arcotronics (I) ed Enea (I) e laboratori accademici. Tale progetto, partendo da studi di base su celle da laboratorio, ha portato allo sviluppo di prototipi di supercapacitori ibridi. I principali risultati di questo progetto sono stati riportati in una pubblicazione realizzata a nome di tutti i partner [29]. È stata realizzata una collaborazione (2006-2008) al progetto "*Ionic liquid-based hybrid power supercapacitor*" con Enea e le aziende Degussa (D), Arcotronics (I), Microvett (I), Leclanche (D). Tale progetto ha prodotto prototipi preindustriali di supercapacitori a base di liquidi ionici per

veicoli e vinto il premio “Travisions 2016” come miglior progetto finanziato dalla Comunità Europea nella categoria trasporti stradali ed i risultati sono riportati in tre pubblicazioni [30]. Negli ultimi anni (2011-2013) si sono attuate ricerche con il progetto “*Advanced Fluorinated Materials for High Safety Calendar Life Lithium batteries*” insieme con le industrie SOLVAY (I) (coordinatore), CEA (F), ERAS (F), INPG (F), RECUPYL (F), RENAULT (F), VOLVO (S) e MEET (D). Lo scopo del progetto era lo sviluppo di materiali fluorurati avanzati per produrre batterie ioni di litio di elevata sicurezza, energia e vita ed i risultati del progetto sono stati pubblicati in un lavoro [31]. Più recentemente con l'Enea, nell'ambito del programma nazionale MSE ENEA “Ricerca di Sistema” sono stati studiati catodi ad alto potenziale per batteria ione di litio, termicamente più stabili e quindi più sicuri degli ossidi dei metalli di transizione utilizzati attualmente [32].

3. Chimica Industriale e Industria

In questo paragrafo sono descritte le ricerche realizzate fra un gruppo di ricerca (Ferruccio Trifirò, A. Riva, Gabriele Centi, Angelo Vaccari, Fabrizio Cavani, Giuseppe Fornasari, Stefania Albonetti, Francesco Basile e Silvia Bordoni) afferente al Dipartimento di “Chimica Industriale e dei Materiali”, ora Dipartimento “Toso Montanari”, e l'industria chimica. Hanno partecipato alle ricerche, con le rispettive competenze, altri docenti come Oddone Ruggeri dell'Istituto di Metallurgia, Guido Busca dell'Istituto Chimico della Facoltà di Ingegneria di Bologna, Marco Gazzano ricercatore del CNR di Bologna ed Elisabetta Foresti dell'Istituto di Chimica “Giacomo Ciamician”. La collaborazione ha prodotto un numero di pubblicazioni maggiore di quello dei brevetti, perché l'obiettivo primario era porre le basi scientifiche per indirizzare la ricerca industriale verso lo sviluppo e l'applicazione di nuovi processi. Allo scopo, gli studi sono stati principalmente finalizzati alla scoperta e collaudo di nuovi catalizzatori e all'utilizzo di materie prime diverse da quelle derivate dal petrolio, anche per ottenere processi a più basso impatto ambientale.

3.1 Studio su alcuni processi chimici alternativi

Per realizzare processi chimici alternativi alla produzione industriale di derivati chimici di vasto utilizzo derivati dal petrolio si sono affrontate, insieme a laboratori di ricerca di industrie chimiche, tre tematiche di ricerca: la produzione di gas di sintesi ($\text{CO} + \text{H}_2$), la produzione di metanolo, di alcoli superiori dal gas di sintesi e la deidrogenazione ossidativa delle paraffine ad olefine.

La ricerca sulla produzione di gas di sintesi all'inizio è stata finanziata da Snamprogetti (società di ricerca dell'Eni) e sono state pubblicate insieme le prime pubblicazioni [33], riguardanti la messa a punto di nuovi catalizzatori per la produzione di gas di sintesi da metano, acqua ed ossigeno (in alternativa al processo esistente che utilizzava solo metano ed acqua ad alti costi energetici). Successivamente si è collaborato con ricercatori dell'a-

zienda francese “Air Liquide” realizzando altre pubblicazioni [34] ed anche un brevetto [35] sulla produzione di gas di sintesi da propano. Abbiamo infine studiato la produzione di gas di sintesi da biomasse (rifiuti di attività agricole, forestali, alimentari e urbane) in un progetto europeo con capofila una industria svedese la “Catator”, che aveva un impianto di gassificazione di biomasse già funzionante, producendo sei pubblicazioni (come esempio vedi [36]). Il gas di sintesi è utilizzato nella produzione di metanolo, che può essere trasformato in olefine ed aromatici, in alcoli superiori e in paraffine, molecole che possono essere utilizzate per produrre olefine in alternativa alle frazioni di petrolio. Anche in questo caso, la ricerca è iniziata con un finanziamento da parte di Assoreni (società dell’Eni) e le dieci pubblicazioni realizzate con ricercatori di questa azienda sono state essenzialmente sulla sintesi di metanolo [37]. È stato realizzato anche un brevetto sulla sintesi di metanolo [38] mentre con ricerche finanziate dalla Snamprogetti si sono studiate le sintesi alternative di alcoli superiori, ed è stato pubblicato un lavoro in collaborazione con il responsabile delle ricerche della Snamprogetti [39].

I processi studiati nelle due tematiche precedenti sono stati accompagnati da ricerche sulla sintesi di nuovi catalizzatori derivati da minerali idrotalcitici a base di alluminati di magnesio sostituito da altri ioni metallici con collaudate e peculiari proprietà catalitiche. Le prime due pubblicazioni sulle idrotalciti contenenti ioni rame e zinco sono state realizzate con ricercatori dell’Assoreni [40]. Successivamente sono state realizzare pubblicazioni su idrotalciti contenenti ioni nichel e cobalto con “Institut Français du Pétrol” [41]. Infine l’ultima pubblicazione [42] e l’ultimo brevetto [43] sono stati realizzati con ricercatori della Snamprogetti con idrotalciti contenenti metalli nobili.

Le olefine leggere (etilene, propilene, buteni e isobutene) sono attualmente prodotte nella quasi totalità per *steam cracking* di frazioni di petrolio, insieme alle società dell’Eni abbiamo studiato la possibilità di produrre le olefine a partire da paraffine leggere, impurità del gas naturale, per deidrogenazione ossidativa, processo a più bassi costi energetici della reazione alternativa alla deidrogenazione, già utilizzata nell’industria, che opera a più alta temperatura e con un processo endotermico. Le prime pubblicazioni [44] sono state finalizzate alla deidrogenazione ossidativa del propano a propilene ed etano ad etilene e sono state realizzate in collaborazione di ricercatori di Eniricerche con la quale è stato realizzato anche un brevetto sulla deidrogenazione ossidativa dell’etano ad etilene [45]. Inoltre, sono state studiati con Snamprogetti processi sulla deidrogenazione ossidativa del propano a propilene e, successivamente, è stato realizzato un brevetto [46] con un ricercatore dell’azienda francese “Elf Atochem” sulla deidrogenazione ossidativa di svariate paraffine.

3.2 Studio di nuovi processi a minore impatto ambientale

L’acrilonitrile, materia prima per la sintesi di fibre sintetiche, viene oggi prodotto per ammonossidazione (reazione con NH_3 e O_2) del propilene mentre prima degli anni ’70 veniva ottenuto da acetilene e acido cianidrico (sostanza tossica) con un processo considerato fra i più pericolosi dell’industria chimica. In seguito all’aumento del prezzo del propilene e della sua prevedibile minore produzione si temette di dovere tornare al

vecchio processo industriale con l'utilizzo di reagenti tossici e pericolosi. In questo contesto il gruppo di chimica industriale rivolse le proprie ricerche all'utilizzo, come materia prima del processo di ammonossidazione, del propano meno caro e ottenibile sia dalla produzione di GPL sia da quella del gas naturale. I primi lavori [47] su questa tematica di ricerca sono stati pubblicati insieme a Robert Grasselli, già responsabile della ricerca sulla sintesi di acrilonitrile dell'azienda americana Sohio, la prima ad attuare il processo di ammonossidazione del propilene. La ricerca è proseguita con "Rhone Poulenc", azienda francese che produceva adiponitrile, monomero per la sintesi del nylon, da butadiene ed acido cianidrico, processo pericoloso, ed aveva pensato di sintetizzarlo attraverso la dimerizzazione elettrochimica di acrilonitrile, ma occorreva abbassare il suo prezzo ed aveva ritenuto utile produrlo da propano. Questa collaborazione è documentata da cinque brevetti [48] e da una pubblicazione [49]. Successivamente interesse per questa ricerca è stato manifestato da Eni che aveva realizzato un impianto di ammonossidazione del propilene in Asia e avrebbe potuto utilizzare il processo alternativo da propano. La collaborazione con ricercatori sia di Snamprogetti che di Enitecnologie si è concretizzata con sette pubblicazioni [50]. Infine, sulla stessa tematica è stata ripresa la collaborazione con l'industria francese Rhodia (già "Rhone Poulenc") che ha portato alla pubblicazione di alcuni studi [51]. In tutte le ricerche svolte sulla reazione di ammonossidazione del propano, a partire dalla collaborazione con Grasselli e con le aziende sopra citate, sono stati sperimentati catalizzatori sempre diversi fra loro.

L'acido metacrilico, materia prima per la manifattura di polimeri, viene sintetizzato per reazione tra acido cianidrico ed acetone e reazioni successive. Questo processo è utilizzato in un impianto ancora esistente a Marghera. Un metodo alternativo, a basso impatto ambientale, consiste nella ossidazione diretta dell'isobutano. Il contributo del gruppo di ricerca si è concretizzato studiando nuovi catalizzatori tutti in collaborazione con l'azienda francese "Elf Atochem" (che poi ha cambiato nome in Atofina ed adesso in Arkema). La ricerca è stata pubblicata in venti lavori su riviste internazionali di cui tredici con ricercatori dell'industria che ha finanziato gli studi [52, 53]. Lo sviluppo industriale del catalizzatore è stato realizzato poi nell'azienda senza il nostro contributo.

