

RENDICONTI DELLA
ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
DETTA DEI XL

MEMORIE E RENDICONTI
DI CHIMICA, FISICA, MATEMATICA
E SCIENZE NATURALI



SERIE VI, VOL. III, FASC. 1, 2022
140° DALLA FONDAZIONE (1782)
ROMA

© Copyright 2022

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL
ROMA

ISBN 978-88-98075-51-5

ISSN 0392-4130

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE DETTA DEI XL
00161 Roma - Via L. Spallanzani, 7

ACCADEMIA NAZIONALE DELLE SCIENZE
DETTA DEI XL

XIX Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica

Aula Magna del Dipartimento
di Matematica, Informatica ed Economia,
polo di Macchia Romana

26-28 Settembre 2022

a cura del Prof. Maurizio D'Auria



Via dell'Ateneo Lucano, 10 – Potenza

PROGRAMMA

LUNEDÌ 26 SETTEMBRE 2022

Registrazione

Apertura del Convegno e indirizzi di saluto

CONFERENZE INAUGURALI – Presiede: Franco Calascibetta

LUIGI CAMPANELLA, *Cambiamenti climatici e Recovery Plan*

VINCENZO BALZANI - MARGHERITA VENTURI, *La scienza e il problema energetico*

Coffee Break

COMUNICAZIONI – Presiede: Iacopo Ciabatti

PAOLA CARUSI, *L'alchimia e il suo giudice. Ibn al-Hāǧǧ al-Fāsī e le colpe degli alchimisti*

LEONARDO ANATRINI, *Il sottile fascino dell'autorità. I chimici e l'alchimia in Francia dopo Lavoisier*

MARTEDÌ 27 SETTEMBRE 2022

Presiede: Maurizio D'Auria

MARCO CIARDI, *Nuvole periodiche. La chimica e la letteratura a fumetti*

Coffee Break

COMUNICAZIONI – Presiede: Marco Fontani

MAURIZIO D'AURIA, *La chimica e l'omeopatia: Liebig e Pannaria*

ANTONELLA M. MAGGIO - ROBERTO ZINGALES, *La produzione di acido citrico da Scheele ai chimici dell'Arenella di Palermo*

PAOLO OLIVIERI, *Franco Grottanelli, chimico e scrittore*

MASSIMO BETTI, *Ricordo di Mario Betti a 80 anni dalla scomparsa*

Pausa Pranzo

Presiede: Paola Carusi

FERRUCCIO TRIFIRÒ, *La morte del petrolchimico di Marghera e la nascita di un polo di chimica Verde*

IACOPO CIABATTI, *La sicurezza nell'industria chimica passa anche attraverso la sua storia: il caso dell'oro fulminante*

ANGELO BASSANI, *I "forni svaporatori" di Giovanni Arduino*

VINCENZO VILLANI, *Molecole e interazioni molecolari nella teoria della capillarità di Laplace*

COMUNICAZIONI

GIANNI GRASSO - VINCENZO VILLANI - *L'intuizione dei fondamenti della dinamica non-lineare nel De rerum Lucreziano*

ANTONINO DRAGO, *Storia e valutazione della applicazione della teoria dei gruppi alla tabella periodica degli elementi*

GIOVANNI VILLANI, *La lettura chimica del vivente. Un approccio sistemico*

MERCOLEDÌ 28 SETTEMBRE 2022

Presiede: Antonella M. Maggio

ELENA GHIBAUDI - FRANCESCA TURCO - GIANMARCO IELUZZI, *Luigi Cerruti: la chimica come impegno civile*

MARIA ANTONIETTA CARPENTIERI - SANDRO JURINOVICH - VALENTINA DOMENICI, *Studio di un approccio integrato storico-sperimentale alla spettroscopia per le scuole secondarie di secondo grado*

Coffee Break

ELEONORA AQUILINI - ANTONIO TESTONI, *Arrhenius e la dissociazione elettrolitica: una riflessione didattica*

MARCO FONTANI - MARIAGRAZIA COSTA - MARY VIRGINIA ORNA - MATTEO PAOLIERI, *Una critica all'insegnamento dell'ottuagenario Ugo Schiff*

VALENTINA DOMENICI, *Insegnare la chimica attraverso l'analisi critica di un testo sulla storia della scoperta degli elementi chimici*

FRANCO CALASCIBETTA, *La collocazione degli Attinidi nella Tavola Periodica: una ricostruzione storica*

Chiusura del Convegno

PREFAZIONE

Dal 23 al 28 settembre 2022 si è tenuto a Potenza presso l'Università degli Studi della Basilicata il XIX Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica. Il direttivo del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica ha fatto una scelta coraggiosa, volendo fare un convegno in presenza appena possibile in relazione agli eventi pandemici che ci hanno tutti coinvolti nei due anni precedenti. Si è scelto infatti di fare un convegno in un anno pari venendo meno ad una consolidata consuetudine di convegni biennali svolti negli anni pari. Ma tanta era la voglia di fare il convegno che questa tradizione è stata facilmente stravolta. E' stato poi un atto coraggioso perché si è deciso di non fare il convegno in una sede "facile" ma in una sede fondamentale disgiunta come Potenza. Queste scelte sono state pagate in termini di partecipazione, un po' più bassa rispetto ai numeri che tradizionalmente erano presenti a convegni dello stesso tipo negli anni precedenti. La paura dell'infezione, ancora presente in molti, e la fatica di raggiungere la sede hanno svolto entrambi il loro ruolo.

Il programma, tuttavia, è stato notevolmente interessante. Il direttivo del GNFSF aveva scelto come argomento centrale del convegno il tema dell'evoluzione del rapporto fra chimica, ambiente, ed energia. Queste tematiche sono state affrontate dalle relazioni plenarie tenute durante la manifestazione. Il Prof. Luigi Campanella dell'Università di Roma "La Sapienza" è intervenuto sul tema del modo in cui nelle sedi internazionali ci si è rapportati ai problemi ambientali fino ad arrivare agli interventi previsti nel Recovery Plan. I professori Vincenzo Balzani e Margherita Venturi, dell'Università di Bologna, si sono occupati del modo in cui abbiamo affrontato nel corso del tempo il problema dell'uso dell'energia, fino ad affrontare le tematiche attuali connesse alla cosiddetta transizione energetica.

Volendo ricordare la figura di Luciano Caglioti, re-

centemente scomparso, e il suo famoso e controverso libro su "I Due Volti della Chimica", il prof. Tom Børsen, della Aalborg University in Danimarca, ha presentato il libro "Ethics in Chemistry", discutendo alcuni casi di un uso distorto dell'etica nel caso di famosi incidenti in ambito chimico. L'evoluzione e la sorte del petrolchimico di Marghera è stato l'oggetto della conferenza tenuta dal Prof. Ferruccio Trifirò dell'Università di Bologna, che ha descritto le varie vicende che hanno portato alla progressiva e ormai definitiva chiusura del petrolchimico. Infine, il direttivo del Gruppo di Fondamenti e Storia della Chimica ha ritenuto di dover rendere un doveroso omaggio alla figura di Luigi Cerruti. La relazione, tenuta dalla Prof.ssa Elena Ghibaudi, dell'Università di Torino, ha ripercorso la vita e la figura di questo nostro grande divulgatore (e non solo) della chimica.

Accanto a queste relazioni sono state tenute diverse comunicazioni orali sulle tematiche tradizionali del Gruppo di Fondamenti e Storia della Chimica. Si è così andati dall'alchimia araba alla teoria dei gruppi applicata alla tavola periodica, dalla chimica vista attraverso la letteratura a fumetti al rapporto fra chimica e omeopatia, dalla produzione dell'acido citrico a Palermo all'oro fulminante. Sono state ricordate figure di chimici come Grottanelli, Mario Betti, e Ugo Schiff. E' stato affrontato il contributo di Laplace ai fenomeni di capillarità e il ruolo dei chimici dopo Lavoisier, per finire con la collocazione degli attinidi nella tavola periodica. In conclusione, un programma vario e in linea con le tematiche da sempre oggetto di studio all'interno della comunità. Sono state presentate inoltre anche alcune comunicazioni inerenti la didattica della chimica, che, purtroppo, per ragioni indipendenti dalla nostra volontà, non sono state raccolte in questi atti, cosa che ci addolora profondamente.

Maurizio D'Auria



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 11-13
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Cambiamenti climatici e Recovery Plan

LUIGI CAMPANELLA

Dipartimento di Chimica, Sapienza, Università di Roma
E.mail: luigi.campanella@uniroma1.it

Abstract – The complexity of environmental topics is related to its olistic nature: a plenty of different molecules together present in the environment, many processes and phenomena together coexisting, three compartments involved, one solid, one liquid, one gaseous. More as the society and the consumptions change pollutants too change. The new environmental emergencies related to electronic wastes, to pharmaceutical residues, to endocrine disruptors. To this complexity an other one of social nature is added, the polarisation of the international society divided between new poorness and new richness, between developping and industrialised countries, between demographically positive and negative countries. So new describing parameters are needed. The complexity and holism are responsible too for the multidisciplinary approach by which environmental problems and education must be faced: so life sciences, technical sciences, economic sciences, law and more recently, great advancements, computer sciences.

Keywords: environment, social polarisation, new pollutants, holism

Riassunto – La complessità delle tematiche ambientali deriva dalla estrema variabilità dei composti coinvolti, dalla contemporanea presenza di processi e fenomeni diversi, dalla visione olistica del tema che ostacola e comunque limita qualsiasi tentativo dettato da una interpretazione deterministica del tema. Un ulteriore contributo alla complessità viene dalle mutate condizioni ambientali da un lato per i cambiamenti climatici e per i nuovi inquinanti, farmaci ed elettronici innanzitutto, e dall'altro per il processo di polarizzazione globale della società che divide fra vecchie e nuove povertà e vecchie e nuove ricchezze, fra paesi in via di sviluppo e paesi industrializzati, fra demografie in espansione e demografie in contrazione, fra emigranti ed immigranti. Le mutate condizioni obbligano ad individuare nuovi indicatori e parametri descrittivi. La società si deve attrezzare ad affrontare queste emergenze a partire dalla formazione ed educazione dei giovani per poi intervenire con programmi che si riferiscono agli stili di vita ed all'innovazione scientifica e tecnologica. In entrambi le discipline scientifiche coinvolte corrispondono ai massimi criteri di interdisciplinarietà: scienze della vita scienze tecnologiche, scienze sociali e del diritto e più di recente, scienze informatiche, preziose per definire modelli spaziali e temporali.

Parole chiave: ambiente, polarizzazione sociale, nuovi inquinanti, olismo

La complessità delle problematiche ambientali deriva dalla estrema variabilità dei composti naturali o smaltiti nei comparti ambientali rispetto ai quali quando la natura non è capace di rimediare sono soltanto le tecnologie e la ricerca scientifica a potere rimediare. Composti organici ed inorganici, micro e macro molecole, solventi e detergenti, biocidi e pesticidi, vecchi e nuovi inquinanti, quali i materiali elettronici (53 milioni/anno di tonn. nel mondo, 22 in Italia, con un tasso di crescita del 6% ed uno di circolarità del 42%), gli interferenti endocrini, i farmaci (600 tonn. di lassativi, 250 di paracetamolo, 40 di antibatterici, 50 di penicillina, smaltiti nei fiumi europei, conc. media passata da 1 ng/l a $0,04 \text{ mg/l}$) sono la fotografia di questa variabilità che diviene un pericolo anche per la salute: i depuratori non sono attrezzati per rimuovere queste componenti che pertanto finiscono nell'ambiente e da qui possibilmente nella catena alimentare. I nuovi inquinanti obbligano la ricerca a mettere a punto nuovi metodi di analisi e controllo più selettivi, sensibili, accurati. La chimica soffre una posizione di inseguitrice della medicina: il medico si confronta con i sintomi del paziente correlati però agli effetti mentre al chimico è richiesta la valutazione quantitativa della causa. L'uomo in questi delicati ruoli di adattamento e di adeguamento è aiutato dalla natura i cui processi sono indicatori dello stato dell'ambiente. La diversità biologica, le colonizzazioni microbiche, il deserto lichenico, lo spettro fogliare, l'inaridimento sono tutti segnali che la natura ci offre per aiutare e guidare l'uomo nelle sue azioni a favore dell'ambiente. La suddetta complessità si è riflessa anche nelle discipline di studio sempre più numerose, coinvolte secondo un modello disciplinare (chimica, biologia, fisica, scienze naturali, scienze della terra) o un modello integrato (scienze tecnologiche, scienze della vita, scienze sociali, economiche, del diritto), arricchito negli ultimi 2 decenni dalle scienze informatiche fondamentali per lo sviluppo di modelli e per la loro verifica.

Il tema è ulteriormente complicato dalle condizioni planetarie e sociali caratterizzate da una crescente polarizzazione sociale sia temporale che spaziale su basi sociali (paesi poveri e paesi ricchi), economiche (paesi in via di sviluppo e paesi industrializzati), demografiche (paesi ad alti tassi di natalità e paesi con progressiva diminuzione della popolazione). Questa polarizzazione ha obbligato ad individuare nuovi indici descrittivi in sostituzione di quelli tradizionali (PIL, Debito, Deficit, Bilancia dei pagamenti). L'impronta ecologica, espressione del rapporto nazionale fra consumo e produzione, i prodotti virtuali, espressione dei costi a causa di carenze

produttive nazionali, la mortalità infantile espressione dell'entità dello Stato sociale all'interno del sistema nazionale, indici di circolarità come espressione della quantità di prodotti, beni e servizi gestiti con il modello circolare di economia sono esempi di questa ricerca di nuovi indici in relazione al mutato sistema di coordinate dei sistemi ambientali.

La scienza dell'ambiente al pari della medicina ha sempre più bisogno di una sua proiezione territoriale capace di promuovere interventi di prima battuta che evitino, con le prime cure prestate in casa, di intasare i pronto soccorsi ed i grandi ospedali (esperienza Covid 19 docet). Pensare ad istituire nuove figure vigili sul territorio, sorta di sentinelle dell'ambiente, può rappresentare un'innovazione di sicuro successo. Anche in questa natura docet insegnandoci quali sono le vie da seguire per ripristinare situazioni ambientali di sicurezza: ossidazione, sedimentazione, bio e fotodegradazioni, fitodepurazione sono meccanismi di difesa naturali rispetto ai fenomeni e processi di inquinamento che l'uomo riproduce nelle biotecnologie, nella sensoristica adattata alle intelligenze artificiali, nelle nanotecnologie.

Cosa fare per il domani dopo avere guardato all'ieri ed all'oggi? I tre step sono quelli propri del metodo scientifico: conoscere, risanare, prevenire.

Così conoscere i nostri nemici tossici per sconfiggerli, guardare agli avanzamenti scientifici che di certo consentono metodi di depurazione più efficaci ed efficienti, attraverso la scienza dei modelli prevedere gli scenari futuri e prevenire pericoli e rischi. Un esempio per ciascuno dei 3 step: i radicali liberi sono specie chimiche tanto influenti sulla nostra vita che dimenticarlo vuol dire cadere in situazione di pericolo personale e di comunità; i metodi respirometrici e le loro numerose applicazioni devono indurre a considerarli con crescente attenzione; l'impatto su salute ed ambiente delle attività sociali merita la massima cura, così il parco auto del Paese, 52 milioni di autoveicoli, con 12000 km/anno percorsi da ognuno di essi, 100 g di CO_2 prodotta per Km devono fare porre la massima attenzione in chiave preventiva alle politiche della mobilità sostenibile (nuovi carburanti, trasporto pubblico, piste ciclabili semafori intelligenti, limiti di velocità, ottimizzazione dimensioni auto private) e correlate (politica del verde: ogni albero rimuove circa 40 kg di CO_2 l'anno ma perché agisca con l'efficienza massima deve raggiungere con la corretta manutenzione le dimensioni critiche, 33 mq di verde a persona inferiore a Paesi meno verdi dell'Italia con il suo 33% di verde).

Collegato è il nodo della formazione e dell'educazio-

ne la prima indirizzata ai giovani durante il loro percorso didattico, la seconda ai cittadini per farne dei preziosi coscienti alleati.

La globalizzazione conferisce a tutti questi problemi il carattere planetario. Così accordi internazionali, bilaterali, quadro, regolamenti e direttive, con riferimento all'Europa la Next Generation EU e la sua proiezione ita-

liana PNRR rappresentano gli strumenti messi a disposizione per utilizzare i quali dal nostro Paese in ambito sia pubblico che privato la Chimica può e deve svolgere un ruolo primario. Il PNRR in accordo con agenda ONU e ottavo Programma per l'ambiente stabilisce i criteri ambientali minimi per nuovi insediamenti che si basano su principi e modelli di sviluppo dell'economia circolare.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 15-27
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La scienza e il problema energetico

VINCENZO BALZANI – MARGHERITA VENTURI

Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician” dell’Università di Bologna, 40126 Bologna
E.mail: vincenzo.balzani@unibo.it margherita.venturi@unibo.it

Abstract – Leaving aside the covid-19 pandemic, which we hope will be defeated in a few years, we are facing a complex crisis which is both environmental and social. We need to change the industrial model as well as the current lifestyle to reduce waste and pollution and, most important, to stop climate change. We also need to reduce the growing inequalities between nations and within each nation. To achieve these objectives, we must create a new economic model based on ethical foundations, aimed at promoting ecological as well as social sustainability. Strategies for a solution demand an integrated approach to protecting nature and combating poverty by the implementation of three transitions: from fossil fuels to renewable energies, from a linear to a circular economy, and from consumerism to sobriety.

Sadly, not many seem to be aware of the challenge we face. The first thing to do, therefore, is to inform and educate people to build a solid cultural foundation, or rather to implement a courageous cultural revolution, to use the words of Pope Francis.

We cannot continue to build walls and borders, because we all must live together on spaceship Earth from which no one can leave. We must protect our planet because it must also serve the next generations. There is so much to be done to improve this world. Many decisions must be made at a political level, but each of us is required to play our part.

Keywords: Anthropocene; Fossil fuels; Nuclear energy; Renewable energies; Transition from fossil fuels to renewable energies; Linear economy vs circular economy

1. L’astronave Terra

Una famosa fotografia della NASA, scattata dalla sonda Cassini-Huygens il 15 settembre 2006 a una distanza di 1,5 miliardi di chilometri, mostra la Terra come un punto blu-pallido nel buio cosmico (Fig. 1). Non c’è evidenza che la Terra si trovi in una posizione privilegiata nell’Universo; non ci sono segni che facciano pensare a una nostra particolare importanza, nulla che ci induca a credere di poter ricevere aiuto da altri, nessuna indicazione di luoghi in cui eventualmente poter emigrare. Quando si guarda la Terra da lontano, ci si rende conto della nostra condizione: siamo passeggeri di un’astronave che viaggia nell’infinità dell’universo. Su questa astronave siamo in tanti, circa otto miliardi, e così diversi: bianchi, neri, gialli, ricchi e poveri, buoni e cattivi; nessuno se ne può andare, se non morendo, nessuno può arrivare da fuori: bisogna nascer-

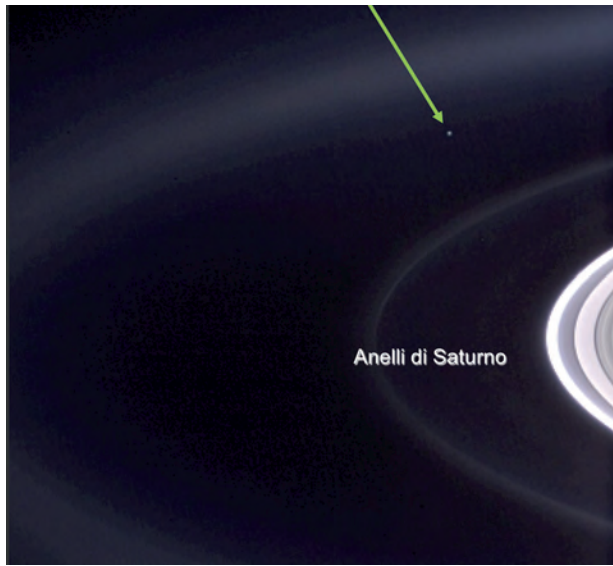


Fig. 1. Come mostra la fotografia scattata il 15 settembre 2006 dalla sonda spaziale Cassini, la Terra è un puntino nell'immensità dell'Universo.

ci dentro. La Terra, dunque, è un'astronave; ma è un'astronave del tutto speciale: non potrà mai atterrare da nessuna parte, non potrà mai attraccare a nessun porto per far rifornimento o scaricare rifiuti. Se qualcosa non funziona o si rompe dovremo ripararla noi passeggeri, senza neppure scendere. Viaggiamo da soli nell'Universo e possiamo fare affidamento soltanto sull'energia proveniente dal Sole e sulle risorse disponibili nella nostra astronave [4, 6]. L'immagine della Terra ripresa dalla Sonda Cassini dovrebbe essere mostrata e commentata in tutte le scuole e, ancor più, nei corsi universitari che aprono alla carriera politica.

Dal punto di vista ecologico, il pianeta Terra, includendo l'energia che le arriva dal Sole, è un ecosistema autosufficiente, costituito dall'insieme degli organismi viventi e materia non vivente che interagiscono fra loro in un equilibrio dinamico. La società umana è parte di questo ecosistema globale; il suo sviluppo all'interno dell'ecosistema, da un lato, è condizionato dall'ecosistema stesso ma, dall'altro, può modificarlo. Quando si parla di sostenibilità ecologica e sociale ci si riferisce proprio al mantenimento dell'equilibrio dinamico: le attività dell'uomo sulla Terra dovrebbero tener conto del fatto che lo sviluppo della società non può compromettere l'autosufficienza dell'ecosistema globale di cui è parte integrante.

Se fino a qualche secolo fa questa condizione è stata sostanzialmente verificata, da circa metà del secolo scorso la grande disponibilità di energia fornita dai combu-

stibili fossili e il progresso della scienza e della tecnologia hanno reso possibile un forte sviluppo dell'attività dell'uomo, tanto da indurre gli scienziati a considerare che sia iniziata una nuova epoca per il pianeta Terra, denominata Antropocene (*epoca dell'uomo*) [10]. L'uomo, inebriato dalle sue capacità, ha cominciato ad agire indipendentemente dall'ecosistema Terra di cui fa parte e a considerare il pianeta come un mero fornitore di beni e servizi. Come sottolinea Hannah Arendt [2]: *L'uomo del XX secolo si è emancipato dalla natura; la natura gli è diventata estranea*. Nella società umana ha così preso il sopravvento l'economia, quell'insieme di attività, istituzioni e strumenti il cui scopo è meramente quello di regolare e soddisfare tutti i bisogni attraverso lo sfruttamento di beni naturali, che non sono più visti come valori intrinseci che garantiscono la sostenibilità dell'ecosistema, bensì come oggetti il cui prezzo è fissato dal mercato. Questa attitudine e il conseguente modo di operare hanno provocato una forte degradazione del pianeta, tanto da mettere a repentaglio lo sviluppo della stessa società umana [14]. Si tratta di una situazione drammatica sottolineata da Papa Francesco nell'enciclica *Laudato si'* [12]: *Il ritmo di consumo, di spreco e di alterazione dell'ambiente ha superato le capacità del pianeta*.

Il degrado del pianeta e l'uso indiscriminato delle risorse hanno anche determinato profonde disuguaglianze sociali, come ben evidenziato nell'Enciclica papale appena citata [12]: *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*.

Tutto ciò ci dice che dobbiamo salvare il pianeta se vogliamo salvare noi stessi [7].

2. L'Antropocene

La Terra ha dimensioni *finite* [4, 6] e, pertanto, le risorse che ci mette a disposizione il pianeta sono limitate così come è limitato anche lo spazio in cui collocare i rifiuti. Si tratta di una realtà innegabile sotto gli occhi di tutti, eppure, spesso, ci fa comodo ignorarla; alcuni economisti, poi, sembrano addirittura non conoscerla.

Dalla metà del secolo scorso, con la crescente disponibilità di energia fornita dai combustibili fossili e il contemporaneo sviluppo della scienza e della tecnologia, l'attività dell'uomo è aumentata in modo enorme: sono state costruite innumerevoli città, strade, ferrovie, aeroporti, mezzi di trasporto e di comunicazione, industrie

capaci di produrre dispositivi e macchine di ogni genere (compresi armamenti sempre più sofisticati), si è meccanizzata l'agricoltura aumentando la produzione di cibo, è migliorato il tenore di vita in molti paesi. Partendo da queste considerazioni, nel 2002, in un articolo su Nature [10], Paul Crutzen, premio Nobel per la Chimica nel 1995, suggerì di chiamare Antropocene l'epoca attuale, perché è fortemente caratterizzata dalle attività dell'uomo. La grande accelerazione dell'attività umana ha avuto importanti conseguenze sullo stato del pianeta: il consumo, al limite di un loro esaurimento, di alcune risorse naturali (in prospettiva, anche dei combustibili fossili), la produzione di molti tipi e di grandi quantità di nuovi materiali (ad es., materie plastiche), la diffusione su scala globale di sostanze inquinanti (ad es., polveri sottili e sostanze radioattive), i cambiamenti climatici causati dalle emissioni di gas serra, la diminuzione della biodiversità con l'alterazione dei rapporti fra le specie. L'uomo ha anche esteso la sua azione fuori dal pianeta lanciando innumerevoli satelliti artificiali, collocando in orbita attorno alla Terra stazioni spaziali abitate, mettendo piede sulla Luna e inviando sonde per esplorare altri pianeti e lontani corpi celesti. Con energia, scienza e tecnologia l'uomo è diventato progressivamente più forte della Natura; usando la metafora dell'Astronave, possiamo dire che l'uomo negli ultimi decenni è entrato nella cabina di comando: non può modificarne la rotta, ma ha cambiato e può ulteriormente cambiare le regole e il meccanismo di funzionamento dell'astronave. Se vuole, può addirittura distruggerla. Alcuni cambiamenti causati dall'attività umana dureranno per millenni, altri potrebbero essere addirittura irreversibili.

Nel 1980, le materie prime estratte dalla Terra ammontavano a 40 miliardi di tonnellate; nel 2021 sono salite a circa 100 miliardi di tonnellate, pari a 40 kg per persona al giorno. C'è poi da aggiungere che, a mano a mano che i depositi più ricchi si vanno esaurendo, si ricercano risorse più difficili da estrarre (ad es., il petrolio da sabbie bituminose) con un forte impatto ambientale [8, 9]. Ci si può chiedere giustamente: rimarrà qualcosa per le future generazioni?

Le dimensioni finite del pianeta hanno conseguenze anche per quanto riguarda la collocazione dei rifiuti, che si producono ogni volta che si usano risorse; non possiamo sbarazzarcene collocandoli in un inesistente *non luogo*. I rifiuti finiscono inesorabilmente sottoterra, sulla superficie della terra, sulla superficie o sul fondo dei mari e nell'atmosfera; in ogni caso, con conseguenze poco piacevoli, come dimostra l'enorme *isola* (grande come l'Europa) che si è formata nell'Oceano Pacifico dall'ac-

cumulo di rifiuti plastici. La quantità di CO₂ riversata in atmosfera supera i 30 miliardi di tonnellate all'anno e, come sappiamo, causa un aumento dell'effetto serra e i conseguenti cambiamenti climatici. Il particolato fine generato dai motori a combustione ha causato nel 2020 più di 200.000 morti premature in Europa, 40.000 delle quali in Italia. Ci sono poi le scorie delle centrali nucleari, pericolose per decine di migliaia di anni, che nessuno sa dove collocare.

Dovremmo renderci conto che l'attività dell'uomo sul pianeta deve confrontarsi da un lato con limiti materiali e, dall'altro, con la necessità di non superare determinati confini, oltre i quali la biosfera non sarebbe più in grado di sostenere la vita. Aver chiamato la nostra epoca con il nome Antropocene è utile per diffondere più facilmente il messaggio della responsabilità che grava sulle nostre spalle. La nostra, infatti, è la prima generazione che si rende conto della nuova situazione e dei pericoli che essa comporta ed è, quindi, anche la prima generazione ad avere la responsabilità di prendere i provvedimenti necessari affinché l'astronave Terra possa fornire una decorosa ospitalità ai suoi sempre più numerosi passeggeri e alle future generazioni.

Alla Conferenza COP21, tenutasi nel dicembre 2015 a Parigi, 195 nazioni hanno concordemente riconosciuto che il cambiamento climatico, causato dall'uso dei combustibili fossili, è il problema più preoccupante per l'umanità e nella già citata Enciclica Papa Francesco ha ammonito [12]: *Lo stile di vita attuale, essendo insostenibile, può sfociare solamente in catastrofi.*

Purtroppo, in questi ultimi 7 anni non si sono fatti sostanziali progressi e alla COP27 tenutasi a Sharm El-Sheikh, in Egitto, il segretario dell'ONU Gutierrez ha pronunciato un discorso molto duro: *Il tempo stringe, le emissioni di gas a effetto serra continuano ad aumentare, la temperatura globale continua a salire e il nostro pianeta si sta avvicinando rapidamente a dei punti di non ritorno (tipping point) che renderanno la catastrofe climatica irreversibile. L'umanità è di fronte ad una scelta: cooperare o morire.*

L'Antropocene è caratterizzato anche da forti disuguaglianze. Lo sviluppo economico ha migliorato il livello di vita dei cittadini di molti paesi, dove però un gran numero di persone vive ancora ben sotto il livello di povertà, mentre in altri paesi è in corso una crescita economica tumultuosa che lascia indietro gran parte della popolazione; in altri poi, lo sviluppo economico non è ancora iniziato. L'attuale modello di sviluppo, che si può riassumere con la parola *consumismo*, non solo trasforma le risorse in rifiuti con grande velocità, ma ha anche la drammatica conseguenza di aumentare le disugua-

glianze: crea ricchi che non sanno come utilizzare il superfluo e poveri che non hanno il necessario per vivere. All'insostenibilità ecologica si affianca quindi l'insostenibilità sociale. Sia dove è già avvenuto, sia dove attualmente si manifesta, lo sviluppo economico ha generato e continua a generare una molteplicità di problemi che minacciano di lasciare alle prossime generazioni un pianeta fortemente impoverito, molto inquinato e soggetto a cambiamenti climatici, e una società affetta da crescenti disuguaglianze. Parecchi scienziati oggi sottolineano che il tumultuoso agire dell'uomo, accompagnato dal rapido progresso della scienza in direzioni sbagliate, ha reso il mondo molto fragile. Con riferimento all'attuale crisi energetico-climatica, qualche scienziato afferma che il mondo è sull'orlo del baratro.

3. L'energia

L'energia è un'entità onnipresente nella nostra vita, ma è un concetto solo in apparenza intuitivo, cosa che vale per altri concetti importanti come quelli di tempo e di spazio. Il concetto di energia è così complesso e, allo stesso tempo, così sfuggente che per millenni gli studiosi ne hanno dato definizioni molto vaghe. Richard Feynman, uno dei fisici moderni più grandi, ha addirittura scritto [11]: *It is important to realize that in physics today, we have no knowledge what energy is.*

L'energia è tutto quello che permette di fare qualcosa o di generare un cambiamento: senza energia non si può fare nulla. L'energia si manifesta in forme diverse interconvertibili e, nel trasformarsi, la sua quantità si conserva, mentre la sua qualità degrada. L'energia è il vero potere che governa il mondo ed è causa di guerre che, allo stesso tempo, alimenta. L'energia è un qualcosa di natura universale che non si può *ridurre* a nulla di più elementare.

Il termine energia è stato coniato dalla lingua greca unendo la preposizione «en» (in) al sostantivo «ergon» (lavoro, opera, azione). Si può, quindi, definire il concetto di energia partendo da quello di lavoro, che è semplice e intuitivo: è un lavoro, ad esempio, sollevare un oggetto pesante dal pavimento e metterlo su uno scaffale. Per fare un lavoro, pertanto, ci vuole energia, che nell'esempio sopra riportato può essere fornita da una persona, ma anche da un sollevatore meccanico. L'energia può allora essere definita come la capacità di un corpo o di un sistema a compiere un lavoro e la misura di questo lavoro è la misura dell'energia che esso richiede.

Le più importanti forme di energia (energie primarie) sono l'energia termica, l'energia luminosa, l'energia elettrica, l'energia nucleare, l'energia chimica, l'energia eoli-

ca, l'energia idroelettrica e l'energia gravitazionale; fra queste quelle più comunemente usate dall'uomo (energie di uso finale) sono l'energia termica, l'energia elettrica e l'energia meccanica. Nel seguito, verranno trattate soltanto le fonti di energia che hanno maggiore rilevanza per lo scopo di questo contributo.

3.1 I combustibili fossili

I combustibili fossili (carbone, petrolio e gas) quando vengono utilizzati (bruciati) forniscono energia termica (calore) che si può usare come tale o convertire, con bassa efficienza, in altre forme di energia, per esempio energia meccanica o elettrica.

Fino alla metà del secolo scorso si pensava che i combustibili fossili fossero la soluzione ideale per soddisfare i bisogni energetici dell'umanità e, ancora oggi, circa l'80% dell'energia è ottenuta dai combustibili fossili: ogni *secondo*, al mondo si consumano circa 250 tonnellate di carbone, 160.000 litri di petrolio e 100.000 metri cubi di gas, riversando nell'atmosfera, sempre ogni secondo, circa 1.000 tonnellate di CO₂.

I fattori che hanno spinto al massiccio uso di combustibili fossili sono principalmente tre: abbondanza (seppure geograficamente distribuita in modo non uniforme), possibilità di trasportarli e conservarli fino al momento dell'uso ed elevata densità energetica [4, 6]. I combustibili fossili, però, sono una fonte di energia non rinnovabile, fatalmente destinata a esaurirsi, cosa che si sta chiaramente evidenziando in questi ultimi anni. Inoltre, da alcune decine di anni, ci siamo accorti che l'uso dei combustibili fossili causa problemi molto gravi su scala globale.

Anzitutto, bruciando producono sostanze inquinanti, dannose per la salute dell'uomo. Petrolio, gas naturale e carbone sono sempre mescolati a quantità più o meno rilevanti di altre sostanze (composti solforati, metalli, composti aromatici) che soltanto in parte vengono separate dal combustibile prima del suo uso. Sostanze inquinanti (in particolare, ossidi di azoto NO_x) si formano anche quando i combustibili fossili bruciano ad alta temperatura usando l'aria come comburente.

Cosa ancor più preoccupante, la grande quantità di CO₂ immessa nell'atmosfera avvolge il globo terrestre come un mantello che permette ai raggi solari di raggiungere il suolo, ma impedisce al calore così generato di disperdersi. L'accumulo di questo gas attorno alla Terra provoca, quindi, un *aumento dell'effetto serra*, responsabile del cambiamento climatico e di tutte le conseguenze che esso comporta: riduzione dei ghiacciai, innalzamento del livello dei mari, avanzamento della sicci-

tà in molte regioni del mondo, eventi meteorologici estremi e altri fenomeni, causando danni (chiamati esternalità) che ricadono sulla collettività molto più che sugli utilizzatori. Il costo reale dell'energia ottenuta dai combustibili fossili è, quindi, decisamente più alto di quello che viene fatto pagare al consumatore. La proposta di ENI e di altre compagnie petrolifere di catturare (solo parzialmente!) e stoccare la quantità di CO₂ prodotta dall'uso dei combustibili fossili (tecnologia CCS) è un alibi per continuare a estrarre combustibili fossili, compromettendo così il percorso di decarbonizzazione e lasciando alle prossime generazioni l'onere di sorvegliare e controllare questi depositi di CO₂ che potrebbero venir danneggiati da eventi sismici.

Nel 1988 sotto l'egida dell'ONU è stato costituito un gruppo intergovernativo di esperti sul cambiamento climatico (IPCC) per valutare, su una base globale, obiettiva, aperta e trasparente, le informazioni scientifiche, tecniche e socioeconomiche rilevanti per comprendere i rischi del cambiamento climatico, i potenziali impatti e le opzioni di adattamento e mitigazione. Negli anni seguenti si è giunti alla ratifica, da parte di molti paesi, della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici e, con cadenza annuale, si sono svolte conferenze (COP, Conference of the parties) per esaminare l'evolvere del fenomeno e adottare provvedimenti.

Nella già menzionata COP21 di Parigi, le 195 nazioni presenti si sono impegnate ad agire per mantenere l'innalzamento della temperatura sotto 2 °C e – se possibile – sotto 1,5 °C rispetto ai livelli preindustriali. Sempre nel 2015 Papa Francesco, nella più volte citata Enciclica *Laudato si'*, scritta con la consulenza di molti scienziati, ha affermato [12]: *I combustibili fossili devono essere sostituiti senza indugio, ma la politica e l'industria rispondono con lentezza, lontane dall'essere all'altezza delle sfide.*

Dall'inizio della rivoluzione industriale ad oggi la concentrazione di CO₂ nell'atmosfera è aumentata da 275 a oltre 400 ppm (parti per milione) e si prevede che, se non saranno presi provvedimenti opportuni, potrà superare 550 ppm alla fine di questo secolo, con conseguenze che potrebbero essere disastrose. Secondo IPCC, una tale concentrazione di CO₂ nell'atmosfera causerebbe un aumento medio globale della temperatura di circa 3 °C, molto più del limite di 2 °C, che era già considerato molto pericoloso.

In questi ultimi 7 anni, però, non si sono fatti grandi progressi e alla COP27 il segretario dell'ONU Gutierrez ha ammonito: *Siamo su un'autostrada diretti verso l'inferno climatico con il piede sull'acceleratore; stiamo lottando per la nostra vita e stiamo perdendo.* Ha inoltre lanciato

un appello affinché nasca uno storico Patto tra economie sviluppate ed economie emergenti: *Un Patto di Solidarietà Climatica, perché ormai si sa cosa bisogna fare e ci sono anche gli strumenti finanziari e tecnologici per farlo; è tempo che le nazioni si uniscano per agire.*

3.2 Le energie rinnovabili

Le energie rinnovabili sono quelle fornite, direttamente o indirettamente dal Sole (energia fotovoltaica, eolica, idroelettrica, Fig. 2) e, seppure molto meno importanti, quelle fornite dalla Terra (biomasse, energia geotermica) e dai movimenti (maree, onde) e dal gradiente termico dei mari. Per varie ragioni, nella discussione che segue ci occuperemo solo di quelle fornite dal Sole che possiamo considerare non solo rinnovabili, ma anche inesauribili perché il Sole continuerà a generarle per miliardi di anni.

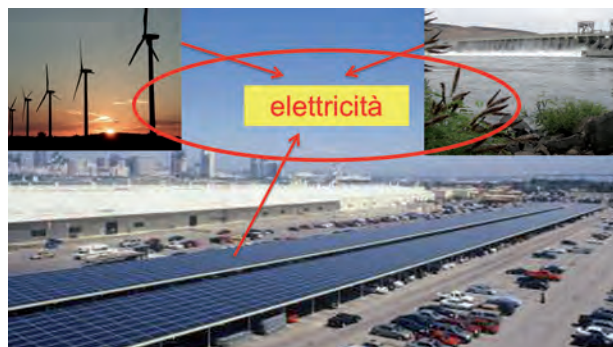


Fig. 2. Le tre più importanti fonti di energia rinnovabile, fotovoltaico, eolico e idroelettrico, forniscono energia elettrica *pulita* e più utile del calore che si ottiene dai combustibili fossili.

È emozionante pensare che queste fonti energetiche sono quelle di cui parla San Francesco nel Cantico delle Creature: *frate Sole* che, oltre al calore, ci fornisce luce che i pannelli fotovoltaici convertono in elettricità; *frate Vento* che, attraverso il movimento meccanico delle pale eoliche, genera anch'esso elettricità; *sor'Acqua* che si può accumulare con dighe per poi farla cadere in apposite condotte per produrre ancora una volta elettricità; *sora nostra madre Terra* che, oltre a fornirci calore (geotermia), ha nel suo seno gli elementi chimici che permettono di costruire i congegni e i dispositivi (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, dighe, motori elettrici, batterie, ecc.) necessari per convertire le energie rinnovabili nelle forme di energia che utilizziamo ogni giorno: calore, elettricità e combustibili.

Le energie rinnovabili nel loro insieme soddisfano sostanzialmente i requisiti richiesti per una fonte energeti-

ca ideale. Sono, infatti, ben distribuite e, alcune, anche molto abbondanti: il Sole, ad esempio, in un'ora manda sulla Terra una quantità di energia pari a quella che l'umanità consuma in un anno. Per utilizzare le energie rinnovabili è, però, necessario convertirle in energie di uso finale mediante dispositivi, congegni o apparati (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, bacini e dighe) che dobbiamo costruire con le risorse materiali ottenibili dalla Terra. Poiché, come abbiamo visto, la Terra ha dimensioni finite e, quindi, risorse limitate, le energie rinnovabili, che in teoria abbiamo a disposizione, vengono solo in parte sfruttate.

Il vantaggio delle energie rinnovabili è che forniscono elettricità, una forma di energia molto più utile del calore, mentre un loro difetto è che sono intermittenti, difetto a cui si può ovviare convertendo l'energia elettrica in energia chimica (accumulatori, idrogeno) o idroelettrica (pompaggi) o utilizzando altri metodi [1, 5].

L'uso delle energie rinnovabili è in forte espansione, ma ad oggi è ancora limitato: l'idroelettrico fornisce il 4% dell'energia primaria e tutte le altre assieme circa il 3%. Il loro contributo, però, non è affatto trascurabile per quanto riguarda la produzione di elettricità, dove le energie rinnovabili forniscono il 28% del totale (in Italia, circa il 40%).

Per ragioni di spazio, riportiamo solo alcuni dati e qualche considerazione sullo sviluppo recente delle energie rinnovabili.

3.2.1 L'energia idroelettrica

L'energia ottenuta dalla caduta dell'acqua è la più nota, usata e collaudata forma di energia rinnovabile. Si stima che nei paesi sviluppati circa il 70% del potenziale sfruttabile per grandi impianti sia già operativo, mentre ampie possibilità di crescita sono ancora presenti in Asia e Africa.

Nuove prospettive, sia per i paesi sviluppati che per le zone rurali del terzo mondo, riguardano l'idroelettrico basato su piccoli impianti che possono sfruttare flussi idrici ridotti, ma costanti.

La potenza idroelettrica installata, che era di 715 GW nel 2004, ha raggiunto 1.200 GW nel 2021, però la scarsità di pioggia e neve negli ultimi anni, causata dal cambiamento climatico, ha ridotto il contributo dell'idroelettrico in alcuni paesi, fra cui l'Italia.

3.2.2 L'energia eolica

Gli impianti eolici comportano un uso ridotto del territorio, si possono installare anche in mare, richiedono

una manutenzione minima, restituiscono in pochi mesi l'energia utilizzata per costruirli e si possono costruire e smantellare in tempi brevi con riciclo quasi totale dei materiali usati. Poiché il vento è intermittente su base giornaliera e stagionale, la capacità annuale effettiva di un impianto eolico si aggira attorno al 30%.

La produzione di questo tipo di energia, mediante eolico offshore e micro-eolico, cresce ad un ritmo annuo superiore al 20%, e contribuisce già alla produzione di elettricità con percentuali molto alte sia in paesi piccoli, come la Danimarca (44%), che nelle grandi potenze industriali, come la Germania (20%).

In totale, la potenza installata è passata da 48 GW del 2004 a 845 GW nel 2021, producendo energia pari a quella ottenibile con 150 centrali nucleari da 1.000 MW.