Nel campo dello studio per realizzare processi a più basso impatto ambientale sono stati attivati progetti di ricerca con l'italiana Ausimont (poi diventata "Solvay Fluor Italia") per ottimizzare la reazione di fluorurazione di etilene che utilizzava cloro, sostanza tossica, come intermedio [54]. Successivamente con Arkema (azienda francese) è stata studiata una sintesi alternativa consistente nella reazione diretta delle olefine con acido fluoridrico ed ossigeno (ossifluorurazione), a più basso impatto ambientale [55, 56] del precedente processo che utilizzava cloro.

3.3 Aumento dell'efficienza dei processi esistenti

Un esempio sul miglioramento della efficienza dei processi per la produzione di prodotti chimici di largo uso è quello relativo alla sintesi dell'anidride maleica. Questa sostanza, prima degli anni '70, veniva prodotta da benzene altamente tossico e solo

dopo gli anni '70 fu introdotto il metodo che consisteva in una semplice reazione di ossidazione diretta del n-butano molecola non tossica e meno cara del benzene. Tuttavia il processo presentava ancora basse rese e bassa selettività e si rese necessario intervenire sulla reazione migliorando il catalizzatore. Gli studi iniziali eseguiti in questa direzione dal gruppo di ricerca di chimica industriale e le conseguenti pubblicazioni su riviste internazionali condussero alla stipula di un contratto di ricerca con l'azienda americana "Monsanto", prima al mondo nella realizzazione di un impianto di produzione di anidride maleica da n-butano. La collaborazione ha favorito la pubblicazione di alcuni lavori e di una *review* [57]. L'esperienza acquisita e gli studi effettuati in questo settore permisero al gruppo di collaborare successivamente senza interruzione dal 2000 a tutt'ora con ricercatori dell'azienda svizzera Alusuisse Italia (poi Lonza ed adesso Polynt). Questa industria ha realizzato a Ravenna il più grande impianto al mondo di ossidazione di n-butano ad anidride maleica a letto fluido. Gli anni di studio e la pubblicazione di numerosi lavori [58] e brevetti [59] in collaborazione con Polynt hanno permesso di ottenere gli obiettivi fissati e cioè di migliorare, a seguito di modifiche del catalizzatore, la resa dal 60 al 80%.

Bibliografia

- [1] G. Cainelli, A. Umani-Ronchi, S. Sandri, M. Contento, I. Resta, M. Da Col, L. Dall'Asta "Ciclohexanocephalosporins and their preparation procedure", WO1995034567A1.
- [2] G. Cainelli, M. Foà, A. Umani Ronchi, A. Gardano, US4435575 (1984) (IT1198337B).
- [3] P. Masi, M. Foglio, G. Franceschi, A. Suarato, G. Cainelli, F. Arcamone, "Methods for preparing cephalosporins", US4035362 (1977).
- [4] G. Cainelli, G. Martelli, M. Panunzio, G. Spunta, G. Nannini, E. di Salle, "Steroidic5 alfa-reductase inhibitors", US4732897A (GB850586).
- [5] G. Cainelli, D. Giacomini, P. Galletti, M. Da Col, "Penicillin G acylase mediated synthesis of the enantiopure (S)-3-amino-azetidin-2-one Tetrahedron", *Tetrahedron: Asymmetry*, 8(19) (1997) 3231-3235.
- [6] G. Cainelli, A. Umani-Ronchi, S. Sandri, M. Contento, M. Da Col, M. Boriani, S. Da Col, "17.Beta-(alpha-hydroxy)-esters of androstanes Isomerisation of 6beta fluorosteroids into the corresponding 6alfa-fluoro derivatives", US6369218 B1 (2002).
- [7] E. Andriolo, M. Montorsi, S. Rancan, E. Mariani, M. Bandini, M. Contento, A. Umani-Ronchi, "Process for the preparation of Drospirenone", US 20100222571, US8383809 B2 (2013) (EP07014742.6) (2010) WO 2009012955.
- [8] E. Marchi, M.R. Milani, S. Piani, A. Roda, G. Cainelli, "Bile acids derivatives useful in the therapy of the biliary calculus from cholesterol and of the pathologies caused by cholestasis", US5639744 (1997).
- [9] A. Roda, C. Cerre, A.C. Manetta, G. Cainelli, A. Umani-Ronchi, M. Panunzio, "Synthesis and Physicochemical, Biological, and Pharmacological Properties of New Bile Acids Amidated with Cyclic Amino Acids", *J. Med. Chem.*, 39(11) (1996) 2270-2276.
- [10] G.T. Viola, C. Trombini, L. Musiani, "Anionic copolymerization of conjugated dienes and vinyl arenes in the presence of alkyl ethers of tetrahydropyranyl methanol", US5914378A.

- [11] M. Guardigli, M. Lombardo, M. Mirasoli, A. Quinavalla, A. Roda, C. Trombini, M. Di Fusco, "Method for the production of thermochemiluminescent silica nanoparticles and their use as markersg in bioanalytic methods", WO 2014/024106 Al.
- [12] A. Bozzoli, E. Marotta, S. Piani, G. Rosini, "The M/Pconformation distribution of 3-O-derivatives of the 1,5-benzothiazepin ring system-The unique effect of silicon", *Tetrahedron Lett.*, 34 (1993) 3759-3762.
- [13] C. Baldazzi, E. Romagnoli, S. Saguatti, S. Piani, "Lactones with antioxidising and hypolipidaemic activity useful in the therapy of the atherosclerosis", US 5608084A (1997).
- [14] C. Baldazzi, F. Calderoni, E. Marotta, S. Piani, P. Righi, G. Rosini, S. Saguatti, F. Venturelli, "Medium sized lactones with hypolipidaemic and antioxidant activity: synthesis and biological evaluation of promising dual-action anti-atherosclerosisdrugs", *Bioorg. Med. Chem.*, 7(2) (1999) 411-418.
- [15] G.C. Viscomi, M. Campana, D. Braga, D. Confortini, V. Cannata, D. Severini, P. Righi, G. Rosini, "Polymorphous forms of rifaximin as antibiotics", WO2005/ 044823 A3 -WIPO (PCT)-(2005).
- [16] G.C. Viscomi, M. Campana, M. Barbanti, F. Grepioni, M. Polito, D. Confortini, G. Rosini, P. Righi, V. Cannata, D. Braga, "Crystal forms of rifaximin and their effect on pharmaceutical properties", *CrystEngComm*, 10(8) (2008) 1074-1081.
- [17] V. Borzatta, D. Brancaloni, G. Rosini, L. D'Adamo, "Process for the production of 5-benzy-3-furfuryl alcohol", WO2002/090341.
- [18] G. Rosini, C. Ayoub, V. Borzatta, E. Marotta, A. Mazzanti, P. Righi, "The same and not the same. Similarities and differences in the resolution of trans-chrysanthemic acid of industrial origin by the enantiomers of some threo-1-aryl-2-dimethylamino-1,3-propanediols", *Green Chem.*, 9 (2007) 441-448.
- [19] G. Rosini, V. Borzatta, F. Boschi, G. Candido, E. Marotta, P. Righi, "The racemate cage. Influence of p1,n1 salt occurrence on enantiomeric separation processes. The case of trans-chrysanthemic acid", *Chem. Commun.*, 2007, 2717-2719.
- [20] P. Righi, G. Rosini, V. Borzatta, "Comparative assessment of an alternative industrial routes to (5-benzylfuran-3-yl)-methanol (Elliott's alcohol), a key intermediate for the production of resmethrins", Chapter 16: Introducing Green Metrics in Process Development, in: *Sustainable Industrial Chemistry* (Wiley, 2009).
- [21] G. Rosini, C. Ayoub, V. Borzatta, E. Marotta, A. Mazzanti, P. Righi, "Effective and practical recovery of the enantiomers of trans-chrysanthemic acid from scalemic and racemic mixtures of industrial source", in: Proceedings of the 17th International Symposium on Chiral Discrimination (ISCD-17), Parma, 11-14 Settembre 2005, *Chirality Special Issue*, 18(7) (2006).
- [22] G. Rosini, R. Serra, F. Rama, G. Confalonieri, "Procedure for the preparation of bicyclo[3.2.0]hept-2-en-7-ones", EP0521571B1 (1993).
- [23] G. Confalonieri, E. Marotta, F. Rama, P. Righi, G. Rosini, R. Serra, F. Venturelli, "Synthesis of methyl substituted bicyclo[3.2.0]hept-2 en-6-ones and 3,3a-tetrahydro-2H-cyclopenta[b] furan-2-ones", *Tetrahedron*, 50 (1994) 3235-3250.
- [24] E. Marotta, P. Righi, G. Rosini, "The bicyclo[3.2.0]heptan-endo-2-ol and bicyclo[3.2.0]hept-3-en-6-one approaches in the synthesis of grandiosol: The evolution of an idea and efforts to improve versatility and practicality", *Organic Process Res. & Dev.*, 3 (1999) 206-219.
- [25] N. Roveri, "Biometric compounds containing hydroxyapatites substituted with magnesium and carbonate, and the processes used to obtain them", US20070172433N50.