3.2.3 L'energia fotovoltaica

Il fotovoltaico è in fortissima espansione tanto è vero che la potenza installata, che nel 2004 era di 2,6 GW, è salita a ben 942 GW nel 2021 e continuerà ad aumentare esponenzialmente nei prossimi anni. La produzione di energia elettrica fotovoltaica necessita di ampi spazi di raccolta, ma non così estesi come si potrebbe pensare. Nel caso dell'Italia sarebbe sufficiente utilizzare lo 0,8% del territorio, un'estensione poco più grande dell'area che occupano, comprese le zone di pertinenza, i 700.000 capannoni già presenti sul territorio, che sono luoghi ideali per mettere pannelli fotovoltaici. Occorre poi considerare che altri posti adatti per collocare i pannelli fotovoltaici sono i tetti degli edifici pubblici (Fig. 3), i laghi e anche il mare.

Recentemente va sviluppandosi l'agrivoltaico che consiste nel posizionare su un terreno coltivabile pannelli fotovoltaici inclinati, a opportuna distanza e a un'altezza dal suolo di un paio di metri (Fig. 4); in questo modo si ottengono con buona resa sia i prodotti agricoli che energia elettrica, un risultato di enorme valore: cibo ed energia, le risorse più importanti per la vita, dallo stesso campo illuminato dal Sole.

In Italia, che gode di un'ottima insolazione, nel 2021 il fotovoltaico ha coperto il 10% dei consumi elettrici e ha ormai raggiunto e superato la *grid parity* (cioè la competitività economica) con le centrali elettriche a carbone e anche con le turbine a gas a ciclo combinato, che sono quelle usate per produrre elettricità nelle ore di più alto consumo.

Il fotovoltaico è una tecnologia ormai collaudata: i pannelli hanno una durata di 25-30 anni e in 2-3 anni generano l'energia spesa per produrli. In futuro le celle fo-



Fig. 3. Il tetto della stazione di Shanghai è coperto da pannelli fotovoltaici che forniscono elettricità ai treni.



Fig. 4. Posizionando su un campo coltivabile i pannelli fotovoltaici con appropriata inclinazione e distanza e a un'altezza di un paio di metri dal suolo si ottengono con buona efficienza cibo ed energia.

tovoltaiche saranno sempre più sottili e, sfruttando nuovi materiali, sarà possibile produrre, con tecnologie simili a quelle oggi usate per la stampa, pannelli flessibili, più facili da installare.

Forse non tutti sanno che l'efficienza di conversione dell'energia solare in energia elettrica da parte di un pannello fotovoltaico (circa il 20%) è più di 100 volte maggiore di quella con cui il processo fotosintetico naturale converte l'energia solare in energia chimica.

3.3 L'energia nucleare

Verso la metà del secolo scorso, ancor prima dello sviluppo delle energie rinnovabili, si è riusciti ad ottenere energia elettrica dall'energia di fissione nucleare, facendo nascere la speranza di fornire a tutto il mondo energia elettrica abbondante e a basso prezzo. Dopo una crescita durata una ventina d'anni, però, verso l'inizio degli anni '90 del secolo scorso lo sviluppo del nucleare si è arrestato e attualmente esso fornisce il 10% dell'energia elettrica mondiale, che a sua volta rappresenta circa il 20% del consumo di energia finale.

Oggi le centrali nucleari non sono economicamente convenienti in un regime di libero mercato, per cui si costruiscono solo nei paesi dove lo Stato si fa direttamente carico dei costi e dei rischi d'impresa e dove c'è un forte collegamento con il nucleare militare.

I risultati del referendum di giugno 2011 hanno decretato la definitiva rinuncia dell'Italia a sviluppare l'energia nucleare.

Recentemente in sede europea il nucleare è stato considerato fondamentale per combattere il cambiamento climatico in quanto non genera CO₂. In realtà la quantità di CO₂ emessa dal nucleare dovrebbe essere calcolata tenendo conto di tutte le fasi del ciclo di vita degli impianti – dall'estrazione dell'uranio fino alla dismissione delle centrali – senza tralasciare le emissioni legate al trasporto e allo stoccaggio delle scorie radioattive.

Inoltre, per valutare la sostenibilità ecologica, economica e sociale dell'energia nucleare non ci si può basare solo sulla quantità di CO₂ emessa; è, infatti, necessario considerarne tutte le criticità, che possiamo così riassumere: 1) le centrali nucleari producono scorie radioattive pericolose per decine di migliaia di anni, la collocazione delle quali è un problema non risolto e forse irrisolvibile; 2) il combustibile nucleare, l'uranio, è una risorsa, oltre che non rinnovabile, limitata e quindi contesa; 3) la dismissione di una centrale nucleare a fine vita è un problema di difficile soluzione sia dal punto di vista tecnico che economico, tanto che lo si lascia in eredità

alle prossime generazioni; 4) un incidente nucleare grave non è delimitabile nello spazio e nel tempo e, pertanto, coinvolge direttamente o indirettamente milioni di persone; 5) gli incidenti di Chernobyl e Fukushima hanno dimostrato che un grave incidente nucleare può accadere anche in paesi tecnologicamente avanzati; 6) il nucleare civile è connesso alle applicazioni militari e può essere obiettivo o fonte di attività terroristiche; 7) il timore di incidenti o di contaminazioni con sostanze radioattive rendono difficile il reperimento di siti in cui costruire le centrali; 8) l'esperienza dimostra che la costruzione di una centrale nucleare richiede più di 20 anni e il costo finale supera di molte volte quello inizialmente previsto.

Il nucleare, quindi, lascia pesanti fardelli sulle spalle delle prossime generazioni e genera anche complicati problemi politici e sociali difficili da risolvere. In conclusione, il nucleare è una tecnologia molto costosa, pericolosa, complessa da gestire e socialmente non accettabile.

Si deve, poi, aggiungere che il nucleare da fusione, di cui spesso si parla senza molta cognizione di causa, se mai verrà realizzato porrà problemi sociali e politici ancor più complicati di quello da fissione.

4. La transizione energetica dai combustibili fossili alle energie rinnovabili

La transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili è inevitabile e anche urgente se vogliamo custodire il pianeta e noi stessi che lo abitiamo. È una transizione che richiede tempo perché è complessa dal punto di vista tecnico, economico, politico e anche culturale.

Nella sua forma concentrata offerta dai combustibili fossili, l'energia è stata ed è ancora la base del potere industriale, militare e politico. L'uso dei combustibili fossili, però, ha causato la nascita e il perpetrarsi di disuguaglianze all'interno di ciascuna Nazione e fra le Nazioni, nonché l'instaurarsi di equilibri internazionali molto complessi, basati sulla potenza economica e militare, che neppure l'avvento dell'energia nucleare a metà del secolo scorso ha sostanzialmente modificato. Tali equilibri, per quanto consolidati, verranno inevitabilmente sconvolti passando dai combustibili fossili alle energie rinnovabili. Si tratta, infatti, di sostituire fonti energetiche concentrate, localizzate in pochi paesi, pericolose, inquinanti, causa di controversie economiche e commerciali, esposte ad attentati e particolarmente adatte ad alimentare le guerre, con fonti energetiche diffuse su tutta la Terra, non inquinanti e non pericolose. Infine, ma non ultimo elemento come importanza, bisogna ricordare che, mentre più di un miliardo di persone oggi non dispone di elettricità,

nei paesi sviluppati l'abbondanza di energia ha forgiato la società consumistica dello spreco e dell'usa e getta, che non sarà facile modificare.

La transizione energetica, quindi, ancor più che un complesso problema tecnico, implica una vera rivoluzione culturale [9] perché riguarda il modo di vivere e di affrontare il futuro, interessa tutti i livelli organizzativi della società e ha profondi effetti economici e politici. La transizione che stiamo affrontando è, pertanto, una grande sfida che ci porterà a vivere in un mondo più giusto, più equo e più pacifico.

La transizione energetica comporta anche grandi cambiamenti nel modo di produrre, trasportare e utilizzare l'energia. Le forme di energia comunemente usate (energie di uso finale) sono calore, elettricità ed energia meccanica (trasporti). Attualmente, come energia primaria usiamo essenzialmente i combustibili fossili, con i quali generiamo calore (assieme a CO₂ e inquinamento, con le conseguenze già discusse) che si può usare direttamente, ad esempio per il riscaldamento degli edifici, oppure si può convertire, con bassa efficienza, in energia meccanica o elettrica. Le energie primarie rinnovabili del Sole, del vento e dell'acqua, con le quali dobbiamo sostituire i combustibili fossili, non solo non producono CO₂ e non causano inquinamento, ma hanno un'ulteriore importante caratteristica: generano energia elettrica e non calore. L'energia elettrica è particolarmente pregiata perché può essere convertita con alta efficienza in altre forme di energia come luce, calore ed energia meccanica (Fig. 5). Quindi, l'economia basata sulle fonti rinnovabili ha un'efficienza energetica molto maggiore dell'economia basata sui combustibili fossili.

Le energie rinnovabili hanno anche altri vantaggi rispetto a quelle fossili. I combustibili fossili sono pre-

sentiti allo stato grezzo, sotto la crosta terrestre e solo in certe regioni del mondo. Quindi vanno estratti scavando miniere o pozzi, poi devono essere raffinati e infine trasportati nei luoghi d'uso, operazioni tutte pericolose e spesso causa di incidenti. Invece, l'energia primaria per produrre elettricità con il fotovoltaico, l'eolico e l'idroelettrico *piove dal cielo*, non va trasportata né raffinata, dobbiamo solo raccoglierla, convertirla in elettricità, operazioni che non presentano pericoli (a parte l'idroelettrico), e distribuirla tramite fili, senza eccessivi problemi.

Le energie rinnovabili, però, rispetto ai combustibili fossili hanno lo svantaggio di essere intermittenti, difetto che si ripercuote sull'elettricità che esse generano. Per ovviare a questo inconveniente bisogna ricorrere, come già accennato, a sistemi di accumulo.

Gli scienziati hanno dimostrato che la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili si può fare e che, oltre a eliminare inquinamento e frenare il cambiamento climatico, è anche vantaggiosa perché crea molti nuovi posti di lavoro [13]. Stime concordanti di molti economisti, fra i quali il premio Nobel Stiglitz, valutano infatti che le energie rinnovabili, a parità di capitale investito, creano tre volte più occupati delle fonti fossili, per cui investire nelle energie rinnovabili è utile anche per rilanciare l'economia.

Un gruppo dell'Università di Stanford [13] ha condotto una dettagliata indagine sui benefici che la transizione porterà in vari paesi e, per quanto riguarda l'Italia, lo studio afferma che l'energia necessaria si può ricavare essenzialmente da fotovoltaico, eolico e idroelettrico, con un piccolo contributo di geotermico. Ha anche valutato che, per la costruzione degli impianti necessari, si occuperà non più dello 0,26% del territorio, che si cre-

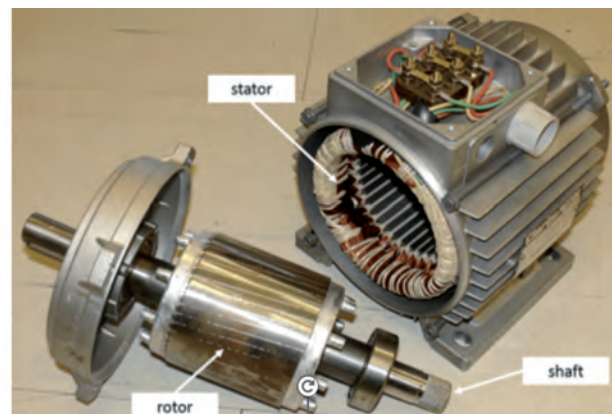
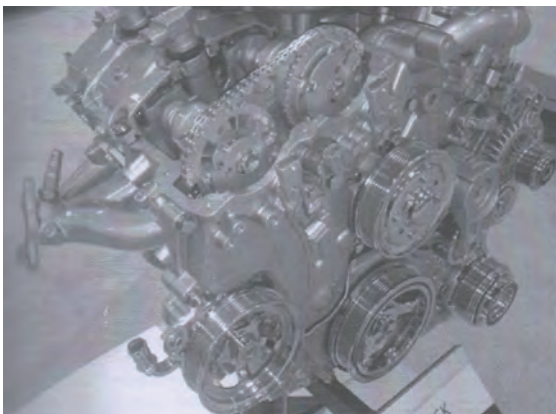


Fig. 5. La complessità del motore termico confrontata con la semplicità del motore elettrico.

ranno 138.000 posti di lavoro per la loro costruzione e altri 140.000 per il loro funzionamento.

Oggi siamo in una strana situazione: il futuro, cioè le energie rinnovabili, è già presente, ma il passato, cioè i combustibili fossili, non vuole tramontare. Questa transizione energetica è, infatti, fortemente ostacolata dalle lobby dei combustibili fossili (in Italia, da ENI e SNAM) secondo le quali le energie rinnovabili non sarebbero ancora mature. Per smentire questa falsità basta considerare quanto già detto e, cioè, che la fotosintesi naturale converte l'energia solare in energia chimica con un'efficienza energetica dello 0,2%, mentre il fotovoltaico converte l'energia solare in energia elettrica con un'efficienza di circa il 20% e, quindi, 100 volte maggiore!

L'Unione Europea ha lanciato un piano ben finanziato, il *Green Deal europeo*, più propriamente chiamato *Next Generation EU* perché è finalizzato al bene delle prossime generazioni.¹ La strategia del piano è articolata in modo da azzerare le emissioni climalteranti entro il 2050, ridurre l'inquinamento, proteggere il pianeta e far sì che la transizione energetica sia socialmente giusta e inclusiva. L'Italia non deve perdere tale occasione che, fra l'altro, può fare emergere le grandi potenzialità della sua industria manifatturiera, perché fotovoltaico, eolico, sistemi di accumulo dell'energia elettrica e tutto quello che concerne le energie rinnovabili riguardano proprio questo tipo di industria, nella quale siamo maestri.

5. Dall'economia lineare all'economia circolare

Per raggiungere la sostenibilità ecologica e sociale è necessaria un'altra transizione: quella dall'*economia lineare* (Fig. 6), caratterizzata dall'usa e getta, all'*economia circolare* [6, 7, 9] (Fig. 7). L'usa e getta è una pratica insostenibile: da una parte causa l'esaurimento delle risorse e, dall'altra, genera l'accumulo di quantità enormi di rifiuti, spesso dannosi. Questo tipo di sviluppo economico ci sta portando sull'orlo del baratro ecologico e, indirettamente, è l'origine delle crescenti, insostenibili disuguaglianze sociali. Papa Francesco ha lanciato un appello accorato [12]: *Ciò che sta accadendo ci pone di fronte all'urgenza di procedere in una coraggiosa rivoluzione culturale*. Uno dei punti cardine di questa rivoluzione culturale è proprio il passaggio dall'economia lineare all'economia circolare, nella quale le risorse vengono usate in quantità il più possibile limitate (risparmio) e in modo intelligente (efficienza) per fabbricare oggetti pro-

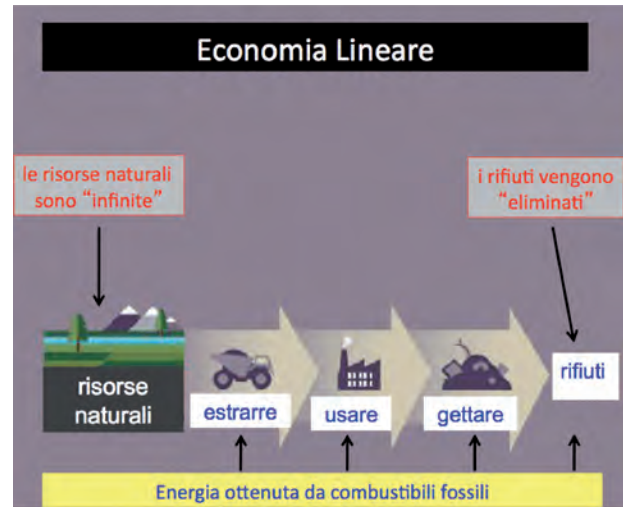


Fig. 6. L'economia lineare è basata sul falso presupposto che le risorse siano infinite, che non ci siano problemi per la collocazione dei rifiuti e che si possa continuare ad usare l'energia fornita dai combustibili fossili.

grammati non solo per essere usati, ma anche per essere riparati, riusati, raccolti e riciclati in modo da fornire nuove risorse [6, 7, 9]. Una differenza fondamentale fra l'economia lineare e l'economia circolare riguarda l'energia: l'economia lineare è alimentata dai combustibili fossili, mentre l'economia circolare deve utilizzare l'energia solare e le altre fonti di energia (eolica, idrica) ad essa collegate che sono rinnovabili (e inesauribili), ben distribuite e non nocive all'ambiente e all'uomo. Ecco, quindi, che la seconda transizione, quella dall'economia lineare all'economia circolare, non può realizzarsi

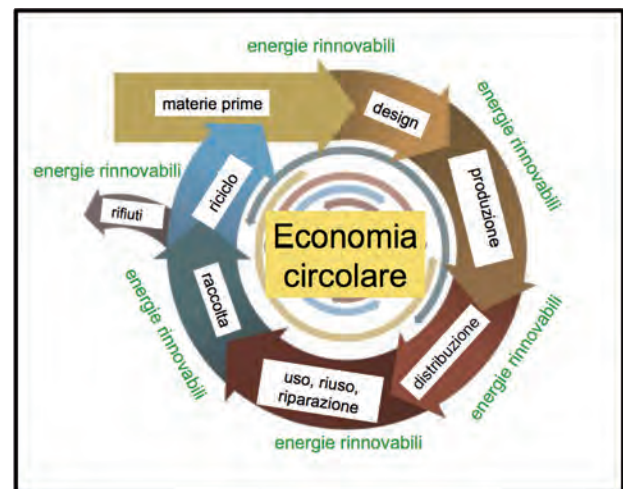


Fig. 7. L'economia circolare, partendo dalla constatazione che le risorse sono limitate, è basata su alcune parole chiave come risparmio, riutilizzo, riciclo e uso di fonti energetiche rinnovabili.

¹ https://ec.europa.eu/info/strategy/recovery-plan-europe_it

completamente se non si porta a termine la transizione dai combustibili fossili alle energie rinnovabili.

Le energie primarie del Sole, del vento e dell'acqua sono molto abbondanti, ma per trasformarle in energie di uso finale è necessario costruire congegni e strutture materiali (pannelli fotovoltaici, pale eoliche, dighe, ecc.) usando le risorse che ci fornisce la Terra: un centinaio di elementi chimici e i loro composti. Come è noto, alcuni elementi sono molto abbondanti (idrogeno, carbonio, ossigeno), altri sono presenti in minor quantità e altri ancora sono relativamente scarsi.

Quindi, anche se le energie primarie rinnovabili sono molto abbondanti e ben distribuite, l'energia rinnovabile che possiamo realmente utilizzare è condizionata dalla limitata disponibilità e dalla non uniforme distribuzione delle necessarie risorse materiali (Fig. 8). Alla scarsità di materiali si può ovviare, in parte, con il riciclo (economia circolare), ma è molto probabile che con le energie rinnovabili non sarà possibile produrre tutta l'energia che vorremmo avere (spesso, per poi sprecarla).

6. Dal consumismo alla sobrietà

Nel tentativo di risolvere, o almeno attenuare i problemi della relativa scarsità di risorse materiali e delle crescenti disuguaglianze, possiamo porci una domanda: quanta energia è realmente necessaria per una persona? Molte ricerche rivelano, infatti, che nei paesi ricchi gran

parte dell'energia viene sprecata e che il benessere delle persone non è direttamente proporzionale all'energia che consumano [3, 6, 9]. Ad esempio, ogni cittadino americano impiega mediamente l'equivalente di 12.000 watt di potenza, il doppio di un cittadino europeo (6000 watt), ma il benessere negli Stati Uniti non è maggiore di quello nei paesi europei.

Ci si può, allora, domandare se e come sia possibile ridurre il consumo di energia quando si è abituati a sprecarla. Chi studia questo problema indica due strategie [7]: la prima è *agire sulle cose*, cioè aumentare l'efficienza energetica di tutte le apparecchiature che usiamo: automobili, caldaie, lampadine, ecc. L'esperienza dimostra, tuttavia, che l'aumento dell'efficienza spesso non porta a una riduzione del consumo di energia per diversi motivi, fra cui il cosiddetto *effetto rimbalzo*. Può accadere, infatti, che un aumento dell'efficienza energetica incoraggi un maggiore utilizzo dei servizi energetici; ad es., quando una persona sostituisce una vecchia auto con una nuova meno inquinante, a volte è così orgogliosa di aver acquistato un'auto più ecologica che finisce per usarla maggiormente.