- [26] P. Gualandi, A. Gualandi, J. Gualandi, I. Foltran, E. Foresti, M. Lelli, M. Marchetti, F. Pierini, N. Roveri, S. Vecchiotti, I.G. Lesci, "Dental care products comprising carbonate-substituted fluoro-hydroxyapatite particles", EP2713992A1 (2011).
- [27] M. Fiori, N. Nocerino, R. Capparelli, A. Fulgione, M. Van Der Jagt, C. Medaglia, M. Marchetti, N. Roveri, R. Mercuri, M. Lelli, F. Rinaldi "Antibacterial polymers and method for obtaining the same", US9527918B2 (2013).
- [28] G.B. Appetecchi, F. Croce, G. Dautzenberg, M. Mastragostino, F. Ronci, B. Scrosati, F. Soavi, A. Zanelli, F. Alessandrini, P.P. Prosini, "Composite Polymer Electrolytes with Improved Lithium Metal Electrode Interfacial Properties Electrochemical Properties of Dry PEO-LiX Systems", *J. Electrochem. Soc.*, 145 (1998) 4126-4132.
- [29] A. Laforgue, P. Simon, J.F. Fauvarque, M. Mastragostino, F. Soavi, J.F. Sarrau, P. Lailier, M. Conte, E. Rossi, S. Saguatti, "Activated Carbon Conducting Polymer Hybrid Supercapacitors", *J. Electrochem. Soc.*, 150(5) (2003) A645-A651.
- [30] M. Mastragostino, F. Soavi, "Strategies for high-performance supercapacitors for HEVS", *J. Power Sources*, 17 (2007) 489-493.
- [31] C. Arbizzani, F. De Giorgio, L. Porcarelli, M. Mastragostino, V. Khomenko, V. Barsukov, D. Bresser, S. Passerini, "Use of non-conventional electrolyte salt and additives in high-voltage graphite/LiNi_{0.4}Mn_{1.6}O₄ batteries", *J. Power Sources*, 238 (2013) 17-20.
- [32] L. Damen, F. De Giorgio, S. Monaco, F. Veronesi, M. Mastragostino, "Synthesis and characterization of carbon-coated LiMnPO₄ and LiMn_{1-x}Fe_xPO₄ (x = 0.2, 0.3) materials for lithium-ion batteries", *J. Power Sources*, 218 (2012) 250-253.
- [33] F. Basile, L. Basini, M. D'Amore, G. Fornasari, Guarinoni, D. Matteuzzi, G. Del Piero, F. Trifirò, A. Vaccari, "Ni/Mg/Al anionic clay derived catalysts for the catalytic partial oxidation of methane. Residence time dependence of the reactivity features", *J. Catal.*, 173(2) (1998) 247-256.
- [34] N. Ballarini, A. Battisti, F. Cavani, A. Cericola, C. Cortelli, M. Ferrari, F. Trifirò, P. Arpentinier, "The combination of propane partial oxidation and of WGS reaction in a single catalytic bed, and the self-adapting catalytic properties of vanadium oxide catalyst", *Appl. Catal. A: General*, 307 (2006) 148-155.
- [35] F. Basile, G. Fornasari, A. Vaccari, P. Del Gallo, D. Gary, "Perovskite catalyst for the partial oxidation of natural gas", US 20040127351.
- [36] S. Albertazzi, F. Basile, D. Barbera, P. Benito, J. Einvall, J. Brandin, G. Fornasari, F. Trifirò, A. Vaccari, "Steam reforming of hot gas from gasified wood and herbaceous biomass", *Biomass Bioenerg.*, 35(1) (2011) 116-122.
- [37] G. Del Piero, F. Trifirò, A. Vaccari, "Non-stoichiometric Zn-Cr spinel as active phase in the catalytic synthesis of methanol", *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 10 (1984) 656-658.
- [38] O. Ruggeri, F. Trifirò, A. Vaccari, G. Del Piero, G. Manara, "Procedimento per la preparazione di un catalizzatore per la sintesi del metanolo a bassa pressione e catalizzatore ottenuto con lo stesso", IT1135641B (1986).
- [39] A. Riva, F. Trifirò, A. Vaccari, G. Busca, L. Mintchev, D. Sanfilippo, W. Manzatti, "The promoting role of Cr and K in catalysts for high-pressure and high-temperature methanol and higher-alcohol synthesis", *J. Chem. Soc. Faraday Trans 1*, 83(7) (1987) 2213-2225.
- [40] F. Basile, L. Basini, G. Fornasari, M. Gazzano, F. Trifirò, A. Vaccari, "New hydrotalcite type anionic clays containing noble metals", *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 21 (1996) 2435-2436.

- [41] O. Clause, B. Rebours, E. Merlin, F. Trifirò, A. Vaccari, "Preparation and characterization of nickel-aluminum mixed oxides obtained by thermal decomposition of hydrotalcite-type precursors", *J. Catal.*, 133(1) (1992) 231-246.
- [42] F. Basile, L. Basini, G. Fornasari, M. Gazzano, F. Trifirò, A. Vaccari, "New hydrotalcite type anionic clays containing noble metals", *J. Chem. Soc. Chem. Commun.*, 21 (1996) 2435-2436.
- [43] L. Basini, G. Fornasari, A. Vaccari, "Materials having layered structure of hydrotalcite type and uses thereof", EP0725038-A1 (1996).
- [44] S. Bordoni, F. Castellani, F. Cavani, F. Trifirò, M.P. Kulkarni, "Dispersion of V^{4+} ions in a SnO_2 rutile matrix as a tool for the creation of active sites in ethane oxydehydrogenation", in: *New Development in Selective Oxidation II*, edited by V. Cortéz Corberán, S. Vic Bellon, vol. 82 (Elsevier, Amsterdam, 1994) pp. 93-100.
- [45] M. Koutyrev, F. Cavani, F. Trifirò, "Catalyst and process for oxidative dehydrogenation of ethane into ethylene", EP 0544372 A1.
- [46] F. Cavani, E. Etienne, F. Trifirò, "Application d'un catalyseur supporté à base d'oxyde de chrome à la déshydrogénation oxydante d'hydrocarbures paraffiniques en les monoléfinés correspondantes", France Patent 2,748,021 A1 (1997).
- [47] R. Catani, G. Centi, F. Trifirò R.K. Grasselli, "Kinetics and reaction network in propane ammoxidation to acrylonitrile on vanadium-antimony-aluminum based mixed oxides", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 31(1) (1992) 107-119.
- [48] S. Albonetti, G. Blanchard, P. Burattin, F. Cavani, F. Trifirò, "Procédè de préparation de catalyseurs d'ammoxydation", US Patent 5,686,381 (1997).
- [49] S. Albonetti, G. Blanchard, P. Burattin, F. Cavani, S. Masetti, F. Trifirò, "Propane Ammoxidation to Acrylonitrile over Tin-Based Mixed Oxide Catalyst", *Catal. Today*, 42(3) (1998) 283-295.
- [50] N. Ballarini, F. Cavani, C. Giunchi, S. Masetti, F. Trifirò, D. Ghisletti, U. Cornaro, R. Catani, "Rutile-type Cr/Sb mixed oxides as heterogeneous catalysts for the ammoxidation of propane to acrylonitrile", *Topics Catal.*, 15(2-4) (2001) 111-119.
- [51] E. Arcozzi, N. Ballarini, F. Cavani, M. Cimini, C. Lucarelli, F. Trifirò, P. Delichere, J.M.M. Millet, P. Marion, "The control of catalytic performance of rutile-type Sn/V/Nb/Sb mixed oxides, catalysts for propane ammoxidation to acrylonitrile", *Catal. Today*, 138(1-2) (2008) 97-103.
- [52] F. Cavani, E. Etienne, R. Mezzogori, A. Pigamo, F. Trifirò, "Improvement of catalytic performance in isobutane oxidation to methacrylic acid of Keggin-type phosphomolybdates by preparation via lacunary precursors: nature of active sites", *Catal. Lett.*, 75(1-2) (2001) 99-105.
- [53] N. Ballarini, F. Candiracci, F. Cavani, H. Degrand, J.L. Dubois, G. Lucarelli, M. Margotti, A. Patinet, A. Pigamo, F. Trifirò, "The dispersion of Keggin-type P/Mo polyoxometallates inside silica gel and the preparation of catalyst for the oxidation of isobutane to methacrolein and methacrylic acid", *Appl. Catal. A: General*, 325(2) (2007) 263-279.
- [54] S. Albonetti, L. Forni, P. Cuzzato, P. Alberani, S. Zappoli, F. Trifirò, "Aging investigation on catalysts for hydrofluorocarbons synthesis", *Appl. Catal., A: General*, 326(1) (2007) 48-54.
- [55] S. Albonetti, A. Beghin, F. Cavani, R. Colasante, L. Forni, S. Guidotti, F. Trifirò, "Direct oxyfluorination of hydrocarbons on metal fluorides", *Topics Catal.*, 50(1) (2008) 168-174.
- [56] L. Forni, C. Descorme, F. Trifirò, "Metal fluorides-mediated direct ethene oxyfluorination", *Catal. Commun.*, 10(6) (2009) 930-934.

- [57] G. Centi, F. Trifirò, J.R. Ebner, V.M. Franchetti, "Mechanistic aspects of maleic anhydride synthesis from C4 hydrocarbons over phosphorus vanadium oxide", *Chem. Rev.*, 88(1) (1988) 55-80.
- [58] S. Anniballi, F. Cavani, A. Guerrini, B. Panzacchi, F. Trifirò, C. Fumagalli, R. Leanza, G. Mazzoni, "The catalytic performance of Cs-doped V/Ti/O catalysts in the oxidation of o-xylene to phthalic anhydride: a TPR/TPO and reactivity study", *Catal. Today*, 78(14) (2002) 117-129.
- [59] F. Cavani, C. Fumagalli, R. Leanza, G. Mazzoni, L. Panzacchi, "Titanium/Vanadium/Tin comprising catalysts and process for the preparation of phthalic anhydride", US 7,557,223 B2.

Scienze Chimiche e Dottorato

Domenica Tonelli*

Come attuale coordinatrice del Corso di Dottorato in Chimica dell'Università di Bologna (marzo 2019) ne presento in modo sintetico la storia, ripercorrendo lo sviluppo temporale delle Scuole di Dottorato nell'area delle discipline chimiche in UNIBO, mettendo in risalto l'evoluzione in termini di numero di borse, tematiche di ricerca, internazionalizzazione e il coinvolgimento di enti pubblici e privati ed aziende. Il quadro risultante vuole essere una testimonianza dell'impatto sempre maggiore che sta acquisendo il terzo livello di istruzione universitaria delle scienze chimiche nell'Università di Bologna non solo per la ricerca, ma anche come canale preferenziale per un qualificato sbocco professionale.

1. Scuole di Dottorato

Il Dottorato di Ricerca viene istituito nell'anno accademico 1983-1984. Il primo ciclo inizia nel novembre 1983 e termina il 31 ottobre 1986. Nelle discipline chimiche UNIBO si dota di due Scuole di Dottorato quella di *Scienze Chimiche* e quella di *Chimica Industriale*.

Le borse di Dottorato venivano assegnate ad ogni scuola e finanziate dal Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica e Tecnologica. Gli esami finali si svolgevano a Roma presso il Ministero, molto spesso anche con quasi un anno di ritardo rispetto alla fine del ciclo. In seguito, tenendo conto che le borse erano classificate sulla base delle aree disciplinari CUN, gli esami finali avvenivano nella sede del presidente di una commissione nazionale, composta da tre docenti delle rispettive aree. Dopo il decimo ciclo,

* Accademica Corrispondente Residente, Professore Ordinario di Chimica Analitica, già Coordinatrice del Corso di Studio in Chimica Industriale, Coordinatrice del Dottorato in Chimica dal 2019 ad oggi. Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari", Università di Bologna.