La seconda strategia dice, invece, che, se si vuole realmente consumare meno energia per contribuire alla sostenibilità ecologica e sociale, bisogna *agire sulle persone*, prima che sulle cose. Occorre partire dal concetto di *sufficienza*, convincendo, sollecitando e, in casi estremi, anche obbligando le persone, con leggi e sanzioni, a ri-

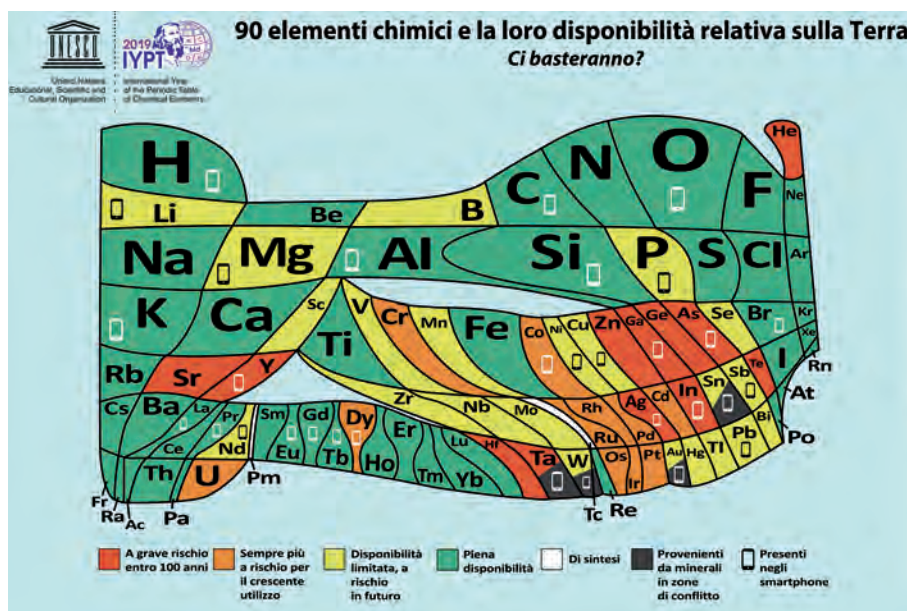


Fig. 8. Una versione moderna della Tavola Periodica che rappresenta schematicamente l'abbondanza relativa sul nostro pianeta dei novanta elementi naturali.

durre l'uso non necessario dei servizi energetici. Per risparmiare realmente energia non basta *fare con meno*, bisogna *fare meno*: meno viaggi, meno luce, meno riscaldamento, minor velocità e così via. Se poi l'apparecchiatura che si usa è più efficiente, si avrà un risparmio ancora maggiore: è il *fare meno* (sufficienza) *con meno* (efficienza). Ovviamente, questi concetti possono essere applicati all'uso di qualsiasi risorsa, perché tutte le risorse della Terra sono, più o meno, limitate.

Quindi, occorre attuare una terza transizione per raggiungere la sostenibilità ecologica e sociale, quella dal consumismo alla sufficienza, o, meglio, alla *sobrietà* che è una virtù quasi dimenticata, è la qualità essenziale di ogni tipo di relazione: con le risorse, con i rifiuti, con gli altri e con se stessi. Senza adottare stili di vita ispirati alla sobrietà precipiteremo nel collasso ecologico e sociale perché, come dice anche Papa Francesco [12]: *Le previsioni catastrofiche ormai non si possono più guardare con disprezzo e ironia. Potremmo lasciare alle prossime generazioni troppe macerie, deserti, sporcizia.*

7. Conclusioni

Siamo in un periodo difficile della storia. Dopo aver goduto per più di un secolo dell'energia dei combustibili fossili, abbondante e a basso prezzo, abbiamo capito che il suo uso causa la degradazione del pianeta e che, quindi, dobbiamo smettere di utilizzarla. Dopo esserci tanto esaltati per il *progresso*, ci stiamo accorgendo che l'attuale modello di sviluppo basato sul consumismo è insostenibile per il nostro pianeta. Lo è anche dal punto di vista sociale perché promuove la competizione, induce a non curarsi degli altri, a perdere l'idea di bene comune e ad allargare sempre più la forbice della disuguaglianza dalla quale derivano disagio, malessere, migrazioni, rivoluzioni e guerre.

La situazione in cui ci troviamo è ben espressa da una frase di un grande filosofo, Hans Jonas [14]: *È lo smisurato potere che ci siamo dati, su noi stessi e sull'ambiente, sono le immani dimensioni causali di questo potere ad impedirci di sapere che cosa stiamo facendo e di scegliere in quale direzione vogliamo inoltrarci.* È una frase che riassume il passato, stabilisce il compito che ci assegna il presente e ricorda che siamo gli artefici del nostro futuro.

Purtroppo, non sembra che molti siano consapevoli della sfida che abbiamo di fronte. La prima cosa da fare, quindi, è informare ed educare le persone per costruire una solida base culturale, o meglio per attuare una coraggiosa rivoluzione culturale, per usare le parole di Papa Francesco.

Non possiamo continuare a costruire muri e confini, perché dobbiamo vivere tutti assieme sull'astronave Terra dalla quale nessuno se ne può andare. Non possiamo abbandonare i comandi, uscire dalla cabina di pilotaggio e lasciare il nostro pianeta al suo destino. Dobbiamo custodirlo, perché deve servire anche alle prossime generazioni. Bisogna porre fine a comportamenti irresponsabili per quanto riguarda il consumo di risorse e la produzione di rifiuti; dobbiamo adoperarci affinché vengano realizzate idee e attuate strategie politiche capaci di proiettarci verso un mondo sostenibile.

Non si tratta di un impossibile ritorno al passato, né di rinnegare scoperte e invenzioni; si tratta, anzi, di ampliare le nostre conoscenze e di utilizzare nel modo migliore le grandi capacità che ci vengono fornite dalla scienza e dalla tecnologia. Bisogna farlo rispettando i limiti planetari di cui oggi abbiamo piena consapevolezza, imparando a riciclare le risorse della Terra e a usare sempre di più e sempre meglio l'energia solare, la risorsa fondamentale che abbiamo *riscoverto* negli ultimi anni.

Se sfrutteremo con cura i beni comuni, cioè le limitate risorse del nostro pianeta e l'abbondante e inesauribile flusso di energia che ci viene dal Sole, se svilupperemo con intelligenza le conoscenze scientifiche e le innovazioni tecnologiche e, soprattutto, se riusciremo a far emergere le nostre preziosissime fonti di energia spirituale – saggezza, creatività, responsabilità, collaborazione, amicizia, sobrietà e solidarietà – riusciremo a raggiungere gli obiettivi di sostenibilità ambientale, economica e sociale.

C'è tanto da fare per migliorare questo mondo. Molte decisioni devono essere prese a livello politico, ma ciascuno di noi è tenuto a fare la sua parte. Come ha detto William James, filosofo della seconda metà del 1800, [6]: *Agisci sempre come se le tue azioni facessero la differenza. La fanno.*

RIFERIMENTI

- [1] ABBOTTO Alessandro, *Idrogeno. Tutti i colori dell'energia*, Edizioni Dedalo, 2021.
- [2] ARENDT Hannah, *The Origins of Totalitarianism*, Schocken Books, 1951.
- [3] ARMAROLI Nicola, Vincenzo BALZANI, *Energy for a Sustainable World – From the Oil Age to a Sun-Powered Future*, Wiley-VCH, 2011.
- [4] ARMAROLI Nicola, Vincenzo BALZANI, *Energia per l'astronave Terra*, Terza Edizione, Zanichelli, 2017.
- [5] ARMAROLI Nicola, *Emergenza energia. Non abbiamo più tempo*, Edizioni Dedalo, 2020.

-
- [6] BALZANI Vincenzo, Margherita VENTURI, *Energia, risorse, ambiente*, Zanichelli, 2014.
- [7] BALZANI Vincenzo, *Salvare il pianeta per salvare noi stessi*, Lu::ce edizioni, 2020.
- [8] BARDI Ugo, *Extracted: How the Quest for Mineral Wealth is Plundering the Planet*, Chelsea Green, White River Junction, Vermont (USA), 2014.
- [9] BUTERA Federico M., *Affrontare la complessità*, Edizioni Ambiente, 2021.
- [10] CRUTZEN Paul, *Nature*, 2002, 415, 23.
- [11] FEYNMAN Richard P., volume I, lecture 4, «Conservation of Energy»; section 4-1, «What is energy?»; p. 4-2 *The Feynman Lectures on Physics*, 1964.
- [12] FRANCESCO, *Laudato si'*, Lettera enciclica sulla cura della casa comune, Paoline Editoriale Libri, 2015.
- [13] JACOBSON Mark Z., *100% Clean, Renewable, Energy and Storage for Everything*, Cambridge University Press, 2021.
- [14] JONAS Hans, *Il principio di responsabilità. Un'etica per la civiltà tecnologica*, Einaudi, 2002.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 29-37
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

L'alchimia e il suo giudice. Ibn al-Ḥāğğ al-Fāsī e le colpe degli alchimisti

PAOLA CARUSI

già docente presso il Dipartimento Istituto Italiano di Studi Orientali-ISO Sapienza Università di Roma, 00185 Roma
E.mail: paola.carusi@fondazione.uniroma1.it

Abstract – In the first half of the fourteenth century, a time when alchemy and philosophy in Magrib and the Iberian peninsula were in a situation of unstoppable decline, Ibn al-Ḥāğğ al-Fāsī, a Malikite jurist and theologian (native to Fez, as his name suggests) noted serious faults in the behaviour of the alchemists: from the jurisprudence point of view counterfeiters, therefore thieves, and in some cases murderers, in selling their gold; from the religious point of view corrupters of good believers in which they insinuate the interest they themselves feel for money. Between the lines of his discussion, in which the preparation and wisdom of the man of law are clearly evident, the traces of themes come to light, which remained the subject of debate in natural philosophy for a long time, destined to be taken up again in the Christian West until the modern era.

Keywords: Ibn al-Ḥāğğ al-Fāsī alchemist's faults native /artificial gold

Riassunto – Nella prima metà del XIV secolo, un tempo in cui nel Magrib e nella penisola iberica alchimia e filosofia si trovano in una situazione di inarrestabile decadenza, Ibn al-Ḥāğğ al-Fāsī, giurista malikita e teologo (originario di Fez, come dice il suo nome) rileva gravi colpe nel comportamento degli alchimisti: dal punto di vista della giurisprudenza falsari, dunque ladri, e in qualche caso assassini, nella vendita che essi fanno del loro oro; dal punto di vista della religione corruttori di buoni credenti in cui insinuano l'interesse che essi stessi provano per il danaro. Tra le righe della sua trattazione, in cui sono ben evidenti la preparazione e la saggezza dell'uomo di legge, vengono in luce le tracce di temi, rimasti a lungo oggetto di discussione nella filosofia naturale, destinati ad essere ripresi nell'Occidente cristiano fino all'epoca moderna.

Parole chiave: Ibn al-Ḥāğğ al-Fāsī giurisprudenza / alchimia oro alchemico / oro nativo

Come mi è più volte avvenuto di osservare nelle mie passate esperienze, tra i molti sguardi che si possono gettare sull'alchimia islamica, e forse più in generale sull'alchimia, è molto utile a volte esaminare l'alchimia dall'esterno, notare quali sono le considerazioni che sull'alchimia sono effettuate da quelli che convivono con il fenomeno alchemico e che alchimisti non sono; e all'interno di questo gruppo, piuttosto vasto, anche se non sempre indagato, esaminare come varia la situazione nel tempo e nei luoghi.

Il giurista

Per un'alchimia di epoca tarda, informazioni di grande interesse possono essere acquisite nell'opera di un autore magrebino, Muḥammad ibn Muḥammad Ibn al-Ḥāḡḡ al-Fāsī, cui questo lavoro è dedicato. Giurista e teologo, ma – io direi – qui in primo luogo giurista, originario di Fez, come dice la sua *nisba* (nome di attribuzione), e trasferito in Egitto, dove muore nel 1335, Ibn al-Ḥāḡḡ scrive un lungo trattato dal titolo *Introduzione alla nobile giurisprudenza secondo le quattro scuole giuridiche* (*al-Madkhal al-šar' al-šarīf 'alā al-maḏāhib al-arba'a*). Tra i molti temi di cui si occupa, tra cui spiccano quelli che hanno a che fare con reati riscontrati nelle tecniche e nelle compravendite, figurano annotazioni sull'alchimia da non sottovalutare.

Quanto all'occuparsi del conseguimento della scienza dell'oro alchemico: esso è di ciò che è falso manifesto, e imbroglio, i cui danni aggreddiscono gli uomini del suo tempo e quelli che verranno dopo. Chi lo fabbrica confonde la gente sui suoi beni, e glieli fa diminuire, poiché si confonde sul fatto che è fabbricato (lett. sulla sua fabbricazione).

Di essi vi è chi lo fabbrica senza sapere che esso dopo un certo tempo si altera, e quel tempo è diverso e può essere più o meno lungo. Ma una gran parte di essi sa che si altera e con esso reca danno alla gente, si che dedicano la loro attenzione alle loro ricchezze. Tutto questo è cosa vietata e illecita.

Di essi, vi è chi afferma che non si altera, ed è inverosimile; ma se noi avessimo il potere di ottenere la sua inalterabilità, anche questo non sarebbe permesso, perché l'oro della miniera e l'argento della miniera giovano alle malattie e hanno una proprietà specifica nelle medicine; mentre altre cose che non sono loro si ritorcono, producendo danni, contro il malato e gli aggravano la malattia, o muore a causa loro; perché inevitabilmente in ciò che non è della miniera vi sono intrugli (*aqāqīr*) alcuni dei quali fanno ammalare e altri morire; contro questo, dunque, chiunque intraprenda una di queste cose è responsabile dei beni della gente e dei suoi omicidi.

Ho sentito il mio signore Abū Muḥammad – Dio abbia misericordia di lui – dire che il suo pagamento non è permesso, finché [il venditore non] chiarisce che è opera della sua mano e non è della miniera. E questo è ciò che disse – Dio abbia misericordia di lui – del permesso di questo [pagamento] dopo aver detto: 'non è permesso in questo tempo': «perché [in questo tempo] chiariscono (possono chiarire) [di quale oro si tratta] lui (il venditore) e quello a cui [l'oro] è venuto»; ma generalmente lui non chiarisce e il mettersi al riparo da questo è difficile.

Questo è un aspetto [della questione]. Un altro aspetto è che, se [il venditore] chiarisce che [l'oro] viene dall'opera della sua mano, [l'acquirente] distrugge (può distruggere) la sua merce, e nella maggior parte dei casi si riduce a versare il suo sangue. Se le cose vanno in questo modo, niente è trattato con equità.

Quando [il credente] è libero dal distinguersi nella ricerca dei desideri e dell'oro alchemico, si guarda dal frequentare chi rivolge a quello la sua attenzione, o gli accenna a qualcosa. Questo è causa che lui si esalti perché ascolta da essi (alchimi-

sti) ciò in cui si impegnano; e questo fa svanire lo splendore della forza della povertà e della potenza della rassegnazione; perché chi si mescola con loro non può fare a meno di entusiasmarsi per qualche cosa del loro stato, [anche] se è piccola, e questo distoglie il cuore da ciò che è in esso della penitenza e dell'accogliere il Signore generoso. Gli si imponga dunque di voler fuggire totalmente da chi gli accenna qualcosa di questo, perché lo stato di chi tende a Dio è puro (lett. pulito) e, in chi è puro, la più piccola sporcizia lascia una impronta.¹

Questo testo presenta diversi motivi di interesse; dal punto di vista giuridico e dal punto di vista alchemico, e i due punti sono interconnessi.

Nella sua trattazione, Ibn al-Ḥāḡḡ è molto sottile, come è sua abitudine: nel giudizio cui l'alchimista deve essere sottoposto, la prima cosa che si deve accertare è l'esistenza o la non esistenza della buona fede. Dato per certo che l'oro alchemico non può essere come l'oro della miniera (e qui sono bypassati secoli di discussioni colte, come vedremo tra poco), l'alchimista ignorante che crede che lo sia sarà meno colpevole di chi ne sa di più. Segue poi la valutazione delle conseguenze dell'atto di compravendita: spacciando un oro falso per oro vero a chi vuole possedere un bene prezioso, il colpevole sarà un ladro, attenderà quindi ai beni della vittima; ma c'è di più: fornendo oro a scopi medici sarà colpevole di danno alla salute ed eventualmente anche di omicidio. Nei due casi, la colpa sarà valutata diversamente; Ibn al-Ḥāḡḡ non è qui esplicito, ma tra le righe occhieggiano il taglio della mano per il ladro e la pena di morte per l'omicida.

Andando avanti con la trattazione, il giurista rivela al massimo grado la sua finezza. La compravendita non potrà essere dichiarata invalida finché non sia chiaro che l'oro scambiato è artificiale, cioè falso. Il compratore, eventuale vittima, deve sapere aspettare; non deve farsi giustizia da sé, distruggere la merce del venditore o addirittura versare il suo sangue. Stando così le cose, la cosa migliore sarà non cercare di acquistare l'oro, e non frequentare gli alchimisti che cercano di venderlo.

Come si vede, la valutazione del giurista è accurata, ma il discorso non si esaurisce nel diritto (*fiqh*). Ibn al-Ḥāḡḡ è anche un teologo e un uomo spirituale, ed ecco che la colpa degli alchimisti (qui compare lo slittamento dell'alchimia verso il problema della salvezza dell'anima) è anche, e forse in primo luogo, una colpa morale: aspirando all'oro, e facendo aspirare all'oro quelli che li seguono, gli alchimisti minano la salute dell'anima e volgono la vita verso l'effimero e il dannoso.

¹ Ibn al-Ḥāḡḡ, *al-Madkhal*, 4 *aḡzā'* in vv. 2, al-Qāhira, dār al-turāt, 2008, II, *ḡuz'* 3, pp. 144 sg. Ove non diversamente indicato, le traduzioni in lingua italiana sono di Paola Carusi.

Diversi aneddoti, che Ibn al-Ḥāḡḡ inserisce, chiariscono molto bene la situazione; tra questi quello dell'uomo accusato in sogno di essere un avaro.

E raccontò di uno di loro, che non dormiva su una cosa conoscibile finché non ne veniva a capo; stando così le cose, ogni notte vedeva nel sogno uno che parlava e gli diceva: «Tu sei un avaro» e glielo ripeteva diverse volte. E [accadde che] quando fu notte e gli fu detto ciò che gli fu detto, giurò a se stesso che, se il giorno dopo, gli fosse dato qualcosa, l'avrebbe donato al primo che avrebbe incontrato, chiunque fosse. Quando fu il giorno dopo, gli furono dati 500 *dīnār* e il primo che incontrò, il giorno dopo, fu un giovane, che stava presso un barbiere, e gli radeva la testa; e gli diede la sua borsa, ma il giovane gli disse: «Non ne ho bisogno, ho risorse che mi bastano». E gli disse: «Dalla, come paga, al barbiere». E il barbiere gli disse: «Sono entrato in questo lavoro grazie a Dio altissimo e non prendo per esso una remunerazione». E gli disse: «Prendila per te, non come paga». E gli disse: «Non ne ho bisogno». E gli disse: «Ma sono 500 *dīnār*!». E il barbiere gli disse: «Quanto a ciò che ti è stato detto che sei un avaro...», e afferrò la borsa e la gettò nell'Eufrate.²

Anche qui si rivela la sottigliezza del nostro autore. L'uomo misteriosamente dichiarato nel sogno un avaro, tenta di sbarazzarsi della sua colpa dando il tesoro a un altro, e tentando di suscitare in un altro l'alta valutazione del danaro che egli stesso prova; ma l'unica soluzione alla questione è che il danaro non sia di nessuno. Non parlino dunque di oro gli alchimisti, perché non è proprio il caso.

L'alchimia

Veniamo ora all'esame dei contenuti del nostro testo per ciò che concerne l'alchimia.

1. Il primo punto da rilevare è l'uso del termine *kīmīyā'*, utilizzato non per indicare la disciplina, cioè l'alchimia, ma il suo prodotto, in questo caso l'oro che essa sostiene di produrre. Sembra essere, questo, una sorta di ritorno all'antico, dato che è nei testi dei più antichi alchimisti che il termine *kīmīyā'* indica a volte non la disciplina ma l'*iksīr* o la pietra filosofale (Ullmann 1970, Strohmaier 2016): il nostro autore, dunque, sembra dichiarare, tra le righe, di riallacciarsi ai significati più antichi.

Ma veniamo più direttamente ai contenuti:

1. nell'opinione del giurista, uomo del XIV secolo, gli alchimisti del suo tempo sono in primo luogo dei ladri: il loro oro, infatti, è un oro falso che essi spacciano, e ven-

dono, per oro vero. Di loro si conoscono solo ambizioni volgari e pratiche illecite, sì che l'alchimia è diventata una sorta di consorteria di imbrogliatori e di ignoranti.

Alla ricerca delle cause di questa valutazione, non ci si può limitare, a mio parere, solo al fatto che il nostro autore non è un alchimista e dunque incompetente sul tema. Ciò che si verifica in questa epoca tarda sembra essere in primo luogo il decadimento dell'alchimia nella società in cui vive; decadimento dovuto principalmente a due cause, una più generale e una più particolare legata a doppio filo alla storia dell'alchimia:

– il progressivo venir meno, nella tradizione islamica, dell'attenzione alla filosofia, in particolare la filosofia naturale, e della conoscenza dell'eredità dei greci, in particolare di Aristotele; poiché è noto che, nella storia dell'alchimia, i suoi cultori possono essere considerati come 'diversamente' aristotelici. Molti testi che circolavano ampiamente tra IX e X secolo, e si potrebbe anche dire alla metà, o alla fine, del XII, in epoche posteriori non trovano più appassionati, come ricorda Ibn Khaldūn (m. 1406) nella sua *Muqaddima*, in particolare nel caso del Magrib, terra di origine di Ibn al-Ḥāḡḡ.³

Di queste scienze e dei loro studiosi vi fu, presso la comunità islamica, una penetrazione che fortemente attrasse la maggior parte della gente, con il risultato che si volsero ad essa [entusiasti], acquisendo le loro opinioni; la colpa, in (per) questo, va at-

³ Sulla storia della filosofia islamica in epoca posteriore al XII secolo si è molto discusso tra gli studiosi: da un lato quelli concordi con Ibn Khaldūn, dall'altro quelli che, dando attenzione a una filosofia speculativa strettamente connessa con ciò che si potrebbe chiamare 'scienza divina', ritengono che la filosofia islamica, lungi dal cadere nell'estinzione, si sia evoluta fino ai giorni nostri, in particolare in ambienti sciiti, in forme originali rispettose della tradizione religiosa preislamica e islamica. H. Corbin, *Storia della filosofia islamica. Dalle origini ai nostri giorni*, Milano, Adelphi, 2007 (I ed., Paris, Gallimard, 1964), p. 263: «Averroè muore nel 595/1198. Per molto tempo si è ritenuto che i suoi funerali avessero coinciso con quelli della filosofia islamica. E si aveva ragione a pensarlo, nel senso che con lui aveva fine quella fase della filosofia islamica a cui è stato dato il nome di 'peripatetismo arabo'. Ciò non toglie che si aveva anche completamente torto, perché si perdeva di vista il fatto che con la morte di Averroè cominciava qualcosa di nuovo...». Il 'qualcosa di nuovo' di cui qui si tratta, il pensiero di due grandi esponenti dell'esoterismo e della mistica, Suhrawardī al-Maqtūl (m. 1191) e Ibn 'Arabī (m. 1240), non fa che confermare, mi sembra, la sorte della filosofia islamica della natura coltivata nei secoli precedenti; il fatto che, in particolare in ambienti sciiti, si siano manifestate più tardi personalità di scienziati come Naṣīr al-Dīn al-Ṭūsī, matematico, astronomo e commentatore di Avicenna (m. 1274, detto nella tradizione 'il terzo maestro' dopo Aristotele e al-Fārābī) non toglie valore, a mio parere, all'opinione dei sostenitori della decadenza della filosofia naturale.

² Ibidem, pp. 141 sg.

tribuita a chi lo fece, «però, se Dio volesse, non lo farebbero».⁴ In seguito, nel Magrib e nell'Andalus (nel Marocco e nella Spagna), quando in essi languì il vento della cultura (civiltà), e le scienze gradualmente diminuirono per il suo diminuire, questo svanì da essi tranne poche sue tracce che puoi trovare presso gente separata qua e là e sotto il controllo degli studiosi ortodossi (della *sunna*). Ci giunge invece notizia dalla gente dell'Est che acquisizioni di queste scienze non hanno cessato di essere abbondanti presso di loro, in particolare nell'Iraq dei non arabi e ciò che segue, nella Transoxiana; e che essi [si dedicano] alla parte centrale delle scienze intellettuali; perché è abbondante la loro cultura ed è forte presso di loro la civiltà.⁵

In questa situazione, gli antichi autori, cui l'alchimia si richiama da secoli, non sono più conosciuti o non godono più della considerazione di cui godevano prima.

– le critiche inferte all'alchimia e alle sue teorie da filosofi e personaggi ritenuti molto autorevoli; a partire dall'XI secolo, ad esempio, le opinioni di uomini come Ibn Sīnā (Avicenna, m. 1037)⁶ e altri che si collocano

⁴ *Il Corano*, a cura di A. Ventura, traduzione di I. Zilio-Grandi, Milano, Mondadori, 2010, *sūra* 6, *Il bestiame*, p. 84: «Così, i loro soci hanno fatto sembrare bella agli occhi di molti idolatri l'uccisione dei propri figli, così hanno fatto perché si smarrissero e rivestissero d'oscurità la loro religione. Però non lo farebbero se Dio non volesse, dunque lasciali alle loro invenzioni».

⁵ Ibn Khaldūn, *Muqaddima*, Bayrūt, maṭba'at adabiyya, 1900, p. 481. Ibn Khaldūn, *The Muqaddima*, english tr. F. Rosenthal, vv. 3, Princeton, Princeton University Press, 1980², III, pp. 116 sg.

⁶ L'opinione che Ibn Sīnā esprime nel suo *Šifā'*, opinione secondo la quale gli alchimisti non possono ottenere la trasformazione delle specie delle sostanze, ma solo mutare il loro aspetto, condiziona le valutazioni dell'alchimia presso gli autori posteriori, non solo nel mondo islamico, ma anche più tardi nell'Occidente latino, dove i negatori della trasmutazione, acquisita la traduzione latina del testo avicenniano, vi faranno regolarmente ricorso. Ibn Sīnā, *al-Šifā'*, *al-ṭabī'īyyāt*, 5. *al-ma'ādīn wa'l-aṭār al-'ulwiyya*, ed. I. Madkūr, al-Qāhira, al-hay'at al-'amma li-šū'ūn al-maṭābi' al-amīriyya, 1385 / 1965, pp. 22 sg.; traduzione latina, in E. Rubino S. Pagani, *Il De mineralibus* di Avicenna tradotto da Alfredo di Sharesill, *Bulletin de philosophie médiévale* 58 (2016), pp. 23-87, ivi 43 sg.: «Sciunt autem artifices alkimie species vere permutari non posse, sed similia illis facere possunt, et tingere rubeum citrino ut videatur aurum, et album etiam tingere colore quo volunt, donec sit multum simile auro aut eri, possuntque plumbi immunditias abstergere, verumtamen semper erit plumbum et si videatur argentum, sed obtinebunt in eo qualitates aliene, ut errent in eo homines, ut qui accipiunt salem et salem amoniacum, quod differentia specifica aliquo tollatur ingenio, ego non credo possibile et non est, quod una complexio in aliam convertatur, quia ista sensibilia non sunt differentie quibus permutantur species, sed sunt accidentia et proprietates. Differentie autem eorum non sunt cognite, et cum differentia incognita sit, quo modo potest sciri, utrum tollatur necne, vel quomodo tolli possit? Sed expoliatio accidentium ut coloris, vaporis, ponderis, vel saltim diminutio, non est impossibilis, quia contra hoc ratio non stat...». Su questo tema vd. anche C. Crisciani, *Meteorae* IV, «Sciunt artifices alchimie», in *Edizioni*,

sulla sua scia,⁷ sono ricordate dai posteri come sentenze definitive; e anche se ci si continua a occupare di ciò che essi hanno condannato, la loro valutazione costituisce un punto di non ritorno.

2. Eppure, non di ogni cosa la memoria è andata perduta. Trasferiti sul piano giuridico, in questo testo di Ibn al-Ḥāḡḡ si avvertono, debolissimi perché ormai quasi estinti, gli echi di una discussione filosofica che attraversa secoli e ambienti, e che qui, perduti i suoi nobili precedenti, è in prima linea nella valutazione giuridica: l'oro della miniera e l'oro prodotto in laboratorio possono essere considerati la stessa cosa? Secondo la filosofia della natura che l'alchimia segue, certamente sì: poiché l'oro è un corpo composto, e tutti i corpi composti possono essere ridotti ai loro componenti, se l'alchimista conoscesse la composizione dell'oro, potrebbe intervenire sulla composizione (*mizāḡ*) di un qualsiasi metallo, e modificarla in modo da portarla alla composizione dell'oro. Quali sono i componenti cui l'alchimista afferma di poter giungere? Le quattro nature, i componenti primi di ogni corpo naturale, che si collocano al di là dei corpi composti e anche al di là dei quattro elementi.

Questa teoria, che dal punto di vista della filosofia alchemica, in un certo senso non fa una piega (i problemi nascerebbero se operando in laboratorio si dovesse ammettere che non sono conosciute le due composizioni iniziale e finale) deve confrontarsi, e si confronta per molti secoli, con le teorie parallelamente seguite, in particolare, dalle scienze della vita, cui si deve riconoscere che l'alchimia è costantemente legata: teorie che affermano che, in natura, ogni essere nasce, e si modifica, finché non si distacca dalla sua matrice: questo vale per gli animali (mammiferi) fino al parto, o (ovipari) fino all'uscita dall'uovo, vale per le piante finché sono attaccate alla terra, e per assimilazione vale, si noti, per i mine-

traduzioni e tradizioni filosofiche (secoli XII-XVI), eds. L. Bianchi, O. Grassi e C. Panti, Roma, Aracne, 2018, pp. 353-367.

⁷ Un caso rilevante è costituito, nel XIV secolo, da Ibn Qayyim al-Ġawziyya (m. 1350), allievo del famoso teologo e giurista Ibn Taymiyya. Nel suo *Miftāḥ dār al-sa'āda* (*La chiave della casa della felicità*) Ibn Qayyim non solo esprime una condanna senza appello nei confronti dell'alchimia, ma rimanda a una sua epistola in cui – precisa – ha presentato la confutazione di ben 40 affermazioni degli alchimisti; e uno dei punti forti da lui esplicitamente adottati è lo *Šifā'* di Ibn Sīnā. Ibn Qayyim al-Ġawziyya, *Miftāḥ dār al-sa'āda*, eds. Ḥassān Abd al-Mannān al-Ṭībī, 'Iṣām Fāris al-Ḥarsatānī, 2 *aḡḡā'*, Bayrūt, dār al-ḡīl, [1994-], pp. 396 sg.; Idem, *Naṣīḥat al-aḡbiyā' bi-buṭlān al-kīmīyā'* (*Avvertimento agli ignoranti sulla falsità dell'alchimia*), in 'Abd al-Raḥmān bin Ḥasan Qā'id, *al-Kīmīyā' al-qadīma*, London, takwīn li'l-dirāsāt wa'l-abḥāt, 2021, pp. 273-353, citazione dello *Šifā'* a p. 282.

rali, che non possono nascere lontano dalla miniera, e hanno bisogno di molti anni di gestazione per crescere e maturare.⁸ È dunque impossibile produrre artificialmente – nel laboratorio o nell'atelier – un minerale, pietra o metallo, che prima non c'era e di cui non si possiede il germe iniziale. Di queste notazioni, che si susseguono per centinaia di anni, dall'antichità all'epoca moderna, l'alchimia è ben consapevole; al punto che sceglie a volte, anche se non è d'accordo, di utilizzare, per i minerali, termini che richiamano la generazione dei viventi.

In un'opera alchemica anonima acquisita in lingua araba probabilmente nei primi secoli dell'Islam, *Miftāḥ al-ḥikma* (*La chiave della sapienza*) di un sedicente allievo di Apollonio di Tiana, l'alchimista si preoccupa di presentare la trasmutazione alchemica come una ricerca e preparazione – si noti – dell'uovo dell'oro e dell'argento; e, oltre l'uovo, ecco comparire anche i due elementi fuoco e acqua, e le nature calda e secca e fredda e umida, rappresentati come maschio e femmina che si congiungono e generano un figlio.

La materia dell'uovo del minerale non può generarsi che da ciò da cui si genera, come abbiamo detto. Essa si genera solo dall'acqua e dal fuoco, e l'acqua non si mescola con il fuoco se non per mezzo dell'aria, da un lato, e per mezzo della terra dagli altri due lati...

Gli elementi dai quali si generano i minerali della terra sono quattro: fuoco, aria, acqua e terra. Le nature che necessariamente ad essi sono congiunte sono quattro: calore e secchezza, che è la natura del fuoco; calore e umidità, che è la natura del-

⁸ *Rasā'il ikhwān al-ṣafā'*, vv. 4, Bayrūt, dār ṣādir, [1957], II, 5. *fī bayān takwīn al-ma'ādīn*, faṣl 7, p. 106: «Sappi, fratello, che, quando li possiede il calore della miniera, quelle umidità soffocate nell'interno della terra e i vapori là imprigionati si disciolgono, si assottigliano e si alleggeriscono, e quelle arie e parti collose si innalzano in alto verso i soffitti [delle cavità], e là rimangono per un certo tempo. E quando d'estate l'interno della terra si raffredda, quelle arie e parti collose si rapprendono, si addensano e gocciolano tornando verso il basso e si mescolano con la polvere e l'argilla di quei luoghi; là rimangono per un certo tempo, mentre il calore della miniera continuamente le porta a maturazione e le cuoce, e nel protrarsi del loro rimanere si concentrano, aumentando nel peso e nella densità. Con le parti terrose che ad esse si mescolano e la pesantezza e densità da esse acquisite, e con la maturazione e la cottura indotte dal calore, quelle umidità divengono un mercurio tremolante; con le parti terrose che ad esse si attaccano e con la cottura indotta dal calore nel protrarsi del tempo, quelle parti aeree e oleose divengono [invece] uno zolfo combustibile...». Ciò che qui è esposto – teoria ritenuta valida per secoli – è la fase iniziale della formazione dei minerali: che sarebbero generati, nel ventre della terra e in un tempo lunghissimo, in un processo che produce dapprima mercurio e zolfo e successivamente i metalli e gli altri minerali, in cui mercurio e zolfo, più o meno puri, sono presenti in differenti rapporti.

l'aria, freddezza e umidità, che è la natura dell'acqua; freddezza e secchezza, che è la natura della terra. Due di queste nature, le due nature del fuoco e dell'aria, sono attive e maschi, e due, le due nature dell'acqua e della terra, sono passive e femmine: il fuoco è il maschio dell'acqua, e l'aria è il maschio della terra. Quando si congiungono un maschio e una femmina, si produce dai due la nascita di un composto fatto di due sostanze che raccoglie [in sé] le quattro nature, che sono il calore, la freddezza, l'umidità e la secchezza; dunque tutti i composti degli elementi inferiori non sono privi di tutte e quattro le nature.⁹

Il gran numero di riferimenti a soggetti e ad avvenimenti che coinvolgono in modi ricorrenti e diversi esseri viventi come uomini animali e piante, cioè l'intera scala degli esseri dotati di anima (vd. Aristotele, tanto per cambiare), ha contribuito probabilmente a corroborare, tra gli studiosi, il gran numero di riflessioni sull'esistenza di un'alchimia per così dire 'organica'; ma ciò che, in alchimia, si intuisce come il vero e proprio sfondo della questione sembra essere in primo luogo l'antico dibattito tra natura (*physis*, dotata di movimento e di *virtus*, vd. Aristotele) e arte (*techne*, non dotata di *virtus*);¹⁰ cui si accompagna il richiamo alla scala medievale degli esseri, scala che vede un procedere ininterrotto dal minerale alla pianta e all'animale in cui il minerale rappresenta il gradino più basso, ma comunque congiunto, di una sequenza destinata a innalzarsi.

⁹ *Miftāḥ al-ḥikma*, P. Carusi ed. in corso, *maqāla* 2; si noti che ciò che qui è detto 'uovo' dei minerali sono le quattro nature incorporate. In un altro passo della stessa opera, l'autore dice esplicitamente che l'uovo dei viventi e l'«uovo» dei minerali sono due cose del tutto diverse: a differenza di quanto avviene nella macinazione di un minerale, che porta all'ottenimento di molte piccole particelle dello stesso minerale, macinare il seme di una pianta porta semplicemente alla distruzione del seme. *Miftāḥ al-ḥikma*, *maqāla* 3: «[A proposito della pianta,] non si ricorre alla macinazione, come abbiamo detto a proposito del minerale, perché il minerale non ha una immagine di cui si debba temere che venga meno quando la maciniamo: ogni parte di esso può trovarsi infatti in un luogo diverso da quello in cui si trovava, non contigua con ciò cui era contigua. Nel seme [invece] c'è un'immagine che dispose la sapienza di Colui che la dispose, e quando si macina, la sua composizione viene meno, ed in esso le foglie diventano non-foglie ed i rami non-rami».

¹⁰ Subito prima del passo relativo all'impossibilità di trasmutare le specie (v. *supra* nota 6), Ibn Sīnā si sofferma brevemente sul rapporto natura-arte: ciò che è possibile alla natura, dotata di movimento e di *virtus*, non è possibile all'arte: «Può accadere che gli artefici si sforzino [con l'ingegno] di produrre cose artificiali da cui siano riprodotti gli stati delle coagulazioni [naturali] del mercurio con gli zolfi, coagulazioni apparenti [ottenute] con la *ṣinā'a*, anche se gli stati artificiali non sono [disposti] secondo la regola e la validità della natura, ma sono [solo] simili o prossimi a quello. Si può dunque accettare che, nella [loro] natura, il loro modo di essere sia indirizzato in questa direzione o prossima ad essa, ma in questo l'arte è inferiore alla natura e non la raggiunge anche se [molto] si sforza».

Evoluzioni e storie

Come abbiamo in precedenza accennato, nella tradizione islamica il dialogo efficace tra alchimia e filosofia naturale rimane in piedi, vivo e vitale, finché rimane in piedi la filosofia naturale. Ma già agli inizi del XII secolo, la situazione dell'alchimia è destinata a cambiare: già in al-Ġazālī (m. 1111) il significato di *k̄miyā'* può divenire anche qualcosa che con l'antica alchimia non ha più niente a che fare [si veda il titolo di un'opera a lui attribuita: *K̄miyā' al-sa'āda* (*L'alchimia della felicità*)]; e più avanti le cose si spingono oltre, si vedano le immagini alchemiche utilizzate dai mistici e dagli esoterici (l'alchimia dell'anima e cose di questo genere), come ciò che si trova in Ibn 'Arabī (m. 1240) e in altri autori. Insieme con la filosofia, anche l'alchimia si sposta lentamente dalla filosofia naturale alla religione e alla mistica, migrando verso qualcosa che è diverso da lei, finché approda alla letteratura, alla poesia e ad altre discipline che a poco a poco ne ridono i contenuti esaltando l'immagine.¹¹

Smarriti i contenuti e trasferiti altrove i significati, ciò che resta, per il giurista e teologo, e probabilmente anche per molti alchimisti, è il lato più popolare: la compravendita; dove l'antico dibattito filosofico sulla nascita dell'oro nella miniera e nel laboratorio può ridursi a poco a poco alla discussione su onestà e truffa.

Che l'idea dell'ignoranza e/o della truffa si sia insinuata tra le pieghe dell'alchimia si intravede piuttosto bene, mi sembra, in un piccolo e prezioso passo della *Dakhīrat al-Iskandar* (*Il tesoro di Alessandro*), piccola opera anonima di epoca tarda¹² che presenta una mescolanza di sedicente alchimia, magia e talismani.

¹¹ Questa è una mia opinione sempre suscettibile di cambiamento; ma mi sembra attualmente innegabile, senza nulla togliere ad alchimisti importanti come al-Ġildakī (m. 1342 ?), che tra l'alchimia dei primi secoli – diciamo tra *corpus giabirianum* e al-Ṭuġrā'ī – e l'alchimia tarda vi sia un allontanamento dalle fonti della filosofia naturale e una crescente attenzione a connessioni con astrologia e magia. Sui contenuti più antichi dell'alchimia si potrebbe qui anche aprire un discorso – che per ragioni di brevità non può essere affrontato in questo lavoro – sulla tradizione preislamica dell'alchimia-arte, in particolare metallurgia, pigmenti e arti figurative; tradizione acquisita dai musulmani che forse precede molte riflessioni islamiche su alchimia e filosofia naturale, che saranno poi trasmesse al mondo latino.

¹² J. Ruska, *Tabula smaragdina*, Heidelberg, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, 1926, p. 106: «Das anscheinend ziemlich späte Werkchen stellt sowohl hinsichtlich der Verkettung der alten Autoren und Wundermänner, wie in bezug auf die Buntheit des Inhalts eine Höchstleistung dar und bietet auf wenigen Seiten einen Überblick über die Hauptgegenstände der bei den Muslimen anerkannten okkulten Wissenschaften». Sulla *Dakhīrat al-*

Tra i minerali che provengono dalla miniera e le cose fabbricate simili ai minerali, non è d'aiuto preferire tra i due quelli [presi dalla miniera], in cui il riscaldamento e la cottura eccessiva hanno generato una potenza sulfurea, salata, polverosa, e di cattiva qualità. Nella maggior parte delle operazioni, essi contrastano una buona condizione e provocano, invece, e producono con il loro influsso, una deprecabile corruzione. Per questo si deve avere cura di purificare i corpi minerali da questi sovrappesi e sporcizie...¹³

Qui l'insinuazione, appena accennata, che i prodotti ottenuti e purificabili nel laboratorio, o nell'atelier, siano migliori dei minerali estratti dalla miniera, contribuisce ovviamente anche a promuoverne la vendita; e la citazione di 'cose fabbricate simili ai minerali' fa comprendere come chi scrive non sia propriamente un ingenuo. L'alchimia, quella nobile, dei primi secoli, sembra non essere più in vita, o essere almeno piuttosto lontana; e la diffidenza del giurista Ibn al-Ḥāḡḡ, dunque, pienamente giustificata.

Passati altri due secoli, in un passo molto famoso della sua *Descrizione dell'Africa*, Leo Africanus (m. 1554) scriverà:

E in la dicta ciptà sonno anchi molti archimiste che continuo studiano in quelle folie de vanitate e sempre vanno lordi e immondi, puzzolenti di zolfo e de altri odori tristi. E fanno congregatione ogni sera nel tempio maiore disputando loro vana imaginatione ma secretamente infra loro medesimi; hanno molte opere in la dicta arte facte da homini eloquenti che sanno fare del falso vero con lor lengue. La prima opera è intitulata de Gebit,¹⁴ el quale fu 100 anni dopo Mucametto e il dicto Gebir se diceva ch'el fu un greco renegato e la sua opera è tutta recepte, ma al modo de allegorie. E fu etiam un altro che fece una grande opera intitulata Attograhī,¹⁵ el quale fu secretario de uno de li soldani di Bagded como di sopra più diffusamente è narrato in "Le vite de li philosophi arabi". E hanno un'altra opera facta in cantiche de li articoli de la dicta arte facta da uno maestro chiamato El Mugairibi¹⁶ ch'el fu da Ebette-

Iskandar, vd. L. Raggetti, *The Treasure of Alexander - Stories of Discovery and Authorship*, in S. Brinkmann, G. Ciotti, S. Valente und E. M. Wilden (edited by), *Education Materialised Reconstructing Teaching and Learning Contexts through Manuscripts*, Berlin - Boston, De Gruyter, 2021, pp. 279-314. <https://doi.org/10.1515/9783110741124>.

¹³ New York, Columbia University Library, ms. Or. 276, *Dakhīrat al-Iskandar*, f. 21r.

¹⁴ Ḡābir ibn Ḥayyān, vissuto, secondo la tradizione, tra la fine del secolo VIII e gli inizi del IX.

¹⁵ al-Ṭuġrā'ī (m. 1121), grande difensore dell'alchimia e contestatore di Avicenna. Vd.: P. Carusi, *al-Ṭuġrā'ī vs. Ibn Sīnā: la risposta di un alchimista allo sciant artifices*, in *Labor limae*, Atti in onore di Carmela Baffioni, a cura di A. Straface C. De Angelo A. Manzo, Studi Magrebini XII-XIII (2014-2015), pp. 123-151.