L'Alma Mater diventa il centro di coordinamento della Scuola di Dottorato e l'esame finale per l'acquisizione del titolo viene gestito, in sede, da una commissione di docenti delle aree disciplinari di riferimento della Scuola.

2. Il Dottorato in Scienze Chimiche

Il primo coordinatore del Dottorato in Scienze Chimiche (1983-1986) fu il Prof. Paolo Favero (Ciamician) ed il secondo il Prof. Antonino Fava (Dipartimento di Chimica Organica), poi di nuovo il Prof. Favero nel terzo ciclo. Nel prosieguo dei cicli di Dottorato i vari coordinatori (in carica per tre anni) appartenevano, con alternanza, al Dipartimento "G. Ciamician" (Facoltà di Scienze) o ad uno dei due dipartimenti della "collina", Dipartimento di Chimica Organica e Dipartimento di Chimica Fisica ed Inorganica (Facoltà di Chimica Industriale). Il numero di borse inizialmente assegnate e suddivise fra i tre dipartimenti concorrenti erano dieci. Nel Dottorato in Scienze Chimiche, sin dai primi anni dalla sua istituzione, sono presenti tre curricula: Chimica Fisica, Chimica Inorganica e Chimica Organica. Con il XIV ciclo del triennio 1998-2001 (Coordinatore: Prof. Alberto Ripamonti), per sopperire alla assenza di un curriculum di Chimica Analitica, viene introdotto un corso obbligatorio di Complementi di Chimica Analitica. Le borse assegnate sono undici, tutte finanziate dal Ministero, ma diventa possibile avere anche dottorandi senza borsa. Ad esempio nel XVIII ciclo (Coordinatore Prof. Vincenzo Balzani) il numero di posti disponibili aumenta a 19, di cui 14 con borsa. Occorre ricordare che a partire dal XII ciclo (1996-1999) era stata introdotta anche la possibilità di stipulare convenzioni esterne.

3. Il Dottorato in Chimica Industriale

Il primo coordinatore del ciclo del Dottorato in Chimica Industriale (1983-1986) fu il Prof. Trifirò che rimase in carica 19 anni. I dipartimenti concorrenti erano due: il Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali e quello di Chimica Applicata e Scienza dei Materiali (DICASM). Le borse finanziate dal ministero erano quattro.

A partire dal XII ciclo (1996-1999), come già detto sopra, viene introdotta la possibilità di stipulare delle convenzioni esterne con Enti pubblici o privati, il che porta ad un aumento del numero di borse che, nel ciclo in questione, passano da 3 a 4, perché l'azienda Lonza ne finanzia una, e nel XIII ciclo diventano 5.

Con il XIV ciclo, dato che diventa possibile avere anche dottorandi senza borsa (non superiore al 100% degli studenti con borsa, ma nel tempo la percentuale è scesa al 33%) il numero di studenti aumenta ancora. Il XV ciclo del Dottorato in Chimica Industriale inizia il 1° gennaio 2000 con 7 studenti, di cui uno senza borsa e a gennaio 2001 e 2002 iniziano, rispettivamente, il XVI e il XVII ciclo.

Naturalmente anche le tematiche di ricerca diventano sempre più ampie. Per esempio, fino al XVI ciclo, le tematiche erano due e precisamente: Sintesi, processi e controllo nell'industria chimica e Sintesi, strutture e proprietà dei polimeri, ma diventano 4 con il XVII ciclo (coordinatore: Prof. Trifirò, 8 studenti di cui 4 senza borsa). Infatti alle precedenti si aggiungono: Monitoraggio ambientale e gestione dei rifiuti e Scienza e tecnologia della ceramica.

Anche il XVIII ciclo inizia il 1° gennaio 2003 ed il coordinatore diventa il Prof. Luigi Angiolini; gli studenti sono sette di cui tre senza borsa.

4. L'unione dei Dottorati: i primi passi

Nell'anno accademico 2003-2004 (XIX ciclo) i due Dottorati di Scienze Chimiche e Chimica Industriale formalmente si uniscono e la denominazione cambia in *Scienze Chimiche e Chimica Industriale* con un unico Collegio dei Docenti (coordinatore Prof. Giorgio Orlandi) e due articolazioni distinte che contengono le precedenti rispettive peculiarità: Progetto n. 1 Scienze Chimiche e Progetto n. 2 Chimica Industriale. I settori scientifici disciplinari interessati sono: Chimica Industriale, Scienza e Tecnologia dei Materiali Polimerici, Fondamenti chimici delle tecnologie, Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali e Scienze merceologiche. Nella scheda di attivazione di questo ciclo, per il progetto n. 2, viene riportato:

La vitalità scientifica e la capacità di attrazione del Dottorato di finanziamenti esterni è dimostrata dalla partecipazione di enti privati e centri pubblici di ricerca che hanno provveduto, in misura crescente nel corso degli ultimi anni, a contribuire finanziariamente con borse di studio a giovani laureati per il conseguimento del titolo. Basti pensare che a partire dai corsi del XII ciclo quando venne consentita la possibilità di finanziamenti esterni, le borse di studio erogate da industrie (Lonza, General Electric, Borregaard, Enitecnologie, Inver) e da enti di ricerca o pubbliche istituzioni (CNR, INSTM, UE) sono state 19, a fronte delle 12 assegnate dall'Ateneo, corrispondenti ad una percentuale di autofinanziamento del 61%.

Anche nella scheda di attivazione dello stesso ciclo, per il progetto n. 1 Scienze Chimiche, compaiono enti esterni quali: CNR-ISTEC Faenza, CNR-ISOF, Bologna, CNR-ISMN, Bologna e la Ditta CIBA. Inoltre tra gli obiettivi formativi viene detto:

È fortemente auspicato il trascorrere un periodo formativo all'estero: di regola 6 mesi in qualificate istituzioni europee ed americane. La peculiarità delle tematiche che caratterizzeranno le attività di ogni singolo Dottorando rende necessaria una scelta mirata della struttura internazionale presso la quale verrà svolta parte dell'attività, [...] sfruttando anche il fatto che molti docenti del dottorato hanno collaborazioni con laboratori esteri all'avanguardia nelle tematiche di ricerca del dottorato.

Inoltre viene formalizzato l'inserimento nei tre curricula della tematica di ricerca: Processi Chimici Innovativi, che è già attiva presso le strutture dipartimentali ospitanti il Dottorato, rendendo così possibile la disponibilità di ulteriori borse di dottorato ad essa espressamente dedicate. Tale tematica prevede l'utilizzo di materie prime ricavate da fonti rinnovabili, l'ottimizzazione del bilancio di massa per minimizzare i reflui, la minimizzazione dei costi energetici, lo sviluppo di nuove vie di sintesi con l'uso di catalizzatori a basso impatto ambientale, la sostituzione di reattivi tossici od obsoleti.

Con il XX ciclo (coordinatore Prof. Giuliano Longoni), a conferma della separazione solo formale in due curricula, si ritorna di nuovo ai due Dottorati separati. Per quanto riguarda quello di Scienze Chimiche i Dipartimenti concorrenti sono sempre tre: Dipartimento di Chimica "G. Ciamician", Dipartimento di Chimica Organica e Dipartimento di Chimica Fisica e Inorganica. L'offerta potenziale è di 30 posti, di cui 26 messi a concorso, coperti con 13 borse e 7 assegni di ricerca.

Con il XXI ciclo, che inizia il 1° gennaio 2006, compaiono per la prima volta, tra i settori scientifici disciplinari interessati al Dottorato, anche la Chimica Analitica e la Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali. I posti disponibili sono 25 di cui 14 con borsa.

Nel XXII ciclo viene introdotta una nuova tematica di ricerca: Nanoscienza e Nanotecnologia (approccio "dal basso" alla miniaturizzazione; assemblaggio ed integrazione funzionale di componenti molecolari per ottenere sistemi supramolecolari capaci di svolgere funzioni utili; sintesi, caratterizzazione e funzionamento di dispositivi e macchine molecolari di dimensione nanometrica; studio di nanoparticelle, nanosensori, nanotubi, e, più in generale, di materiali nanostrutturati). Nei cicli XXIII, XXIV e XXV (negli ultimi due cicli, coordinatrice Prof.ssa Adriana Bigi), la struttura del Dottorato in Scienze Chimiche sostanzialmente non cambia.

5. Un solo Dottorato

Con il XXVI ciclo (gennaio 2010) l'organizzazione delle Scuole di Dottorato subisce un cambiamento radicale con l'istituzione del *Dottorato in Chimica* che sostituisce i Dottorati in *Scienze Chimiche* e *Chimica Industriale* con l'obiettivo di formare Dottori di Ricerca di elevata qualificazione scientifica, in grado di organizzare e gestire attività di ricerca nell'ambito della chimica ed in settori di ricerca in cui la chimica ha un ruolo predominante. Il Dottorato è promosso da tutti i Dipartimenti dell'Ateneo operanti in ambito chimico, Dipartimento di Chimica Organica, che è il proponente e dal quale proviene il Coordinatore, Prof. Gian Piero Spada, Dipartimento di Chimica "G. Ciamician", Dipartimento di Chimica Fisica e Inorganica, Dipartimento di Chimica Industriale e dei Materiali ed il Dipartimento di Scienze Farmaceutiche.

Per perseguire gli obiettivi formativi, il Dottorato di Ricerca in Chimica si articola in tre curricula: Scienze Chimiche, Chimica Industriale e Scienze Farmaceutiche. I Settori

Scientifici Disciplinari (SSD) coinvolti sono 11 e precisamente: Chimica Fisica, Chimica Generale ed Inorganica, Chimica Organica, Chimica Analitica, Chimica dell'Ambiente e dei Beni Culturali, Chimica Industriale, Scienza e Tecnologia dei Materiali Polimerici, Fondamenti Chimici delle Tecnologie, Chimica Farmaceutica, Farmaceutico tecnologico applicativo e Chimica e Biotecnologia delle Fermentazioni.

Ovviamente le tematiche di ricerca perseguite dai dottorandi di questo ciclo sono inerenti ai tre curricula ed in particolare riguardano i seguenti 12 settori: Chimica Organica (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Chimica Inorganica (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Chimica Fisica (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Processi Chimici Innovativi (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Nanoscienza e Nanotecnologia (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Indirizzo Chimico Organico (CURR. SCIENZE FARMACEUTICHE), Chimica Analitica (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Materiali Avanzati per Applicazioni Strutturali e/o Funzionali (CURR. SCIENZE CHIMICHE), Indirizzo Chimico-Farmaceutico/Analitico-Farmaceutico (CURR. SCIENZE FARMACEUTICHE), Indirizzo Tecnologico Applicativo (CURR. SCIENZE FARMACEUTICHE), Chimica e Tecnologia dei Processi per la Produzione Industriale e la Protezione dell'Ambiente (CURR. CHIMICA INDUSTRIALE), Chimica e Tecnologia dei Prodotti e dei Materiali Polimerici e Ceramici (CURR. CHIMICA INDUSTRIALE).

Il numero di borse finanziate è 24, ma l'offerta potenziale corrisponde a 48 posizioni in quanto, come detto in precedenza, il numero di dottorandi totali poteva essere pari al 100% dei posti finanziati.

Il Dottorato in Chimica con questa organizzazione prosegue con il XXVII e con il XXVIII ciclo, quando diventa coordinatore il Prof. Aldo Roda, a causa della prematura scomparsa del Prof. Spada.

Durante il XXIX ciclo (inizio 1° gennaio 2014) si ha una ulteriore trasformazione del Dottorato in Chimica, forse dovuta anche alla ristrutturazione dei Dipartimenti dell'Ateneo, in quanto non è più presente il Dipartimento di Scienze Farmaceutiche.

Il Dottorato, promosso dal Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician" e dal Dipartimento di Chimica Industriale "Toso Montanari", si articola nei curricula Scienze Chimiche, Chimica Industriale e SINCHEM (*Sustainable Industrial Chemistry*). La presenza come curriculum di SINCHEM, un dottorato internazionale organizzato nell'ambito dell'*Erasmus Mundus Programme* con partecipazione di partner industriali, costituisce un valore aggiunto per quanto riguarda l'acquisizione di risorse per il finanziamento delle borse, l'instaurazione di collaborazioni con l'industria e l'internazionalizzazione del corso, offrendo quindi notevoli opportunità ai dottorandi. Il corso di Dottorato in Chimica è caratterizzato da un'elevata mobilità, poiché buona parte dei dottorandi svolge attività di ricerca all'estero per un periodo maggiore rispetto ai 6 mesi previsti dal regolamento di Dottorato.

Nel XXX ciclo l'articolazione del Dottorato si mantiene identica. Il Coordinatore è ancora il Prof. Roda, i posti senza borsa si riducono ad un terzo di quelli con borsa (7 *vs* 21), mentre la data di inizio viene anticipata al 1° novembre 2014.

I 21 posti con borsa di studio sono finanziati da Fondo Giovani (1), dalla Fondazione “Bruno Kessler” (1), dalla Fondazione “Toso Montanari” (2) e dal Consorzio Interuniversitario Nazionale per la Scienza e Tecnologia dei Materiali (1). Le altre borse sono finanziate da fondi provenienti dal Ministero, dall’Ateneo di Bologna, oppure messi a disposizione dal Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, dal Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari” e dal Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica Ambientale e dei Materiali.

Per quanto concerne i cicli seguenti, non ci sono cambiamenti sostanziali, se non che scompare la possibilità di avere posti senza borsa e aumenta l’internazionalizzazione del Dottorato in Chimica, in quanto iniziano ad essere stipulate le convenzioni con Università ed enti di ricerca stranieri.

6. La situazione occupazionale

Con l’assetto attuale del Dottorato si inizia a monitorare la situazione occupazionale dei Dottori di Ricerca che hanno acquisito il titolo negli ultimi tre anni. A tale proposito, la scheda di attivazione del XXXIV (iniziato il 1° novembre 2018) recita:

I risultati delle indagini condotte da UNIBO sono disponibili per i Dottori di Ricerca che hanno conseguito il titolo negli anni 2014, 2015 e 2016 (indagine del 2017). Su 83 Dottori di Ricerca in Chimica, 56 (il 67,4% del totale) hanno risposto al questionario. L’analisi delle risposte evidenzia che i Dottori di Ricerca in Chimica conseguono il titolo in anticipo (a 29-30 anni) rispetto alla media di Ateneo (quasi 32 anni). Nel complesso, l’85% dei Dottori di Ricerca lavora e/o è in formazione retribuita (valore maggiore della media di Ateneo) ed il tasso di disoccupazione (def. Istat – Forze di lavoro) varia dall’11,5% (titolo nel 2014) al 3,8% (titolo nel 2016). I Dottori di Ricerca con un impiego autonomo o a tempo indeterminato vanno dal 65,2% (titolo nel 2014) al 20,0% (titolo nel 2016), mentre la maggior parte dei rimanenti (21,7% e 64,0% per titoli nel 2014 e nel 2016, rispettivamente) è titolare di borse di studio o assegni di ricerca. Per quanto riguarda i settori di attività, prevalgono Istruzione/ricerca (45% del totale), Chimica/Energia (15%) ed Industrie manifatturiere (16%). Nel settore Istruzione/ricerca è principalmente rappresentato l’ambito universitario, seguito da Istituti di ricerca ed altri Enti/aziende, soprattutto per i Dottori di Ricerca che hanno conseguito il titolo nel 2016.

Lo sbocco professionale più importante di un Dottore di Ricerca in Chimica è l’inserimento in strutture pubbliche (università, enti di ricerca) o private (laboratori, industrie, spin-off, ecc.), in quanto, durante la sua formazione, viene pienamente acquisita l’esperienza necessaria per svolgere l’attività lavorativa tipica delle strutture di ricerca sopracitate.

L'ottima valutazione che gli enti di ricerca e le industrie attribuiscono ai Dottori di Ricerca in Chimica, è testimoniata anche dal crescente finanziamento di borse di studio da parte di tali soggetti. Inoltre, ormai anche in Italia, come capita da molti anni in altri paesi Europei ed extra Europei, soprattutto negli USA, il titolo di Dottore di Ricerca costituisce un elemento preferenziale per l'assunzione a tempo indeterminato, in ruoli di responsabilità, e, quindi, con stipendi nettamente superiori a quelli tipici di un neo-assunto in possesso solo della laurea magistrale.

Spin off e startup in ambito chimico

*Dario Braga**

1. Gli spin off in UniBo

La Chimica, e in particolare la Chimica bolognese, è sempre stata molto attiva nella generazione di impresa o nella partecipazione a imprese innovative dove la componente chimica è particolarmente rilevante (Energia e Ambiente, Biomedicale, Nanotecnologia, Scienze della Vita, ecc.).

Al momento del convegno “Tradizione e Innovazione: le Scienze Chimiche a Bologna” del 30 gennaio 2018 organizzato dalla Accademia delle Scienze Istituto di Bologna ho censito almeno una trentina di imprese collegate all’area chimica. Tra queste 13 spin off partecipati direttamente o tramite AlmaCube dall’Università di Bologna (AlmaPlasma, Nextema, Stemsel, WellMicro, MiaMed, mHealthTechnologies, Targeting Gut Disease, Analytical Research System, ERGO Consulting, Health Ricerca e Sviluppo, Last Minute Market, Mec, Vet Spin), 10 spin off accreditati ma non partecipati (ByFlow, HK, Hydrosynergy, Nais, Nesher Clinical Research, Optit, Personal Genomics, Phenbiox, Ser.En.Geo, Unveil Consulting) e almeno sette aziende ex-partecipate tramite AlmaCube o direttamente dall’Università di Bologna (Alma Automotive, Arca Technologie, Econag, Elcos, Keisna, Progea, Techimp). Il complesso delle aziende promosse da ex studenti o docenti UniBo era ed è ovviamente molto più ampio. A quelle elencate sopra si devono aggiungere le imprese costituite da compagni autonomamente formati nei Dipartimenti dell’Università. L’elenco, probabilmente incompleto comprende Cyanagen e PolyCrystalLine nate dal Dipartimento di Chimica Ciamician, e Lesepidado, Phenbiox, Prochem, e Alchemy nate dal Dipartimento di Chimica Industriale.

* Coordinatore del Dottorato in Nanoscienze per la Medicina e l’Ambiente, Direttore dell’Istituto di Studi Avanzati, già Prorettore alla Ricerca. Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”, Università di Bologna.

2. Il caso di PolyCrystalLine

Tra queste esperienze quella che meglio conosco è, necessariamente, quella di PolyCrystalLine s.r.l. (ora s.p.a.) nata dal mio gruppo di ricerca presso il Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician” nel 2005 sull’onda di una forte domanda di ricerca nel campo dello stato solido da parte del mondo farmaceutico. L’interesse industriale per competenze nel campo delle forme cristalline di una stessa sostanza (polimorfi, idrati, solvati, ecc.) esplode improvvisamente a seguito della scoperta di trasformazioni indesiderate in forme cristalline di farmaci già sul mercato, trasformazioni tali da alterarne le proprietà fisiche e quindi i profili terapeutici. A questi fenomeni ad alto impatto sui pazienti si aggiungono alcune importanti cause brevettuali avviate da “big pharma” in contesa con aziende interessate a introdurre farmaci generici sul mercato allo scadere della copertura brevettuale [1]. Cito questi elementi – anche se piuttosto specialistici – perché possono servire a comprendere come il primo dei problemi nel percorso di creazione di impresa sia stato, in fondo, quello della “riconversione” di parte dell’attività di ricerca da ricerca pura in ricerca applicata con il contestuale spostamento in settori scientifici nuovi e al di fuori dei confini del settore scientifico disciplinare.

Sebbene una forte motivazione per questo cambio di paradigma venisse dalla necessità di reperire risorse per la ricerca di base, in un momento di forte calo delle risorse pubbliche, è indubbio che un ruolo fondamentale è stato svolto dalla prospettiva di generare lavoro a partire da competenze di ricerca.