¹⁶ Secondo alcuni potrebbe trattarsi di Ibn Arfa' Ra's (m. 1197), magrebino, autore dell'opera alchemica in versi *Šudūr al-dāhab* (*Le*

ea e la dicta opera fu comentata da uno mamaloco di Damasco, el quale fu doctore in la dicta arte, ma el è piú difficile a intendere el dicto comento che lo testo. E li archimiste de la dicta ciptà sonno divisi in doi parte: li primi sonno quilli che crecano lo iesir, cioè la materia che tenga ogni metallo e mina e l'altri sonno quilli che cercano la multiplicazione de le quantità de li metalli per la via di la misculatione de uno metallo con l'altro, ma al fin lor diventano tutti falsificatori di la moneta falsa. E quanti sonno quilli in la dicta ciptà che non hanno se non una mano! Però che quando se scoprisce per falsificatori de la moneta subito la iustitia li taglia una mano.¹⁷

Che cosa intanto sarà avvenuto nel passaggio dalla Spagna musulmana all'Occidente cristiano? Come in un certo senso ci si aspettava, anche qui la tradizione testuale si sviluppa secondo canali diversi:

– da un lato, alchimisti e filosofi discutono della questione arte-natura e dunque oro della natura-oro dell'arte, e vengono in primo piano, nelle discussioni, illustri frati domenicani¹⁸ e francescani, come Tommaso d'Aquino¹⁹ e

particelle d'oro); il commentatore, egiziano di epoca mamelucca, potrebbe essere al-Gildakī (m. 1342 ?).

¹⁷ Giovanni Leone Africano, *La cosmographia de l'Africa* (ms. V.E. 953– Biblioteca Nazionale Centrale di Roma – 1526), introduzione ed edizione del testo a cura di G. Amadori, prefazione di F. Cresti, Roma, Aracne, 2014, pp. 315 sg.

¹⁸ C. Crisciani, *I Domenicani e la tradizione alchemica nel Duecento*, in *Atti del Congresso Internazionale 'Tommaso d'Aquino nel suo settimo centenario'*, vv. 9, Napoli, Edizioni Domenicane Italiane, 1975-1978, II, 1976, pp. 35-42.

¹⁹ Tommaso d'Aquino, *Somma teologica*, Nuova Edizione in lingua italiana a cura di P. Tito S. Centi e P. Angelo Z. Belloni, 2009 (<https://www.documentacatholicaomnia.eu>), II.II *quaestio* 77: «L'oro e l'argento non sono di gran pregio soltanto perché con essi si fabbricano dei vasi e altri oggetti, ma anche per il valore intrinseco e la purezza della loro natura. Se quindi l'oro e l'argento prodotti dagli alchimisti non hanno la vera specie di questi metalli, la loro vendita è fraudolenta e ingiusta. Specialmente perché ci sono delle proprietà nell'oro e nell'argento, fondate sulle loro operazioni naturali, che non appartengono all'oro sofisticato degli alchimisti: come la capacità di rallegrare, e di giovare come medicina in certe malattie. Inoltre l'oro vero, a differenza di quello sofisticato, può essere adoperato con maggiore frequenza, e dura più a lungo nella sua purezza. - Se però con l'alchimia si ricavasse dell'oro vero, allora non sarebbe illecito venderlo: poiché nulla impedisce che l'arte si possa servire di certe cause naturali per produrre effetti naturali veri». Le ragioni della condanna di Tommaso sono qui, come si vede, le stesse citate da Ibn al-Ḥaǧǧ nel suo *Madkhal*. Altrove, Tommaso richiama esplicitamente sia l'opinione di Avicenna che la questione del rapporto natura-arte e l'impossibilità di produrre oro in un luogo che non sia la miniera. *Comento alle Sentenze di Pietro Lombardo*, d.7 q.3 a.1 ad 5, in S. Tommaso d'Aquino, *Comento alle Sentenze di Pietro Lombardo e testo integrale di Pietro Lombardo*, vv. 10, III, Libro secondo, distinzioni 1-10, traduzione di C. Pandolfi (testo di S. Tommaso) e di P. R. Coggi o.p. (testo di Pietro Lombardo), Bologna, Edizioni Studio Do-

Ruggero Bacone;²⁰ che si muovono dichiaratamente sulla scia di Ibn Sīnā, dall'altro, il versante per così dire 'giuridico', si discute in particolare delle malefatte degli alchimisti, considerati generalmente dei falsari;²¹ e an-

menicano, 2000, pp. 374 sg.: «gli alchimisti fanno qualcosa di simile all'oro – quanto agli accidenti esterni – ma non producono del vero oro. Ciò in quanto la forma sostanziale dell'oro non si dà mediante il calore del fuoco – di cui si avvalgono gli alchimisti –, bensì tramite il calore del sole in un luogo ben preciso (ossia dove è vigorosamente presente la capacità minerale)». *Quaestiones disputatae de potentia*, q. 6, a. 1 ad 18, in Tommaso d'Aquino, *La potenza di Dio, Questioni VI-VII*, a cura di A. Campodonico, Fiesole, Nardini Editore, 1995, p. 39: «Quanto più è grande una capacità attiva tanto più può condurre la stessa cosa ad un effetto più alto: pertanto la natura può produrre dalla terra l'oro mescolato con altri elementi, cosa che invece la tecnica dell'uomo non può fare».

²⁰ Nel suo *Questiones supra Liber de plantis*, trattando della trasmutazione come ottenibile da una riduzione alla materia prima, Ruggero Bacone osserva che il termine 'materia prima' può essere inteso in due modi: o una riduzione a una materia prima della quale non vi è nulla, cioè una materia che si spinge oltre la specie (che è quella di cui parlano gli alchimisti), e questa è impossibile, o una trasformazione che porta a una materia prima 'prossima' con cui si intende una trasformazione di aspetto che non si spinge oltre la specie. Nel porre questa distinzione egli cita esplicitamente la sua fonte, che egli crede Aristotele ed è invece Avicenna (vd. *supra* nota 6), che introduce e conclude il passo. *Questiones supra Liber de plantis*, in *Opera bacterus inedita Rogeri Baconi*, Fasc. XI, *Questiones altere supra libros prime philosophie Aristotelis (Metaphysica I-IV)*, *Questiones supra De plantis* [...], ed. R. Steele, Oxonii, et typographeo clarendoniano, MCMXXXII, pp. 251 sg.: «[...] Item, quarto Metheorum, 'sciant artifices alkimie species metallorum transmutari non posse,' quare similiter nec species plantarum. SOLUTIO: quidam dicunt quod differunt solum secundum materiam et ideo possunt transmutari, sed dico quod differunt secundum speciem, tamen secundum esse et proprietates et differentias accidentales potest transmutari, et ita in productione fructuum et ramorum et huiusmodi potest assimilari, tamen in essentia et differentia specifica non potest transmutari, sicut dicit Aristoteles de metallis. Vel dicendum quod secundum essentiam et secundum esse et secundum proprietates potest transmutari per naturam et secundum substantiam. Et quod dicit 'a privatione in habitum non fit resolutio nisi ad materiam primam', dicendum, ut dictum est, quod duplex est materia prima; aut prima que est remota, et ad istam non fit resolutio; aut ad primam que est proxima. Cum primum sit dupliciter, aut primum ante quod nichil, aut primum idem quod proximum, hic fit resolutio ad materiam primam, id est, proximam que est communis in illa transmutatione. Vel dicendum quod natura potest transmutare species, non tamen ars, et hoc tangit Aristoteles in quarto Metheorum 'sciant artifices alkimie etc.' quia dixit 'artifices', id est, per artem non potest transmutari res secundum speciem, et non negat quod non possit per naturam».

²¹ M. Pereira, *Arcana sapientia*, Roma, Carocci, 2019², p. 128: «La percezione più diffusa era [...] che gli alchimisti fossero semplicemente dei falsari, la cui produzione serviva a coniare falsa moneta, arrecando un danno gravissimo all'intera comunità sociale». Vd. anche: B. Fauré, *Alchimistes et faux-monnayeurs en France au*

che qui i documenti degli ordini mendicanti vengono in primo piano. Dal 1273 al 1434 nei capitoli generali degli ordini mendicanti fioriscono le condanne, dapprima senza punizioni e poi con un crescendo di pene fino alla scomunica del 1323.

Cum ars, que alchimia vocatur, sit in pluribus capitulis generalibus districte et sub gravioribus penis prohibita, et adhuc ex hoc in 5 diversis locis ordinis pericula scandalosa surrexerint, precipit magister ordinis de diffinitorum consilio et assensu in virtute spiritus sancti et sub pena excommunicationis late sentencie, fratribus universis, quod nullus in dicta arte studeat vel discat, operetur vel faciat operari, et scripta de ea, si que habet, nulla teneat, sed infra octo dierum spacium a noticia presentium ea destruat et comburat; in secus autem facientes sententiam excommunicationis incurrant, quam magister ordinis in capitulo tulit publice in scriptis et eos nichilominus, de quibus legitime constiterit, ex tunc adjudicatur custodie carcerali. Si qui tamen tales aliquos sciverint operari et prelati suis non manifestaverint, pene gravioris culpe debita subiacebunt.²²

Poiché l'arte che è chiamata alchimia in molti capitoli generali è vietata fermamente e sotto pene più severe, e da essa sono derivati scandalosi pericoli in 5 diversi luoghi dell'Ordine, il maestro dell'Ordine ordina, stante il consiglio e il consenso dei 'visitatori', in virtù dello Spirito Santo e sotto pena di scomunica, a tutti i fratelli, che nessuno studi o impari, lavori o faccia lavorare in detta arte, e che non ne conservi gli scritti, se ne ha, ma entro lo spazio di otto giorni dall'avviso li distrugga e li bruci. Coloro invece che fanno altrimenti incorrano nella sentenza di scomunica, che il Magister dell'Ordine ha portato nel Capitolo pubblicamente per iscritto. Assegna senz'altro al carcere quelli di cui si sia legalmente stabilito [lo stato di colpevolezza]; ma quelli che avessero saputo che alcuni di questi stavano lavorando, e non lo avessero rivelato ai loro superiori, saranno sottoposti alla pena imposta per una colpa più grave.

Qui, come si vede, non è citata la ragione della condanna, ma già da qualche anno (1317), la famosissima decretale del Papa Giovanni XXII *Spondent quas non exhibent*²³ ha imposto la scomunica, a chiunque si occupi di alchimia, per la sua attività di falsario.

Moyen Âge d'après quelques documents conservés aux Archives Nationales de Paris, in *La Fabrique du faux Monétaire: Du Moyen Âge à nos jours*, O. Caporossi B. Traimond (dir.), Toulouse, Presses universitaires du Midi, 2012, pp. 105-120 (online 23 août 2022, <http://books.openedition.org/pumi/32033>).

²² B.M. Reichert, *Acta Capitulorum Generalium Ordinis Praedicatorum* (vol. II), Romae, in domo generalitiae – Stuttgartiae apud Jo.S. Roth Bibliopolam, 1899, p. 147 (Monumenta Ordinis Fratrum Praedicatorum Historica, t. IV). L'esistenza di una prima scomunica registrata negli *Acta Capitulorum* dell'anno 1313, 4 anni prima della *Spondent* di Giovanni XXII, la dice lunga sul coinvolgimento di molti francescani e domenicani negli studi e nelle pratiche di alchimia.

²³ Il testo integrale della *Spondent* e la sua traduzione in francese sono disponibili in R. Halleux, *Les textes alchimiques*, Turnhout, Brepols, 1979, pp. 124-125.

BIBLIOGRAFIA

Fonti primarie

- [1] *Il Corano*, 2010, a cura di A. Ventura, traduzione di I. Zilio-Grandi, Mondadori, Milano.
- [2] *Dakhīrat al-Iskandar*, New York, Columbia University Library, ms. Or. 276.
- [3] GIOVANNI LEONE AFRICANO, 2014. *La cosmographia de l'Africa* (ms. V.E. 953 – Biblioteca Nazionale Centrale di Roma – 1526), introduzione ed edizione del testo a cura di G. Amadori, prefazione di F. Cresti, Aracne, Roma.
- [4] IBN AL-ḤAǦĠĠ, 2008. *al-Madkhal*, 4 *aǧzā'* in vv. 2, dār al-turāḡ, al-Qāhira.
- [5] IBN KHALDŪN, 1900. *Muqaddima*, maṭba'at adabiyya, Bayrūt.
- [6] –, 1980². *The Muqaddima*, english tr. F. Rosenthal, vv. 3, Princeton University Press, Princeton.
- [7] IBN QAYYIM AL-ĠAWZIYYA, [1994-]. *Miftāḡ dār al-sa'āda* (Ḥassān 'Abd al-Mannān al-Ṭībī, 'Iṣām Fāris al-Ḥarsatānī ed.), 2 *aǧzā'*, dār al-ǧīl, Bayrūt.
- [8] –, 2021. *Naṣīḡat al-aǧbiyā' bi-buṭlān al-kīmīyā'* (*Avvertimento agli ignoranti sulla falsità dell'alchimia*). In: 'Abd al-Raḡman bin Ḥasan Qā'id, *al-Kīmīyā' al-qadīma*, takwīn li'l-dirāsāt wa'l-abḡāt, London, 273-353.
- [9] IBN SĪNĀ, 1385 / 1965. *al-Šifā', al-ṭabī'īyāt*, 5. *al-ma'ādin wa'l-aṭār al-'ulwiyya* (I. Madkūr ed.), al-al-hay'at al-'amma li-šū'ūn al-maṭābi' al-amīriyya, al-Qāhira.
- [10] –, 1927 - *Avicennae de congelatione et conglutinatione lapidum*, being sections of the Kitāb al-Šifā', The Latin and Arabic texts edited with an English Translation of the latter and with critical notes by E. J. Holmyard D. C. Mandeville, Librairie Orientaliste Paul Geuthner, Paris.
- [11] *Rasā'il ikhwān al-ṣafā'*, [1957], vv. 4. dār ṣādir, Bayrūt.
- [12] RUGGERO BACONE, 1932 - *Questiones supra Liber de plantis*. In: *Opera hactenus inedita Rogeri Baconi, Fasc. XI, Questiones altere supra libros prime philosophie Aristotelis (Metaphysica I-IV), Questiones supra De plantis [...]* (R. Steele ed.), Oxonii, e typographeo clarendoniano, MCMXXXII.
- [13] TOMMASO D'AQUINO, 1995. *La potenza di Dio, Questioni VI-VII*, a cura di A. Campodonico, Nardini Editore, Fiesole.
- [14] – S., 2000. *Commento alle Sentenze di Pietro Lombardo e testo integrale di Pietro Lombardo*, vv. 10, III, Libro secondo, distinzioni 1-10, traduzione di C. Pandolfi (testo di S. Tommaso) e di P. R. Coggi o.p. (testo di Pietro Lombardo), Edizioni Studio Domenicano, Bologna.
- [15] –, 2009. *Somma teologica*, Nuova Edizione in lingua italiana a cura di P. Tito S. Centi e P. Angelo Z. Belloni, (<https://www.documentacatholicaomnia.eu>).

Studi

- [1] 'ABD AL-RAḡMAN BIN ḤASAN QĀ'ID, 2021. *al-Kīmīyā' al-qadīma*, takwīn li'l-dirāsāt wa'l-abḡāt, London.
- [2] 1975-1978. *Atti del Congresso Internazionale 'Tommaso d'Aquino nel suo settimo centenario'*, vv. 9, Edizioni Domenicane Italiane, Napoli.
- [3] BIANCHI Luca, Onorato GRASSI, Cecilia PANTI (ed.), 2018. *Edizioni, traduzioni e tradizioni filosofiche (secoli XII-XVI)*, Aracne, Roma.
- [4] BRINKMANN Stefanie, Giovanni CIOTTI, Stefano VALENTE, Eva Maria WILDEN (ed.), *Education Materialised Recon-*

- structuring Teaching and Learning Contexts through Manuscripts*, De Gruyter, Berlin - Boston. <https://doi.org/10.1515/9783110741124>.
- [5] CARUSI Paola, 2014-2015. al-Ṭuǧrā'ī vs. Ibn Sīnā: la risposta di un alchimista allo *sciant artifices*. In: *Labor limae*, Atti in onore di Carmela Baffioni (A. Straface, C. De Angelo, A. Manzo, ed.), Studi Magrebini, XII-XIII, 123-151.
- [6] CAPOROSI Olivier, Bernard TRAIMOND (dir.), 2012. *La Fabrique du faux Monétaire: Du Moyen Âge à nos jours*, Presses universitaires du Midi, Toulouse (online 23 août 2022, <http://books.openedition.org/pumi/32033>).
- [7] CORBIN Henry, 2007. *Storia della filosofia islamica. Dalle origini ai nostri giorni*, Adelphi, Milano (I ed., Paris, Gallimard, 1964).
- [8] CRISCIANI Chiara, 1976. I Domenicani e la tradizione alchemica nel Duecento. In: *Atti del Congresso Internazionale 'Tommaso d'Aquino nel suo settimo centenario'*, vv. 9, Edizioni Domenicane Italiane, Napoli, II, pp. 35-42.
- [9] –, 2018. Meteore IV, «*Sciant artifices alchimie*». In: *Edizioni, traduzioni e tradizioni filosofiche (secoli XII-XVI)* (L. Bianchi, O. Grassi, C. Pantì ed.), Aracne, Roma, 353-367.
- [10] FAURÉ Benjamin, 2012. Alchimistes et faux-monnayeurs en France au Moyen Âge d'après quelques documents conservés aux Archives Nationales de Paris. In: *La Fabrique du faux Monétaire: Du Moyen Âge à nos jours*, O. Caporossi B. Traimond (dir.), Presses universitaires du Midi, Toulouse, 105-120 (online 23 août 2022, <http://books.openedition.org/pumi/32033>).
- [11] HALLEUX Robert, 1979. *Les textes alchimiques*, Brepols, Turnhout.
- [12] PEREIRA Michela, 2019². *Arcana sapienza*, Carocci, Roma.
- [13] REICHERT Benedictus Maria, 1899. *Acta Capitulum Generalium Ordinis Praedicatorum (vol. II)*, Romae, in domo generalitiae – Stuttgartardiae apud Jo.S. Roth Bibliopolam (Monumenta Ordinis Fratrum Praedicatorum Historica, t. IV).
- [14] RUBINO Elisa, Samuela PAGANI, 2016. Il *De mineralibus* di Avicenna tradotto da Alfredo di Shareshill. *Bulletin de philosophie médiévale*, 58, 23-87.
- [15] RAGGETTI Lucia, 2021. The Treasure of Alexander - Stories of Discovery and Authorship. In: *Education Materialised Reconstructing Teaching and Learning Contexts through Manuscripts* (S. Brinkmann, G. Ciotti, S. Valente, E. M. Wilden ed.), De Gruyter, Berlin - Boston, 279- 314. <https://doi.org/10.1515/9783110741124>.
- [16] RUSKA Julius, 1926. *Tabula smaragdina*, Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.
- [17] STROHMAIER Gotthard, 2016. Elixir, Alchemy and the Metamorphoses of Two Synonyms. *al-Qantara*, 37. 2, 423-434.
- [18] ULLMANN Manfred, 1970. *Wörterbuch der klassischen arabischen sprache*, I. Otto Harrassowitz, Wiesbaden (I ed. 1957), 512-516.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 39-47
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Il sottile fascino dell'autorità. I chimici e l'alchimia in Francia dopo Lavoisier

LEONARDO ANATRINI

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia • E.mail: leonardo.anatrini@unimore.it
Università degli Studi di Siena • E.mail: leonardo.anatrini@unisi.it

The Discreet Charm of Authority. Chemists and Alchemy in France After Lavoisier

Summary – There were two prerequisites for the transmutability of metals to become once again a scientifically acceptable subject of research from the 1810s: new hypotheses concerning the mutual reducibility of certain elements, such as those of integer multiples and protyle put forward by the British chemist and physician William Prout, and the experimental confirmation that chemical compounds with the same percentage composition could be substances with very different properties, i.e. the discovery of isomerism and allotropy. This paper aims at illustrating how these premises were exploited to legitimise the transmutation hypothesis.

Keywords: transmutation, Jöns Jacob Berzelius, Jean Baptiste André Dumas, ammonium

Riassunto – Due furono i presupposti indispensabili perché, a partire dagli anni '10 del XIX secolo, la trasmutabilità dei metalli tornasse ad essere un tema di ricerca scientificamente accettabile: nuove ipotesi riguardanti la riducibilità reciproca di alcuni elementi, quali quelle dei *multipli interi* e del *protilo* avanzate dal chimico e medico inglese William Prout, e la conferma sperimentale che composti chimici con medesima composizione percentuale potessero essere sostanze con proprietà assai diverse fra loro, vale a dire la scoperta dell'isomeria e dell'allotropia. Il presente contributo mira ad illustrare come questi presupposti vennero sfruttati al fine di legittimare l'ipotesi della trasmutazione.

Parole chiave: trasmutazione, Jöns Jacob Berzelius, Jean Baptiste André Dumas, ammonium

Le sperimentazioni condotte sullo scorcio del XVIII secolo, contribuendo a descrivere la regolarità e la ripetibilità che caratterizzavano un'ampia gamma di composizioni chimiche e che portarono, ad esempio, all'enunciazione della legge delle proporzioni definite di Joseph-Louis Proust (1754-1826), furono propedeutiche al diffondersi di una nuova idea di atomismo. Del resto, con un semplice passaggio logico era possibile dedurre, a partire dalle regolarità osservate nelle reazioni chimiche, una necessaria regolarità nella composizione di una materia di natura corpuscolare. L'atomo originariamente teorizza-

to ai tempi di Democrito (ca. 460 - ca. 370 a.C.), tuttavia, era l'entità minima di una materia uniforme e continua intesa ontologicamente e non strumentalmente, le cui parti, essenzialmente identiche, si differenziavano solamente per misura, forma e moto. In tale sistema, il cambiamento chimico era generato da alterazioni – che avvenivano nel vuoto – nell'ordinamento degli atomi in strutture 'molecolari'. Tutto però, a partire dai risultati prodotti dalla riforma chimica di Georg Stahl (1659-1734), lasciava presagire l'esistenza di un'intera gamma di elementi caratterizzati da qualità esclusive.