Una ulteriore spinta verso la creazione di uno spin off è venuta dall’“eccessivo” successo dell’idea di intercettare l’“outsourcing” di ricerca nello stato solido dell’industria farmaceutica. Nel volgere di pochi anni la domanda di ricerca industriale nei confronti del gruppo di Molecular Crystal Engineering da me coordinato raggiunge il limite della capacità di risposta. Si tratta di un bivio importante che comporta nuove scelte. Il pericolo che si corre è che l’appiattimento sulla ricerca commissionata – pur se in grado di portare risorse più abbondanti – finisca inevitabilmente per erodere la capacità del gruppo di svolgere ricerca fondamentale “blue sky”, compromettendone la natura di gruppo universitario di ricerca. Una nuova sfida quindi che può essere riassunta nella domanda: come rispondere alla richiesta di esperienza dalla ricerca industriale finalizzata senza compromettere la natura pubblica del lavoro universitario di ricerca scientifica “no profit”? Per buona sostanza, si trattava di scegliere tra rinunciare ai contratti industriali oppure finire per lavorare (quasi) esclusivamente a progetti finalizzati di interesse aziendale. È in questo contesto che matura l’idea della “terza via”: creare una azienda di ricerca innovativa in grado non solo di intercettare il surplus di richiesta di supporto scientifico da parte del mondo industriale ma anche, crescendo e radicandosi, di creare opportunità di lavoro per laureati con le esperienze adeguate maturate nel gruppo di ricerca.

Nel 2005 viene costituita PolyCrystalLine s.r.l. con la partecipazione di tutti i membri del gruppo di ricerca. Fondamentale per questo esito sono alcuni fattori concorrenti in ordine di importanza: 1) la presenza nel gruppo di ricerca di giovani mo-

tivati e orientati verso la creazione di impresa e pronti a mettersi in gioco per realizzare l'idea di trasformare conoscenze di ricerca di base in *business*; 2) il successo nella partecipazione al bando SPINNER promosso dalla Regione Emilia-Romagna per il sostegno della imprenditorialità giovanile che consentiva di attivare borse di studio per la frequenza di corsi di progettazione d'impresa, *business planning* e indagine di mercato e quindi per consolidare l'idea di *business*; 3) la opportunità offerta da una importante prima commessa industriale da parte della BASF di Ludwigshafen per lo *screening* di polimorfi di alcune sostanze di interesse agrochimico, e infine; 4) la possibilità di affittare, a spese della s.r.l. appena varata con il nome di PolyCrystalLine (PCL), un locale attrezzato *ad hoc* per un periodo di 1 anno presso il Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician".

PCL nasce quindi come spin off accademico, caratterizzato cioè dalla partecipazione societaria, *inter alia*, di personale universitario di ruolo autorizzato all'uso oltre che da personale non strutturato (assegnisti e studenti) ma senza partecipazione societaria diretta da parte dell'Università di Bologna come previsto nel caso di spin off universitari. L'idea è buona e l'iniziativa ha successo. In breve tempo PCL è in grado di individuare una sede adeguata extra universitaria (prima a Villanova di Castenaso ora a Medicina) e realizzare i primi investimenti per la creazione di laboratori di preparativa e la acquisizione di strumentazioni di diffrazione. Questa fase fa emergere in tutta la sua portata il problema del credito. L'azienda, per crescere, ha bisogno di dotarsi di strumenti di ricerca adeguati e competitivi. L'accesso al credito non è stata cosa semplice, infatti la strumentazione di base utile per partire è stata acquistata con mutuo standard e con le risorse dei soci a garanzia dei prestiti. È un passaggio cruciale perché l'acquisizione di strumentazioni e la assunzione di nuovo personale consente l'espansione aziendale e il decollo dell'attività.

Un fondamentale apporto al successo dell'azienda e alla sua crescita è venuto dallo stretto rapporto con la ricerca universitaria, garantito non solo dalla interazione continua con il gruppo di ricerca "genitore" di *Molecular Crystal Engineering* (MCE) del Dipartimento di Chimica ma anche dalla prosecuzione di attività congiunte di organizzazione di scuole e workshop scientifici sui temi di interesse sia della ricerca di base sia di quella applicata. Infatti, è a partire dal 2005 che iniziative congiunte PCL-MCE vedono confluire a Bologna ricercatori universitari e ricercatori industriali a confrontarsi su temi di ricerca, caratterizzazione e utilizzo di forme cristalline di farmaci. La "Bologna's crystal form convention" diventa, negli anni, un appuntamento fisso. Nel 2019 si è svolta a Bologna la decima edizione. Attenzione viene anche dedicata ai temi legati alla proprietà intellettuale e alla copertura brevettuale [2].

3. Da spin off a impresa

L'esperienza di PolyCrystalLine nonostante la sua specificità permette di evidenziare i requisiti più importanti per la creazione di una impresa di origine accademica. Per rag-

giungere questo scopo, i ricercatori che hanno elaborato una “idea di business” fondata sulla propria ricerca, dovrebbero avere la consapevolezza che per partire servono:

1. risorse strumentali accessibili (affitto, prestito, ecc.);
2. un “business plan” attorno ai quali costruire le prime relazioni commerciali;
3. “le persone giuste” sui cui caricare l’idea di impresa (il laureato “giusto” deve avere in sé il desiderio di operare per costruirsi il proprio futuro senza aspettarsi che sia qualcun altro a darglielo);
4. supporto dall’università e dalle altre istituzioni pubbliche (ministeri, regione, ecc.) per superare la barriera di energia potenziale iniziale e avviare un processo “termodinamicamente favorito” di costruzione di azienda.

Il percorso tuttavia è certamente meno accidentato se il processo viene “catalizzato” dalla presenza nelle università e nelle amministrazioni comunali e regionali di infrastrutture di supporto con personale competente e motivato (come, nel caso di UniBo, l’incubatore di impresa AlmaCube e la tecnostuttura di supporto, ora ARTEC e per la Regione Emilia-Romagna, il consorzio ASTER) che possano agire come ponte tra l’accademia e il mondo industriale.

Questi processi possono essere favoriti da una formazione adeguata: occorre dare agli studenti e ai dottorandi di chimica gli strumenti conoscitivi necessari per aiutare la crescita di una idea di impresa. A questo fine, i periodi di “stage” in azienda sono molto utili ma utile è anche una sensibilizzazione sui principi del mercato industriale (*business planning, market analysis, intellectual property issues*). I “dottorati industriali” di recente istituzione assolvono in parte questi compiti, anche se il tema della gestione della proprietà intellettuale dei risultati di ricerca ottenuti con finanziamenti industriali in laboratori universitari costituisce spesso un problema di complessa soluzione. Una via molto utile al collegamento università-industria è anche quella rappresentata dalla organizzazione congiunta di attività di divulgazione e di confronto scientifico dove si possano, non solo confrontare esperienze di ricerca industriale e accademica, ma anche costruire momenti di interazione e di contatto tra studenti e dottorandi e postdoc con realtà industriali collegate.

Resta il fatto che troppa parte della formazione del chimico, in particolare a livello di tesi di laurea e di dottorato, è orientata all’ottenimento di risultati di ricerca fondamentale perché più immediatamente utilizzabili e condivisibili (pubblicazioni, presentazioni a convegni, progetti di ricerca per reperire fondi). Tutto molto importante. Tuttavia per favorire il trasferimento di conoscenze e l’autoimprenditorialità dei laureati e dottori di ricerca sarebbe importante stimolare anche una mentalità “imprenditoriale” fornendo conoscenze e modelli di riferimento e opportunità di esperienza in azienda. Questo concetto può essere riassunto in maniera sicuramente semplificata nel principio: “se il lavoro adeguato a quello che so fare non c’è... lo si può sempre creare”.

Ringrazio il dott. Giuseppe Conti e la dott.ssa Francesca Farnararo dell’Università di Bologna per il supporto nel reperimento delle informazioni riportate in testa all’articolo.

Riferimenti

- [1] Griesser U.J. in: *Polymorphism in the Pharmaceutical Industry*, edited by Hilfiker R. (Wiley-VCH, Germany, 2006) pp. 211-233; Bernstein, J., “Polymorphism and Patents from a Chemist’s Point of View”, in: *Polymorphism in Pharmaceutical Technology*, edited by Hilfiker R. (Elsevier, Amsterdam, 2006) pp. 365-384.
- [2] Braga D., Grepioni F., Bernstein J., Gavezzotti A., “Crystal Engineering in the Regulatory and Patent Literature of Pharmaceutical Solid Forms”, *Cryst. Growth Des.*, 17 (2017) 933-939.

Il domani che ci aspetta

Il paradigma della competitività nello scenario sostenibile del futuro

*Cosimo Franco**

Come sappiamo l'evoluzione della tecnologia ci permette di vivere in modo più agevole e quindi più piacevole. Questa positiva evoluzione è sempre avvenuta nel corso della storia man mano che il progresso è avanzato. Le scoperte scientifiche e lo sviluppo tecnologico, dall'invenzione della macchina a vapore in poi, hanno consentito un salto di qualità alla nostra vita rendendola meno vincolata al lavoro fisico, meno soggetta alle carestie e alle malattie. Grazie allo sviluppo tecnologico la crescita economica della società, seppur tra alti e bassi (si pensi alla crisi del 1929 o quella più recente del 2008), è sempre stata positiva ed ha permesso al mondo occidentale, in particolare alle Nazioni più industrializzate, di generare e garantire nel tempo un certo benessere ai propri cittadini. Questo benessere si è mediamente diffuso tra i vari ceti sociali trasmettendo a tutti la ragionevole certezza che il domani sarebbe stato migliore dell'oggi. Questa ragionevole certezza, però, si manifesta principalmente all'interno dei sistemi chiusi, come è avvenuto fino alla fine degli anni Novanta del secolo scorso in Italia, perché i sistemi chiusi sono in qualche modo protetti e quindi meno soggetti alle perturbazioni del mercato. Questa dinamica porta inevitabilmente a far credere che il positivo trend possa continuare per gli anni futuri senza mai invertirsi.