Fu dal desiderio e dalla necessità di quantificare le unità ultime della materia a scopi di calcolo, puntando ad una conseguente matematizzazione della chimica, che nacque la teoria atomica di John Dalton (1766-1844). Con essa, lo scienziato inglese univa speculazioni di ordine quantitativo di origine democritea ad una materia categorizzata qualitativamente, superando quegli stessi limiti oltre i quali Lavoisier aveva relegato un'indagine puramente filosofica di ascendenza empedoclea. In uno sforzo di speranzoso pragmatismo, l'atomo di Dalton aveva cessato di essere l'onnipresente manifestazione della materia, diventando l'unità di misura fisica delle 'sostanze semplici' lavoisieriane [14, 83-84].

Per quanto l'accettazione della realtà fisica dell'atomo daltoniano, nella prima metà del XIX secolo, non sia certo stata straordinariamente diffusa in Francia, le teorizzazioni dello scienziato inglese avevano posto l'accento sull'importanza della quantificazione garantita dal sistema dei pesi atomici nell'elaborazione di categorizzazioni e classificazioni necessarie per stabilire le basi di una scienza dei rapporti chimici, prodromo alla chimica strutturale. E fu proprio in questo campo che nel 1826 uno dei padri della chimica organica, Jean Baptiste André Dumas (1800-1884) [21; 17, 81-88; 47, 15-16], pose le proprie ricerche all'attenzione della comunità scientifica internazionale. Applicando sperimentalmente l'ipotesi di Amedeo Avogadro (1776-1856) [4] – che conobbe e studiò attraverso la versione di André-Marie Ampère (1775-1836) [1] –, propose nuovi metodi per la determinazione del peso molecolare dei gas, ottenuto attraverso la densità dei volumi, riuscendo a ottimizzare e persino a correggere i dati di Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), che con il calcolo del peso atomico di 45 diversi elementi e della composizione centesimale di circa 2000 composti chimici [59, 151-152], viene giustamente ricordato come il più grande sperimentatore del primo Ottocento¹. Il celebre svedese, nel 1818 giunse all'elaborazione di una prima serie di pesi atomici basata su dati interamente sperimentali [9, III, 104-130; 30; 43, 270-

278], confutando la possibilità di una totale generalizzazione dell'ipotesi elaborata nel 1815 dal medico e chimico William Prout (1785-1850) mirante ad illustrare i pesi atomici degli elementi come multipli interi di quello dell'idrogeno [51]. Dopodiché, a partire dal 1826 rifondò la sua stessa indagine – e in tale contesto il desiderio di rivalsa provocato dal saggio di Dumas deve aver giocato un ruolo non secondario – attraverso l'adozione strumentale di due novità di particolare importanza per la ricerca chimica. Nel 1819, infatti, il chimico Pierre Louis Dulong (1785-1838) e il fisico Alexis Thérèse Petit (1791-1820), riuscendo a calcolare il calore specifico di 13 diversi elementi (11 metalli, tellurio e zolfo) ne scoprirono la simile capacità termica (fra 0,3675 e 0,3830, per O = 1 e H₂O avente c = 1), vale a dire la costante descrivente il prodotto fra peso atomico relativo di un elemento e il suo calore specifico [20 e 31]². Lo stesso anno, il tedesco Eilhard Mitscherlich (1794-1863), nel corso di una lunga sperimentazione cristallografica, avanzò un'ipotesi riguardante la possibilità che sostanze con proprietà chimiche e forma cristallina simili, battezzate isomorfe proprio da Berzelius, potessero avere formule simili [44; 45; 42; 54, 81-90]³.

Il desiderio di Dumas era quello di riuscire a ottenere dei principi stabili e sperimentalmente consistenti, e l'opportunità che l'ipotesi d'Avogadro offriva era irripetibile. Tuttavia, sin dai tempi della prima pubblicazione di rilievo – come risulta anche dalla lettura della sua tesi di dottorato del 1832 [24] – il giovane chimico si era trovato alle prese con un problema difficilmente sormontabile, riscontrato nella misurazione dei volumi molecolari del fosforo contenuto nel suo tricloruro (PCl₃) e dello zolfo contenuto nell'acido solfidrico (H₂S).

Nel caso particolare di fosforo e cloro, facendo reagire un volume del primo con tre volumi del secondo, Du-

¹ Dumas certamente conobbe i risultati delle ricerche di Berzelius sul calcolo dei pesi atomici – pubblicati sia nel terzo volume del suo *Lärbok i kemien* [9] che nel quinto del periodico da lui fondato insieme a Wilhelm Hisinger, 1766-1852 (*Afhandlingar i fysik, kemi och mineralogi*) – attraverso la loro versione francese, pubblicata nel 1819 sotto la diretta supervisione dell'autore [10].

² Per rendersi conto del grado di esattezza raggiunto dai due scienziati nel calcolo della costante (pari a 6,2 cal/°C), basterà moltiplicare la media dei valori descrittivi la capacità termica degli elementi per l'unità di misura del peso atomico derivata dai dati di Berzelius (O = 100) e dividerla per l'attuale peso atomico dello stesso elemento (O = 15,9994). Il risultato ottenuto è 6,004.

³ Sull'applicazione della costante termica e dell'isomorfismo al calcolo dei pesi atomici da parte di Berzelius, rimandiamo a [55; 60, 78-83; 64]. I risultati ottenuti da Berzelius vennero divulgati in Francia attraverso una nuova traduzione del *Lärbok* e la seconda edizione della monografia del 1819 [11 e 12].

mas non riusciva a spiegarsi come fosse possibile che, qualora Avogadro e Ampère avessero avuto ragione, si generassero non uno, bensì due volumi di tricloruro di fosforo [21, 354-355]. La causa del problema risiedeva nella diffusa confusione terminologica legata al lessico atomistico, che Dumas aveva declinato a partire da quello di Ampère, giungendo persino a ipotizzare la divisibilità delle molecole elementari, pur non intuendo la tetraatomicità del fosforo liquido e la diatomicità del cloro allo stato gassoso (e, più in generale, non immaginando che gli elementi posti in reazione potessero dare luogo a 'variazioni di atomicità'), ricorrendo infine ad espressioni variamente criticate, quando non ossimoriche, come quella di 'mezzo-atomo' [21, 339; 22, I, xxxviii-xxxix]. Inoltre, i valori da lui calcolati si basavano sui pesi atomici di Berzelius del 1818, che per fosforo e cloro erano il doppio del dovuto [9, III, 106-107]⁴, perciò si sarebbe aspettato una reazione di sintesi del tipo $P + 3Cl \rightarrow PCl_3$, mentre ciò che ottenne fu $P_4 + 6Cl_2 \rightarrow 4PCl_3$.

A partire dal 1828 Dumas si sforzò di adottare il criterio avogadrano della distinzione fra particella fisica e particella chimica, sottolineando costantemente la realtà materiale della prima e la dimensione puramente strumentale della seconda, ma per quando il collega Marc Antoine Gaudin (1804-1880), con la sua *Recherche sur la structure intime des corps inorganiques* (1833) [32], ebbe portato all'attenzione della comunità scientifica l'importanza di una nomenclatura stabile che prevedesse una distinzione netta fra concetti quali 'molecola' e 'atomo', soprattutto in virtù dei sempre più incoraggianti risultati forniti dalla ricerca relativa ai pesi atomici (a proposito dei quali Gaudin ipotizzò per primo la poliatomicità di alcuni elementi), Dumas si era definitivamente convinto che i risultati della sua sperimentazione offrissero un'evidente confutazione dell'ipotesi di Avogadro [17, 83-84].

Come è stato persuasivamente illustrato da alcuni studiosi [41, 73-80; 49], alla base del rifiuto di Dumas c'era sicuramente la percezione che quella relativa all'atomismo fosse poco più di una fede e che in fondo nessuna sperimentazione sarebbe stata in grado di rendere conto dell'esistenza di entità fisiche ultime. Perciò, di fronte ai risultati dei suoi esperimenti, piuttosto che interrogarsi sul valore ontologico di quelle che probabilmente considerava astrazioni non indispensabili, scelse, pur ricono-

scendo l'utilità strumentale del sistema elaborato da Dalton, di non prodursi in elaborazioni teoriche circa la dimensione fisica di enti ultimi. Di converso, dimostrò un sempre maggiore interesse verso un'altra ipotesi, che si poggiava su dati sperimentali i quali, seppur variamente manipolati e puntando ad una teorizzazione ancora più generale, vennero plausibilmente preferiti in quanto utilizzabili per indagare i rapporti intercorrenti fra i vari elementi senza necessariamente inoltrarsi in elucubrazioni sulla natura della materia. L'ipotesi in questione è quella dei multipli interi dell'idrogeno elaborata da Prout, che senza dubbio Dumas conobbe grazie all'edizione francese di *An Attempt to Establish the First Principles of Chemistry by Experiment* (1825) [62 e 63], del principale allievo nonché primo biografo di Dalton, Thomas Thomson (1773-1852). A questo si aggiunsero i due fattori rammentati all'inizio della presentazione che plausibilmente, in un periodo precedente alle ricerche concernenti la valenza e agli studi di stereo-chimica, portarono Dumas a dubitare sempre più del valore della teoria atomica.

Nel 1828 il chimico tedesco Friedrich Wöhler (1800-1882) documentò il primo caso di isomeria, dimostrando involontariamente la convertibilità fra composti organici e inorganici. Cercando di ottenere cianato d'ammonio (CH_4N_2O – un sale inorganico), riuscì invece a sintetizzare l'urea ($CO(NH_2)_2$ – composto organico contenuto nelle urine di quasi tutti gli organismi tetrapodi), facendo reagire sostanze esclusivamente inorganiche, come cianuro d'argento ($AgCN$) e cloruro d'ammonio (NH_4Cl). Tale esperienza portò alla formulazione del principio di isomeria, per il quale sostanze aventi proprietà fisiche e comportamento chimico assai differenti possono avere medesima massa molecolare e composizione percentuale [40, 73-102; 46]. Allo stesso modo, qualcosa di simile veniva osservato per le sostanze elementari (all'epoca soprattutto nel carbonio e nello zolfo), grazie alla natura polimorfica di alcuni *corps simples*, descrivendo fenomeni ai quali nel 1841 Berzelius darà il nome di allotropia [39].

Convinto assertore dell'assoluta precedenza dei dati della sperimentazione nell'elaborazione di ipotesi giudicate altrimenti arbitrarie e aprioristiche, Dumas, forse per un difetto di immaginazione e un eccesso di fiducia nei confronti della matematizzazione della ricerca scientifica, abbandonò le profetiche intuizioni di Avogadro e Ampère in favore di dati atti a quantificare un'illusione.

A questo punto sarebbe tanto facile quanto errato fare di Dumas un seguace anche dell'altra celebre ipotesi di Prout, atta a definire l'unità della materia a partire da

⁴ $Cl = 221,325$ (con $O = 100$) $\rightarrow Cl = 69,164$ invece di $35,453$; peso del fosforo diatomico presente nella molecola di anidride fosforica (P_2O_5 , ma descritta all'epoca come PO_5) = $196,15 \rightarrow P = 61,71$ invece di $30,9738$.

un misterioso elemento primordiale chiamato protilo ed enunciata per la prima volta un anno dopo l'ipotesi dei multipli interi dell'idrogeno [52], distinta da seppur sovrapponibile ad essa. Come già accennato, il primo conobbe l'opera del secondo tramite la mediazione di Thomson, il quale fu tanto ammaliato dall'ipotesi dei multipli interi quanto certamente contrariato – soprattutto in virtù del grado di probabilità che attribuiva alla teoria daltoniana – dalla possibilità di tornare a discutere dell'unità della materia.

Dumas aveva sagacemente intuito come la spiegazione dell'isomeria e dei vari fenomeni di polimorfismo, come ad esempio l'allotropia, passasse dall'indagine non solo della composizione percentuale dei corpi, ma anche della disposizione strutturale dei loro costituenti; tuttavia, in assenza di una terminologia stabile e di una chiara distinzione fra 'atomo' e 'molecola', veniva a smarrirsi il vincolo atto ad indicare l'elemento quale limite della decomponibilità qualitativa e così, di fronte all'apparente sovrapponibilità e proporzionalità fra i pesi atomici di elementi propri della chimica minerale, dovette sembrare naturale a Dumas domandarsi se non fosse effettivamente possibile 'convertire una specie in un'altra', trasmutare la materia. Come se non bastasse, c'era un'intera tradizione di studi che ruotava intorno al concetto di trasmutazione dei metalli, che nel più incredibile dei modi e in seno all'élite della ricerca scientifica francese, tornò a far sentire il peso della propria autorità, come testimoniato da una delle più celebri opere di Dumas, le *Leçons sur la philosophie chimique*, date alle stampe nel 1837 [25]. Particolarmente interessante, e utile a chiarire come le conoscenze alchemiche di Dumas provenissero da uno studio tanto meditato quanto parziale delle fonti, è il tentativo di descrizione *in chiave chimica* di un supposto procedimento atto alla confezione della pietra filosofale, estratto da un'opera dell'alchimista inglese del XV secolo George Ripley (ca. 1415-1490). Dumas adottò un'ermeneutica ignara delle valenze filosofiche e simboliche dello scritto da lui scelto, interpretandolo alla luce delle proprie conoscenze chimiche ed utilizzando come sola bussola le variazioni visive e termiche descritte, decodificando le varie entità come i significanti di un'allegoria a chiave e giungendo alla conclusione che la pietra filosofale di Ripley non fosse altro che acetone (C_3H_6O), ottenuto per distillazioni reiterate dell'acetato di piombo - $Pb(CH_3COO)_2$ [25, 30-32].

È curioso notare, in un simile atteggiamento, l'adozione di un approccio speculare, nei confronti della testimonianza scritta, da parte degli scienziati e di coloro i quali diverranno, nella seconda metà del secolo, i *nuovi* alchimisti. Se infatti i secondi sono passibili di essere ac-

cusati di comportamenti antiscientifici nella costante sostituzione del metodo sperimentale con l'autorità testuale, alla quale attribuivano generalmente un valore assai maggiore, i primi ricorsero a metodi antistorici, scegliendo accuratamente i soli dati utili all'elaborazione di una tradizione non meno irrealistica di quella sulla quale gli ermetisti basarono la propria ermeneutica.

Considerando l'imprescindibile precedenza che Dumas attribuiva ai dati sperimentali, riesce difficile pensare che possa essersi dedicato ad uno studio tanto interessato dei testi alchemici prima che i suoi calcoli relativi ai pesi atomici suscitassero in lui dubbi probabilistici. Fatto sta che le motivazioni che lo portarono a stabilire la possibilità di un qualche legame fra sovrapponibilità e proporzionalità dei pesi atomici di molti metalli e il concetto di trasmutazione, scaturissero dall'incapacità di riuscire ad interpretare i dati dei suoi esperimenti preservando l'ipotesi di Avogadro. Quello di cercare nella tradizione millenaria che aveva elevato a vessillo un processo che forse era in grado di risolvere i suoi dubbi era la cristallizzazione di un limite umano, il quale celava un insaziabile desiderio di conoscenza e non necessariamente l'adesione a una qualsivoglia forma di pensiero esoterico. E Dumas certamente pensò di superare l'incompatibilità fra alchimia e chimica quantificandone lo studio, in modo da estrarne dei dati utili alla propria ricerca. Si trattava però di un processo pericoloso, soprattutto da un punto di vista valoriale. L'alchimia era stata tirata in ballo per raggiungere una *verità* che la chimica, per quanto ipoteticamente, non stava riuscendo neanche a descrivere in maniera esaustiva. Il rischio implicito era quello di attribuire alle due discipline un valore gnoseologico simile se non sovrapponibile, ponendo l'alchimia, già pervenuta da tempo al concetto di trasmutazione, in una posizione privilegiata, e stabilendo così un parallelo epistemologicamente nullo, ma logicamente consistente e facilmente fraintendibile, fra un'autorità testuale e un'autorevolezza scientifica non più chiaramente distinte. Senza contare che l'intera teoria alchemica poggiava su un concetto di unità della materia che, a fronte di una eventuale conferma scientifica della trasmutazione, avrebbe offerto un'opportunità di generalizzazione difficilmente evitabile.

A dispetto dei propri ideali, Dumas scelse di credere per vedere, ma, nonostante ciò, con ogni probabilità non si rese mai pienamente conto di quanto il valore dei dati della propria ricerca sperimentale fosse contingente alla sua personale interpretazione degli stessi. Inoltre, ci fu almeno un terzo fattore che lo indusse ad interrogarsi sulla plausibilità della natura elementale di molte delle sostanze semplici della chimica minerale. Un fattore scaturito

dal campo di indagine nel quale registrò alcuni dei suoi più grandi successi, quello delle sostituzioni chimiche.

Nel 1833 Dumas aveva intrapreso, insieme ai suoi allievi, una intensa campagna sperimentale relativa ai processi di clorurazione dei composti organici e, per l'anno successivo, ebbe raccolto sufficienti dati concernenti l'azione del cloro sull'essenza di trementina e sull'etanolo (C_2H_5OH) per affermare la capacità di questo elemento di sostituirsi all'idrogeno 'atomo per atomo' in detti composti, i quali presentavano tuttavia proprietà chimiche pressoché identiche [24; 29, 31-38]. In tal modo, rinsaldò le proprie convinzioni relative al fatto che tali proprietà dipendessero più dalla disposizione che non dalla natura delle particelle.

Nell'ottava delle *Leçons*, le osservazioni del chimico circa l'ipotetica trasmutabilità degli elementi poggiano su tre diversi principi: isomeria, allotropia e supposta proporzionalità diretta osservabile secondo il peso atomico di diversi elementi (16 metalli, tellurio e zolfo) [25, 316-320]. Formulazioni e osservazioni in grado di descrivere il cambiamento di specie prodotto da una trasmutazione, ma non prove della natura composita dei metalli. Da qui la circospezione nella scelta delle parole con le quali Dumas descrive la possibilità e non la probabilità di un'impresa di alchemica memoria. C'era però almeno un dato oggettivo, una *sensata esperienza* che avrebbe potuto essere utilizzata come prova. Si tratta di un terzo fattore, oltre a quelli discussi sin qui, nelle *Leçons* accuratamente omesso (e al quale viene fatta solo una velata allusione [25, 267]) in virtù dell'interpretabilità del fenomeno sul quale tale dato si basava e del fatto che, come unico riscontro sperimentale utile, non rispondeva certo ai criteri di esaustività e rigore sui quali doveva basarsi una teoria.

Nel 1808 Berzelius, insieme all'amico e futuro medico di corte Magnus Martin de Pontin (1781-1858), replicò gli esperimenti che l'anno precedente avevano condotto Humphry Davy (1778-1829) alla scoperta del sodio e del potassio a partire dai rispettivi idrossidi (chiamati *alcali* ancora a quel tempo) [57]. I due svedesi estesero le ricerche di Davy ad un'altra sostanza che per proprietà chimiche assomigliava ai cosiddetti alcali caustici, vale a dire l'ammoniaca (NH_3). Sottoponendo ad elettrolisi una quantità di mercurio elettrificata negativamente e posta in contatto con una soluzione acquosa di ammoniaca, produssero una sostanza che aveva l'aspetto di un amalgama [13, 122-130; 43, 203-210; 60, 59-63]⁵. Come spiegare un fenomeno simile, considerando che la natura composita dell'ammoniaca era ben nota?

Messo a parte dell'operato dei colleghi, Davy si era mostrato entusiasta e propenso all'elaborazione di una

classificazione dei metalli – descritti come composti idrogenati – alla base della quale, data la sua instabilità e la natura composita chiaramente discernibile, si trovava l'ipotetico elemento metallico che insieme al mercurio formava l'amalgama, chiamato *ammonium* [18, V, 130-131].

Il sogno stahlian di un principio flogistico metallizzante sembrava di nuovo a portata di mano, soprattutto alla luce del fatto che l'ammoniaca era composta da elementi non metallici [58]. Dallo studio dell'amalgama venne desunta logicamente la formula dell'*ammonium*, parallela a quella dell'attuale ione ammonio (anche se è bene specificare che l'amalgama si forma previa riduzione alcalina o elettrolitica del catione NH_4^+ in radicale ammonio $NH_4\cdot$).

Fu così che Berzelius, nella prima edizione del secondo volume del suo *Lärbok i kemien* (1812) non esitò a inserire l'*ammonium* [9, II, 48-65] nel novero degli elementi ricavabili da terre e alcali, tutti metalli. Inoltre, è in questo libro che si trova la prima chiara sovrapposizione concettuale generalizzata fra i radicali della chimica organica e i metalli, osservabile nel titolo del capitolo dedicato: «Alkaliernas och jordarternas metalliska radikaler» (*Radicali metallici di alcali e terre*) [9, II, v, 45-68].