Oggi giorno la stupefacente accelerazione tecnologia ci permette di essere sempre connessi e di interagire con il mondo per mezzo del social media facendoci illudere di non aver più bisogno di intermediazioni. Ci muoviamo con molta più facilità e rapidità grazie all'evoluzione della tecnologia nei trasporti. Viviamo più a lungo grazie alle scoperte e allo sviluppo delle tecnologie in campo biomedico. In altre parole quello che fino a poco tempo fa sembrava impossibile oggi sembra realizzabile e a portata di tastiera. Davanti a questa velocità dell'evoluzione tecnologica il legislatore fa fatica ad adattare il *corpus* delle leggi in tempi ragionevoli per regolamentare i nuovi diritti-doveri che man mano si presentano all'orizzonte. Il sistema economico-sociale da chiuso è diventato

* Direttore generale "Certiquality".

improvvisamente aperto ponendo a tutti diversi quesiti e nuove sfide cogliendoci, il più delle volte, impreparati. In aggiunta, davanti alla grande accelerazione che genera ulteriore complessità tendiamo, per naturale difesa o semplicemente per superficialità dovuta all'immediatezza con cui accediamo alle informazioni, alla semplificazione. In breve, tendiamo a giudicare e a prendere decisioni senza capire.

In un sistema aperto sempre più globale e globalizzato, dove le informazioni (vere o false che siano) sono disponibili ad una grande maggioranza di cittadini per mezzo di un semplice clic, entrano quindi in gioco nuove forze che inevitabilmente influenzano le dinamiche competitive dei mercati e delle Nazioni dove sempre più si imporrà, come la storia dell'umanità insegna, il primato della libertà individuale su qualsiasi altro valore [1]. In tale scenario cosa ci riserva il futuro e come cambierà la dinamica della competitività delle imprese e delle Nazioni?

1. Il Sistema Italia: da chiuso ad aperto

Il Sistema Italia ha vissuto per molti anni (dal boom del dopoguerra fino agli anni Novanta del XX secolo) in una sorta di sistema chiuso dove le mitiche Colonne d'Ercole erano situate, mentalmente, non a Gibilterra ma subito dopo Trieste al confine tra Italia e l'allora Jugoslavia ovvero tra il mondo occidentale post seconda guerra mondiale e il blocco dell'Unione Sovietica. La Cina era lontana e aggrovigliata su se stessa.

Era un sistema dove la crescita economica per certi versi veniva garantita al di là della bontà degli investimenti e della strategia del Paese e delle imprese. Era una crescita principalmente dovuta ad una sorta di rendita di posizione (Patto Atlantico, Paese pedina fondamentale nel Mediterraneo e baluardo nei confronti del blocco dell'Est). Era una crescita interna trainata da una forte domanda e a bassa, o quasi nulla, competizione. Gli ingenti investimenti dello Stato attraverso le Partecipazioni Statali, la crescente industrializzazione di una parte del Paese (si pensi alla FIAT e alla conseguente migrazione di centinaia di migliaia di persone da sud a nord) hanno trasformato l'Italia permettendo ad un Paese agricolo e povero di diventare una delle principali potenze industriali mondiali. Era un Paese dove la ricchezza generata, distribuita dallo Stato anche con l'assistenzialismo, specialmente nel meridione, non ha permesso per molti anni l'emergere delle contraddizioni e delle disefficienze sia dell'apparato statale che delle imprese. In questo contesto si sono sviluppate errate convinzioni come il pensare che "piccolo era bello" o che le risorse economiche fossero infinite. Dall'agire politico in questo contesto è nato parte del debito pubblico che oggi ci condiziona in modo molto pesante. Lo slogan "piccolo è bello", con cui ci si è cullati per diversi decenni, è stato altresì deleterio per il Sistema Paese perché ha fatto pensare che si potesse fare a meno dell'innovazione, vero motore dello sviluppo. L'assenza di una politica industriale ha fatto il resto consolidando l'idea che l'ossatura dell'industria italiana potesse essere costituita da un numero infinito di piccolissime, piccole e medie imprese dove, per ovvi motivi di massa critica, non è possibile la gestazione dell'invenzione-innovazione. Si è pensato, in buona fede, che po-

tessero bastare la creatività e l'inventiva sul prodotto a bassa tecnologia per competere. Si è pensato che bastasse copiare ed infatti negli anni Sessanta e Settanta del secolo scorso gli italiani erano considerati i cinesi di oggi. Si è pensato che si potesse essere competitivi all'infinito svalutando la moneta. Non si è pensato all'ambiente perché non c'era una cultura ambientale.

2. La globalizzazione

Questo scenario, in cui l'Italia ha prosperato, seppur creando notevoli problemi interni (si pensi al divario tra nord e sud che, paradossalmente, è aumentato nel corso degli anni), è velocemente mutato quando è cambiato lo scenario politico internazionale con la caduta del muro di Berlino, con l'entrata della Cina nel WTO e con l'adesione all'euro. Il sistema da chiuso è diventato improvvisamente aperto e l'Italia si è trovata di colpo esposta ai venti della concorrenza (Paesi dell'Est, Cina, India), dove per competere non basta più il virtuosismo delle imprese (pochissime grandi, poche medie e moltissime piccole e piccolissime) [2] ma si compete se è anche competitivo il Sistema Paese [3]. Un Paese, l'Italia, non competitivo e non omogeneo per produzione di reddito, con una scarsa preparazione scientifica media, con un limitato numero di imprese innovative, con un limitato know-how scientifico e tecnologico, con un sistema scolastico e universitario non virtuoso, con una giustizia farraginoso, con una Pubblica Amministrazione inefficiente e con un debito pubblico enorme.

Al contempo, nel corso degli anni, in Italia e nei Paesi industrializzati è nata una forte consapevolezza dei cittadini sui danni che uno sviluppo incontrollato e con risorse finite stava arrecando all'ambiente e alle persone così come denunciato agli inizi degli anni Settanta del secolo XX dal Club di Roma [4]. Gli incidenti di Seveso, Bhopal e Chernobyl, per citare i più conosciuti, hanno lasciato un segno profondo nella coscienza di tutti. È quindi cresciuta nel tempo una coscienza ambientale-sociale e la consapevolezza che qualcosa di profondo andava cambiato. La crisi finanziaria iniziata nel 2008 ha contribuito ad ulteriori riflessioni in quanto ci si è iniziati a porre la domanda di quale è stato il ruolo della finanza internazionale nella generazione della crisi. Con un ammontare di liquidità, pari a circa otto-nove volte il PIL mondiale [5], che aleggia e gira per il mondo, qualche crisi (bolla speculativa) prima o poi la genera.

In un sistema aperto le dinamiche politiche, socio-economiche e competitive sono diverse da quelle che avvengono in un sistema chiuso. Gli andamenti e le dinamiche in un sistema chiuso sono principalmente lineari quindi più prevedibili e più controllabili. Per descrivere un sistema aperto si fa riferimento alla classica farfalla che, battendo le ali nel Mato Grosso, attraverso imperscrutabili passaggi, scatena un temporale in Mongolia. Tutto questo avviene in quanto i sistemi economici globali sono sistemi non lineari e quindi imprevedibili. In un sistema globalizzato, quindi aperto, e tecnologico il tempo, di fatto, si azzerà e lo spazio da locale diventa globale. In pochi nanosecondi si possono trasferire ingenti capitali da una parte all'altra del mondo. In poche ore possiamo tra-

sportare una produzione realizzata in un Paese in un altro distante migliaia di chilometri [6]. Questo meccanismo della mondializzazione della produzione se da una parte riduce la differenza economica tra i Paesi, dall'altra aumenta drammaticamente la differenza economica nei Paesi [7] più industrializzati. La rilocalizzazione produttiva in altri Paesi, in quanto più competitivi, è una delle cause dell'impoverimento del ceto medio in Italia. Analizzando quanto descritto dal punto di vista economico-sociale è facile comprendere la nascita dei populismi.

3. Evoluzioni del pensiero economico

Come tutte le cose anche il pensiero economico si evolve ed è passato dalle teorie economiche neolibériste della scuola di Chicago, che ha visto in Milton Friedman [8] (Nobel per l'Economia nel 1976) il capostipite, dove tutto era finalizzato alla massimizzazione del profitto per gli azionisti, alle teorie di Amartya Sen (Nobel per l'Economia nel 1998) che ha messo in guardia dal pericolo che, nel lungo andare, se lo scopo principale fosse continuato ad essere la sola massimizzazione del profitto e con la ricchezza concentrata sempre più nelle mani di pochi a scapito dei molti, si sarebbero generate crisi economiche, crisi finanziarie e crisi sociali epocali. Sen, che a tutti gli effetti può considerarsi il padre della sostenibilità, ha introdotto concetti teorici che hanno rivoluzionato di fatto l'approccio e l'analisi dei sistemi socio-economici classici. Attraverso i suoi studi ha fatto comprendere che i sistemi economici (Stati e imprese) per stare in equilibrio e generare vera ricchezza devono saper coniugare allo stesso tempo la dimensione ambientale, la dimensione sociale e la dimensione economica. Aggiunge però che la condizione necessaria affinché queste tre dimensioni stiano in equilibrio è l'etica [9], intesa come precisa volontà degli attori economici di porre al centro delle loro azioni una serie di valori, individuali e collettivi, che si declinano nell'etica della responsabilità, ovvero come attenzione verso le ricadute (prevedibili) delle proprie azioni [10].

Dagli studi di Sen derivano anche logiche conseguenze che stanno avendo sempre più impatto sui sistemi di produzione. Infatti essi non si basano più su una logica lineare bensì circolare al fine di riciclare il più possibile i beni prodotti. Cambierà quindi la stessa logica di progettazione, di produzione, di utilizzo e di fine vita dei prodotti. Da questo punto di vista le imprese devono essere capaci di innovare e di offrire prodotti e servizi sostenibili per soddisfare le esigenze e la sensibilità sempre più individuale dei cittadini. In questo contesto la sostenibilità intesa come capacità di coniugare la dimensione ambientale, sociale ed economica diventa un fattore di credibilità e di competitività per il futuro delle imprese. Cittadini più informati e consapevoli (con quali informazioni e con quale grado di consapevolezza è un'altra storia) indirizzeranno i consumi su prodotti sostenibili e, in teoria, a minor impatto ambientale.

Si pone quindi il problema, che già il Club di Roma aveva evidenziato nel lontano 1972, di come soddisfare i bisogni dell'uomo nei limiti delle risorse del pianeta che, grosso modo, può essere diviso in due macro aree: alla prima appartengono i Paesi svi-

luppati mentre alla seconda i Paesi in via di sviluppo. I primi desiderano conservare il benessere raggiunto, hanno una popolazione longeva e quindi più vecchia, hanno una dotazione non indifferente sul fronte tecnologico. I secondi hanno aspettative speculari ovvero desiderano un benessere che non hanno, hanno una popolazione molto giovane e sono alla ricerca di tecnologie per elevare il loro standard di vita; in più sono circa i due terzi della popolazione mondiale. Questo mondo, così come lo conosciamo, brucia l'equivalente di 1000 barili di petrolio, 90.000 metri cubi di gas e circa 200 tonnellate di carbone al secondo. Come fare a riportare questi consumi insostenibili verso un'area di sostenibilità è un bel rebus di non facile soluzione che tutti noi abbiamo davanti.

Se si pensa che la previsione della popolazione mondiale al 2050 è stimata raggiungere quasi dieci miliardi rispetto ai sette di oggi, se si pensa che il fabbisogno di energia elettrica, di cibo e di acqua aumenteranno del 50% per la prima, del 50% per la seconda e del 30% per la terza, se si pensa che l'aumento dei rifiuti cresce con ritmi esponenziali, se si pensa che dal 2015 più del 50% della popolazione mondiale vive in città superiori a centomila abitanti, se si pensa al problema dei cambiamenti climatici, se si pensa all'invecchiamento medio della popolazione nei Paesi sviluppati, se si pensa allo sviluppo tecnologico e alla disponibilità di un immenso numero di dati, se si pensa alla maggiore consapevolezza dei cittadini sui problemi ambientali e sociali rispetto ad una decina di anni fa, ben si comprende la portata degli eventi che in un futuro non molto lontano tutti noi saremo chiamati a governare attraverso i nostri comportamenti e le nostre azioni quotidiane.

4. Nuovi scenari e nuovi principi

Un primo tentativo di risposta a questi cambiamenti epocali viene dai 17 *Goals* sullo sviluppo sostenibile individuati dalla Carta dell'ONU per il 2030. Come ci ricorda Jeffrey D. Sachs [11], lo sviluppo sostenibile è tanto un modo di considerare il mondo, con particolare attenzione alle interazioni fra cambiamenti economici, sociali e ambientali, quanto un modo per descrivere la nostra aspirazione a una vita dignitosa, coniugando lo sviluppo economico con l'inclusione sociale e la sostenibilità ambientale. In breve, è sia una teoria analitica che una cornice normativa o etica.

È indubbio che il prossimo futuro ci porrà davanti a questioni complesse e non di facile soluzione. Il paradosso a cui si assiste oggi è che più i problemi diventano complessi più ci si illude di risolverli in modo semplice; più aumenta l'informazione disponibile e più ci rifiutiamo di affrontare la complessità.

Quali possono essere le traiettorie sulle quali potrebbe evolversi un sistema aperto e complesso come quello descritto? È possibile governare queste traiettorie? I cambiamenti che stanno rapidamente avvenendo sono l'inevitabile risultato dell'impronta che noi, come essere umani, stiamo lasciando sul pianeta. Il problema dei sistemi complessi ed aperti è che, come spiegato prima, al loro interno le interazioni non sono lineari bensì a *loop* e con traiettorie imprevedibili [12]. Queste interazioni in molti casi creano fenome-

ni di isteresi cioè modifiche irreversibili. Le evoluzioni di tali sistemi creano incertezza, ambiguità, fenomeni emergenti prima sconosciuti e conseguenze inaspettate. In breve possono evolversi verso traiettorie che nessuno riesce a prevedere. Ilya Prigogine [13], Nobel per la Chimica nel 1977, ha spiegato molto bene questa dinamica per i sistemi chimico-fisici in quanto l'evoluzione di un sistema complesso conduce verso uno stato di equilibrio di massimo disordine. A sua volta, il fisico danese Per Bak ha dimostrato, studiando l'evoluzione dei mucchietti di sabbia, che un sistema può collassare, una volta raggiunto il punto di equilibrio critico, per un non nulla.

La semplice ma anche preoccupante conclusione che possiamo trarre studiando i sistemi complessi (sia fisici, sia chimici, sia economico-finanziari, sia sociali, sia ambientali) è che essi si auto-organizzano fino a raggiungere il punto critico dove apparentemente tutto è stabile. Poi, all'improvviso, si evolvono con traiettorie impossibili da prevedere. L'unico rimedio attualmente disponibile per far fronte a queste dinamiche, è fare in modo che i sistemi complessi non si evolvano fino al punto critico perché da quel momento in poi possono collassare all'improvviso con conseguenze imprevedibili. I cambiamenti climatici sono forse l'esempio più evidente di quanto sta avvenendo. Paul J. Crutzen, Nobel per la Chimica 1995, ha coniato il termine Antropocene per definire la prima era geologica nella quale le attività umane sono state in grado di influenzare l'atmosfera e alterare il suo equilibrio.

Il dilemma in cui ci troviamo è dovuto da una parte alla nostra congenita natura che, come individui, ci spinge ad aspirare fortemente alla libertà individuale mentre dall'altra dovremmo renderci anche conto che inseguire sempre la propria libertà individuale (il proprio interesse) non è sufficiente al conseguimento del benessere collettivo [14]. La domanda a questo punto è: c'è la possibilità di conciliare due fenomeni i cui vettori sembrano contrapposti di 180°? Una risposta, per il momento l'unica, l'ha indicata Amartya Sen. Per riuscirci bisogna guardare alle tre dimensioni (ambientale, sociale, economica) come un *unicum*. Sen ci dice che questo però non basta perché l'*unicum* si amalgama per bene con una virtù quasi dimenticata che è l'etica della responsabilità. Responsabilità delle imprese ma anche responsabilità della politica in quanto non si può pensare sempre e solo al breve termine ma bisogna agire avendo in mente le future generazioni. Dal punto di vista delle imprese è necessario che esse pensino in termini sostenibili ovvero integrare le tre dimensioni nel loro *modus operandi* e questo può avvenire solo con una buona *governance* d'impresa. Si può infine dimostrare che le imprese sostenibili sono anche quelle più competitive in quanto sono in grado di generare sostenibilità nel lungo periodo per mezzo dell'innovazione, nel rispetto dell'ambiente, dell'inclusione sociale e del giusto profitto. Inoltre, agire in modo sostenibile e strutturato non è più per le imprese una possibile opzione filantropica ma un obbligo per la loro stessa competitività e sopravvivenza nel medio-lungo termine.

La globalizzazione e la sostenibilità impongono ormai alle imprese nuovi standard tra cui certificazioni, logiche di economia circolare, principi ESG (*Environmental, Social, Governance*), bilancio di sostenibilità, codici etici, indicatori reputazionali, etc. Quindi le imprese e non solo le imprese sono chiamate ad operare in modo nuovo

e diverso rispetto al passato. Ci saranno molti cambiamenti, alcuni già in atto, da affrontare per il bene comune di tutti. Per concludere, non dobbiamo dimenticarci che “quella che stiamo vivendo non è semplicemente un’epoca di cambiamenti, ma un cambiamento d’epoca” (dal discorso di Papa Francesco alla Curia Romana, Sala Clementina, 21 dicembre 2019).

Bibliografia

- [1] Jacques Attali, *Breve Storia del Futuro* (Fazi Editore, 2015).
- [2] Fonte ISTAT: il 96% delle imprese in Italia ha meno di 10 dipendenti.
- [3] Michael Porter, *The Competitive Advantage of Nations* (Harvard Business Review, 1990).
- [4] Aurelio Peccei, *Quale Futuro* (Mondadori, 1972); Aurelio Peccei, *I Limiti dello Sviluppo* (Mondadori, 1974).
- [5] Alberto Quadrio Curzio, *Economia oltre la Crisi* (Editrice La Scuola, 2012).
- [6] Thomas L. Friedman, *The World is Flat* (Penguin Books, 2005).
- [7] Francois Bourguignon, *The Globalization of Inequality* (Princeton University Press, 2015).
- [8] Milton Friedman, *Liberi di scegliere* (Istituto Bruno Leoni, 2013).
- [9] Amartya Sen, *Etica ed Economia* (Laterza, 1987).
- [10] Stefano Zamagni, *L'Economia del bene comune* (Città Nuova Editrice, 2007).
- [11] Jeffrey D. Sachs, *L'era dello sviluppo sostenibile* (Università Bocconi Editore, 2014).
- [12] Ilan Chabay, *Narratives, Models and Societal Change* (Institute for Advanced Sustainability Studies-IASS, Potsdam, 2017).
- [13] Ilya Prigogine, *La fine delle certezze* (Bollati Boringhieri, 1996).
- [14] Joseph E. Stiglitz (Nobel per l'Economia 2001), *La globalizzazione che funziona* (Einaudi, 2007).



La scala a chiocciola della Biblioteca Interdipartimentale di Chimica, Sezione "Giacomo Ciamician" costruita, come l'intero edificio che la ospita, su disegno di Edoardo Collamarini (1863-1928) (foto Oscar Ferrari).

Finito di stampare nel mese di novembre 2020
per i tipi di Bononia University Press

*Accademia delle Scienze
dell'Istituto di Bologna*

L'Accademia delle Scienze, con il patrocinio dell'Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, promuove una serie di incontri volta ad analizzare il percorso scientifico compiuto dalle diverse aree di ricerca dislocate entro il perimetro dell'Alma Mater, nel periodo che corre dai primi anni Cinquanta agli esordi del XXI secolo.

L'intento dell'iniziativa non è quello dell'autocelebrazione di una fase che è stata indubbiamente molto positiva nella vita plurisecolare del nostro ateneo, ma di porre in evidenza gli esiti che ha conseguito la sua ricerca sul piano nazionale e internazionale; le reti scientifiche che intorno a queste attività sono nate e si sono sviluppate; l'attività formativa che ne è seguita; i rapporti con le imprese, le amministrazioni pubbliche e altri comparti della vita civile cittadina e regionale.

Questa ricognizione, che non è solo di memoria, si propone anche l'obiettivo di segnalare i possibili livelli di crescita e di intersezione tra le frontiere della scienza e della tecnologia e le esigenze della vita poiché la ricerca e la formazione sono chiamate a svolgere compiti molto rilevanti nella società della conoscenza.



€ 30,00