Il problema interessò anche alcuni fra i maggiori scienziati francesi del tempo. Prima Claude-Louis Berthollet (1748-1822), poi Ampère [8; 2, 16]⁶ si interroga-

⁵ Risulta particolarmente interessante la frase con cui si conclude la prima parte del resoconto degli esperimenti di Berzelius e de Pontin, nella quale i due scienziati, scusandosi per il tono 'quasi alchemico' delle proprie elucubrazioni, osservano come il fenomeno da loro indagato avrebbe potuto condurre alla 'decomposizione dei metalli' e alla scoperta dei processi necessari per compiere la crisopea, come già sospettato da 'molti chimici': «Och om defra upptäckter just icke föra oss närinare detta i så många sekler fruktlöst eftersträfvade mål, så gifva de oss likväl ett klarare begrepp, och göra på visst sätt möjligheten af metallernas fonderdelning begriplig. Må detta, nästan alchemifiska resonnement förlåtas oss; men mången chemist anade redan [...] att vi en dag skulle upptäcka guldets sammansättning, och uppfinna sättet att med fördel af dess beståndsdelar sammansätta det» (*E anche se queste scoperte non ci fanno avvicinare all'obiettivo* [i.e. la trasmutazione dei metalli] *così infruttuosamente perseguito per tanti secoli, ci forniscono se non altro un'idea più chiara della decomponibilità dei metalli, rendendone in qualche modo intelligibile la possibilità. Ci sia perdonato questo ragionamento quasi alchemico; tuttavia, molti chimici già avevano previsto [...] che un giorno avremmo scoperto la composizione dell'oro ed elaborato i mezzi per assemblarne i componenti*) [13, 130]. La curiosa amalgama venne indipendentemente scoperta e similmente descritta nello stesso anno [48, IV, 48] anche da Thomas Johann Seebeck (1770-1831) [56] e Johann Friedrich August Götting (1753-1809) [36, I, 247-249].

⁶ Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e Louis Jacques Thénard (1777-1857) – maestro di Dumas – per qualche tempo si mostrarono persino propensi a credere nell'esistenza di un principio flogistico in virtù del quale i metalli sarebbero stati composti idrogenati [33; 34; 35].

rono sulle potenzialità della scoperta di Berzelius e de Pontin, ma di fronte all'impossibilità di giungere ad una soluzione e complici i sempre più approfonditi studi basati su un concetto di elemento ormai consolidato e dedicati al calcolo dei pesi atomici, il fenomeno dell'amalgama di ammonio rimase noto, ma la relativa indagine sperimentale venne quasi completamente accantonata fino alla metà del secolo scorso [5; 7; 61]⁷. Uno dei pochi scienziati a continuare ad interessarsi dell'*ammonium* fu proprio Dumas, che in tre diverse occasioni, nel corso della stesura del suo *Traité de chimie* – fra i più importanti manuali dedicati ad applicazioni tecnico-industriali della ricerca chimica del periodo, alla cui pubblicazione attese per diciotto anni, fra 1828 e 1846 –, si occupò della scoperta di Berzelius e de Pontin e di ciò che essa poteva comportare [22, II, 39-44, III, 634-637, V, 691-692]. Cercando di stabilire una classificazione dei metalli sulla base delle rispettive proprietà chimiche, dopo aver osservato e descritto l'isomorfismo di potassio, sodio, litio, bario, stronzio e calcio, avanzò una congettura circa la natura composita dei metalli (della quale affermò egli stesso la natura fortemente speculativa), osservando come, stando ai dati noti, avrebbe potuto essere plausibile «concludere che l'ammoniaca si trasformi in un metallo quando, ai tre volumi di idrogeno che essa contiene, se ne aggiunge un quarto» [22, II, 43]. Gli anni passarono e per quando Dumas giunse alla stesura del quinto volume del *Traité*, nel 1835, il costante raffronto fra l'*ammonium*, gli alcali e le terre, fece maturare in lui una precisa convinzione. Di fronte all'impossibilità di isolare il favoleggiato metallo, ottenerne l'ossido avrebbe fornito una prova concreta non dell'esistenza di una fase metallica del radicale $\text{NH}_4\cdot$ (concetto ignoto alla chimica del tempo), ma della natura composita dei metalli, in quanto le proprietà del nuovo *elemento* sarebbero rientrate a pieno titolo nella casistica descritta dai metalli alcalini e alcalino-terrosi [22, V, 691-692].

Prima di affermare la plausibilità di un'ipotesi, chiaramente Dumas riteneva necessario produrre una prova empirica, altrimenti sostenerne la veridicità su base logico-consequenziale avrebbe condotto oltre i limiti di una corrispondenza analogica scientificamente dimostrabile,

⁷ Del resto, la soluzione al problema richiedeva conoscenze che non sarebbero state alla portata della ricerca fisico-chimica ancora per svariati decenni e le ragioni alla base del comportamento dell'*ammonium* restano in gran parte da chiarire, previa stabilizzazione della fase metallica del composto, per ora solo teorizzata e ritenuta plausibilmente esistente in particolari condizioni di temperatura e pressione, come quelle ipoteticamente riscontrabili nel nucleo di pianeti come Urano e Nettuno.

sconfinando nel dominio delle convinzioni personali alle quali attribuire arbitrariamente la funzione di principi. Tant'è che il problema dell'*ammonium* nelle *Leçons*, opera con velleità storiche ma dal taglio fortemente programmatico, viene solo accennato trasversalmente tramite il ricorso all'autorità di alcuni 'illustrissimi chimici', Berzelius in testa (e unico a venir citato per nome), i quali avevano 'avanzato delle congetture tali da rendere ipotizzabile la natura composita dell'azoto' [25, 267]. Da qui il progressivo (e definitivo) rifiuto dell'atomismo fisico da parte di Dumas, che sempre più vedeva come un insieme di aleatorie speculazioni su un mondo invisibile, in favore di una ricerca dalle potenzialità classificatorie nettamente maggiori, quella dedicata ai radicali della chimica organica. Forte dei successi riportati nell'elaborazione della teoria della sostituzione, nello stesso anno di pubblicazione delle *Leçons*, redasse insieme ad un altro grande della chimica organica del tempo nonché rivale di lungo corso, Justus von Liebig (1803-1873), un articolo programmatico, quasi un manifesto, col quale venne inaugurata la quest per porre finalmente ordine nel tumultuoso mare dei composti organici, intitolato *Note sur l'état actuel de la chimie organique* [28].

La storiografia della chimica ha sempre sottolineato come Dumas, almeno dall'inizio degli anni '30 in poi, accantonò l'atomismo favorendo il ricorso a grandezze immediatamente misurabili, quali gli equivalenti [17 e 49]. Vero, tuttavia il valore strumentale dell'atomismo non venne mai da lui negato e per conferire una solida rappresentabilità matematica alla propria ricerca, all'indomani delle *Leçons* il francese approntò un'indagine sperimentale rivolta nuovamente al calcolo dei pesi atomici dei principali agenti della chimica organica (carbonio, idrogeno, ossigeno e azoto) che, insieme alla teoria della sostituzione e a quella dei tipi, gli valsero nel 1843 la medaglia Copley della Royal Society. Proprio nella definizione di 'tipo chimico' offerta da Dumas, infatti, il ricorso all'atomismo rimane centrale, mentre il grande escluso è il concetto di elemento, strumentalmente necessario ma *funzionalmente sostituito* proprio da quello di 'tipo' [26, 158; 27].

Come è ben noto, l'idillio fra Dumas e Liebig ebbe brevissima durata, a causa di discordanze a livello teorico [15, 80-87; 17, 77-80; 19, 84-87; 53, 94-95]. Ironicamente, fu proprio la teoria dei radicali composti di Liebig [38] a fornire il *rationale* per ipotizzare l'analogia che Dumas, in assenza di un ossido di *ammonium*, per rigore metodologico si era rifiutato di enunciare apertamente. A prodursi nell'impresa fu uno dei padri della chimica strutturale, Alexandre-Édouard Baudrimont (1806-

1880), il quale a sua volta adottava almeno in parte l'ipotesi dei multipli interi di Prout. Epitomando quanto da lui sostenuto nel *Traité de chimie* (1844-46), in chimica inorganica, ossigeno, cloro e zolfo si potevano unire ad un metallo per produrre dei composti nei quali quest'ultimo giocava il ruolo di radicale, il quale però, in chimica organica, non era mai costituito da un solo elemento. Dall'accostamento dei dati relativi, Baudrimont ne concluse che i metalli non solo potessero, ma plausibilmente dovessero essere dei *corps composés* [6, I, 68-69, 275].

In anni vicini ai primi studi sulla valenza e all'alba della stereo-chimica – ma ancora lontani dal perfezionamento della nomenclatura e della concettualizzazione atomistica operato da Stanislao Cannizzaro (1826-1910) alla fine degli anni '50 – la plausibilità di ipotesi quali la trasmutazione dei metalli risultava difficilmente contestabile e inoltre, di fronte all'eventualità che ci fosse del vero in quanto sostenuto da una disciplina, come l'alchimia, con oltre un millennio e mezzo di tradizione alle spalle, più studiosi si adoperarono con due diverse modalità di indagine, al fine di ricavare dalle opere degli alchimisti dei dati scientifici e, idealmente, il segreto della trasmutazione. Alcuni, come Michel-Eugène Chevreul (1786-1889) – altro grande protagonista della ricerca nel campo della chimica organica –, si gettarono anima e corpo nello studio dei testi, peraltro rendendosi almeno parzialmente conto dei limiti che la storiografia del periodo si era autoimposta, cercando, seppur con tutte le carenze metodologiche del caso, di indagare gli aspetti filosofico-religiosi del pensiero alchemico insieme alla sua speculativa tecnica [37]. Altri, come Baudrimont, cercarono persino un contatto diretto con gli adepti, sostanzialmente andando a caccia di alchimisti disposti a parlare, i quali, nella seconda metà del secolo, saliranno ancora una volta agli onori della cronaca [3, 24-32; 16, 185-190; 50, 24-53]. Ma questo è un capitolo di storia della scienza ancora quasi tutto da scrivere.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AMPÈRE André-Marie, 1814. *Lettre de M. Ampère à M. le comte Berthollet, sur la détermination des proportions dans lesquelles les corps se combinent d'après le nombre et la disposition respective des molécules dont leurs particules intégrantes sont composées*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 90, pp. 43-86.
- [2] ID., 1816. *Suite d'une classification naturelle pour les corps simples*. «Annales de chimie et de physique», 2, pp. 5-32.
- [3] ANATRINI Leonardo, Marco CIARDI, 2019. *La scienza impossibile. Percorsi dell'alchimia in Francia fra Ottocento e Novecento*. Roma, Carocci.
- [4] AVOGADRO Amedeo, 1811. *Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps, et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons*. «Journal de physique, de chimie, d'histoire naturelle et des arts», 73, pp. 58-76.
- [5] BARANSKI Andrzej, Wenzhe LU, 1993. *Voltammetric Study of Ammonium Amalgam*. «Electroanalytical Chemistry», 355, 1/2, pp. 205-207.
- [6] BAUDRIMONT Alexandre-Édouard, 1844-46. *Traité de chimie générale et expérimentale, avec les applications aux Arts, à la Médecine et à la Pharmacie*. Paris, chez J.-B. Baillière (2 voll.).
- [7] BERNAL Michael, J.M., HARRIE, S.W. MASSEY, 1954. *Metallic Ammonium*. «Monthly Notices of the Royal Astronomical Society», 114,2, pp. 172-179.
- [8] BERTHOLLET Claude-Louis, 1808. *Observations sur la composition de l'ammoniaque, lues à l'Institut le 24 mars 1808*. «Nouveau bulletin des sciences, par la Société Philomatique de Paris», 1 (1807), pp. 150-152.
- [9] BERZELIUS Jöns Jacob, 1808-18. *Lärbok i kemien*. Stockholm, Tryckt hos Direct. Henr. A. Nordström (3 voll.).
- [10] ID., 1819. *Essai sur la théorie des proportions chimique et sur l'influence chimique de l'électricité [...]*. Paris, chez Méquignon-Marvis, libraire pour la partie de Médecine, rue de l'École de Médecine, n. 3, près celle de la Harpe.
- [11] ID., 1829-33. *Traité de chimie minérale, végétale et animale*. Paris, Firmin-Didot Frères, Libraires-Éditeurs (8 voll.).
- [12] ID., 1835. *Théorie des proportions chimiques, et table synoptique des poids atomiques des corps simples et de leurs combinaisons les plus importantes*. Paris, Firmin-Didot Frères, Libraires-Éditeurs.
- [13] ID., Magnus Martin DE PONTIN, 1808. *Försök med Alkalier och Jordarternas sönderdelning*. «Economiska Annaler med Kongl. Maj:ts Nädigste Tillstånd utgisa af Kongl. Vetenskaps-Academien», 6 (Maggio), pp. 110-130; 6 (Giugno), pp. 113-118.
- [14] BROCK William H., 1985. *From Protyle to Proton. William Prout and the Nature of Matter, 1785-1985*. Bristol-Boston, Adam Hilger Ltd.
- [15] ID., 1997. *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*. Cambridge, Cambridge University Press.
- [16] CERRUTI Luigi, 1991. *Il luogo del 'Sunto'*, CANNIZZARO S., *Sunto di un corso di filosofia chimica* (a cura di L. CERRUTI). Palermo, Sellerio, pp. 73-282.
- [17] CHAIGNEAU Marcel, 1984. *J.-B. Dumas, chimiste et homme politique. Sa vie, son oeuvre: 1800-1884*. Paris, Guy Le Prat.
- [18] DAVY Humphry, 1839-40. *The Collected Works of Sir Humphry Davy, Bart.* (a cura di J. DAVY). London, Smith, Elder and Co., Cornhill (9 voll.).
- [19] DRULHON Jimmy, 2011. *Jean-Baptiste Dumas (1800-1884): La vie d'un chimiste dans les allées de la science et du pouvoir*. Paris, Hermann.
- [20] DULONG Pierre Louis, Alexis Thérèse PETIT, 1819. *Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur*. «Annales de chimie et de physique», 10, pp. 395-413.
- [21] DUMAS Jean Baptiste André, 1826. *Mémoire sur quelques points de la théorie atomistique*. «Annales de chimie et de physique», 33, pp. 337-391.
- [22] ID., 1828-46. *Traité de chimie, appliquée aux arts*. Paris, chez Béchet jeune (8 voll. e 1 atl.).

- [23] ID., 1832. *Dissertation sur la densité de la vapeur de quelques corps simples*. Paris, Imprimerie de M.^e V.^e Thuau.
- [24] ID., 1834. *Recherches de chimie organique*. «Annales de chimie et de physique», 56, pp. 113-154.
- [25] ID., 1837. *Leçons sur la philosophie chimique*. Paris, Bechet jeune.
- [26] ID., 1840a. *Mémoire sur la loi des substitutions et la théorie des types*. «Comptes rendus de l'Académie des Sciences», 10, pp. 149-178.
- [27] ID., 1840b. *Über das Gesetz der Substitutionen und die Theorie der Typen*. «Justus Liebigs Annalen der Chemie», 33, pp. 259-300.
- [28] ID., Justus VON LIEBIG, 1837. *Note sur l'état actuel de la chimie organique*. «Comptes rendus de l'Académie des Sciences», 5, pp. 567-572.
- [29] DUMON Alain, Robert LUFT, 2008. *Naissance de la chimie structurale*. Les Ulis, EDP Sciences.
- [30] ERIKSSON Gunnar, 1992. *Berzelius and the Atomic Theory: The Intellectual Background*, MELHADO Evan M., Tore L. FRÄNGSMYR (a cura di), *Enlightenment Science in the Romantic Era: The Chemistry of Berzelius and its Cultural Setting*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 56-84.
- [31] FOX Robert, 1968. *The Background to the Discovery of Dulong and Petit's Law*. «The British Journal for the History of Science», 4,1, pp. 1-22.
- [32] GAUDIN, Marc Antoine, 1833. *Recherche sur la structure intime des corps inorganiques [...]*. «Annales de chimie et de physique», 52, pp. 113-133.
- [33] GAY-LUSSAC Joseph Louis, Louis Jacques THÉNARD, 1808a. *Sur la décomposition de la potasse et de la soude*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 65, pp. 325-326.
- [34] IDD., 1808b. *Sur les métaux de la potasse et de la soude*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 66, pp. 205-217.
- [35] IDD., 1810. *Sur la production d'un amalgame par l'ammoniaque et les sels ammoniacaux*. «Annales de chimie, ou recueil de mémoires concernant la chimie et les arts qui en dépendent», 73, pp. 197-214.
- [36] GÖTTLING Johann Friedrich August, 1808-9. *Elementarbuch der chemischen Experimentirkunst*. Jena, bey H. Ch. W. Seidler (2 voll.).
- [37] GRIMAUDT Jacques (ed.), 2016. *Écrits alchimiques de Michel-Eugène Chevreul*. [s.l.], La Nouvelle Atlantide.
- [38] HJELT Edvard Immanuel, 1908. *Berzelius - Liebig - Dumas: Ihre Stellung zur Radikaltheorie 1832-1840*. «Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge», 12, pp. 447-482 (ed. or. *Berzelius - Liebig - Dumas i deras förhållande till radikalteorin 1832-1840*. Helsingfors, Edlundska bokhandeln, 1903).
- [39] JENSEN William B., 2006. *The Origin of the Term Allotrope*. «Journal of Chemical Education», 83,6, pp. 838-839.
- [40] KEEN Robin, 2005. *The Life and Work of Friedrich Wöhler (1800-1882)*. Nordhausen, Traugott Bautz.
- [41] KLOSTERMAN Leo J., 1985. *A Research School of Chemistry in the Nineteenth Century: Jean Baptiste Dumas and His Research Students*. «Annals of Science», 42,1, pp. 1-80.
- [42] MELHADO Evan M., 1980. *Mitscherlich's Discovery of Isomorphism*. «Historical Studies in the Physical Sciences», 11,1, pp. 87-123.
- [43] ID., 1981. *Jacob Berzelius: The Emergence of his Chemical System*. Stockholm, Almqvist & Wiksell; Madison (WI), University of Wisconsin Press.
- [44] MITSCHERLICH Eilhard, 1820. *Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques*. «Annales de chimie et de physique», 14, pp. 172-191.
- [45] ID., 1821. *Om Förhållandet emellan kemiska sammansättningen och krystallformen hos Arseniksyra och Phosphorsyrad Salter*. «Kongliga vetenskaps akademiens handlingar», 9 (III serie), pp. 4-79.
- [46] NICOLAOU Kyriacos C., 2013. *The Emergence of the Structure of the Molecule and the Art of its Synthesis*. «Angewandte Chemie International Edition», 52,1, pp. 131-146.
- [47] NOVITSKI Marya, 1992. *Auguste Laurent and the Prehistory of Valence*. Chur [etc.], Harwood Academic Publishers.
- [48] PARTINGTON James R., 1961-70. *A History of Chemistry*. London, Macmillan (4 voll.).
- [49] PETREL Jacques, 1979. *La négation de l'atome dans la chimie du XIX^{ème} siècle: cas de Jean-Baptiste Dumas*. Paris, Centre national de la recherche scientifique, Centre de documentation sciences humaines.
- [50] PRINCIPE Lawrence M., 2017. *Alchemy and Chemistry. Breaking Up and Making Up (Again and Again)*. Washington D.C., Smithsonian Libraries.
- [51] PROUT William, 1815. *On the Relation Between the Specific Gravities of Bodies in Their Gaseous State and the Weights of Their Atoms*. «Annals of Philosophy», 6, pp. 321-330.
- [52] ID., 1816. *Correction of a Mistake in the Essay on the Relation Between the Specific Gravities of Bodies in Their Gaseous State and the Weights of Their Atoms*. «Annals of Philosophy», 7, pp. 111-113.
- [53] ROCKE Alan J., 2001. *Nationalizing Science: Adolphe Wurtz and the Battle for French Chemistry*. Cambridge (MA)-London, The MIT Press.
- [54] SCHÜTT Hans-Werner, 1992a. *Eilhard Mitscherlich: Baumeister am Fundament der Chemie*. München, Oldenbourg.
- [55] ID., 1992b. *Berzelius as Godfather of Isomorphism*, MELHADO Evan M., Tore FRÄNGSMYR (a cura di), *Enlightenment Science in the Romantic Era: The Chemistry of Berzelius and Its Cultural Setting*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 171-179.
- [56] SEEBECK Thomas Johann, 1808. *Beobachtungen über Reduktion verschiedener Erden und des Ammoniums*. «Journal der Chemie, Physik und Mineralogie», 5, pp. 482-483.
- [57] SIEGFRIED Robert, 1963. *The Discovery of Potassium and Sodium, and the Problem of Chemical Elements*. «Isis», 54,2, pp. 247-258.
- [58] ID., 1964. ID. *The Phlogistic Conjectures of Humphry Davy*. «Chymia», 9, pp. 117-124.
- [59] SOLOV'EV Jurij Ivanovič, 1976. *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*. Milano, Mondadori (ed. or.: *Эволюция основных теоретических проблем химии*. Москва, Наука, 1971).
- [60] ID., Viktor Ivanovič KURINNOI, 1980². *Якоб Берцелиус: Жизнь и деятельность*. Москва, Наука.
- [61] STEVENSON David J., 1975. *Does Metallic Ammonium exist?*. «Nature», 258,5532, pp. 222-223.
- [62] THOMSON Thomas, 1825a. *An Attempt to Establish the First Principles of Chemistry by Experiment*. London, printed for Baldwin, Craddock, and Joy (2 voll.).

[63] ID., 1825b. *Principes de la chimie, établis par les expériences; ou essai sur les proportions définies dans la composition des corps* [...]. Paris, Crevot, libraire-éditeur, rue de l'École de médecine, n. 3, près celle de la Harpe (2 voll.).

[64] VAN SPRONSEN Jan W., 1967. *The History and Prehistory of the Law of Dulong and Petit as Applied to the Determination of Atomic Weights*. «Chymia», 12, pp. 157-169.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 49-55
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Nuvole periodiche. La chimica e la letteratura a fumetti

MARCO CIARDI

Dipartimento di Lettere e Filosofia, Università di Firenze
E.mail: marco.ciardi@unifi.it

Abstract – Hugo Pratt, known for his character «Corto Maltese», coined the term “drawn literature” to define comics as a peculiar kind of literature. As Pratt’s work shows, there are multiple ties between literature and science. Writers and poets talk about science in their books and literary works. They are widely influenced by scientific research and its transformations. In this respect, comics are no exception. This article focuses on the relationship between comics and science and, in particular, between comics and chemistry.

Keywords: Science and Literature; Science Comics; Chemistry

Riassunto – Hugo Pratt, noto soprattutto per il suo personaggio «Corto Maltese», ha coniato il termine «letteratura disegnata» per definire il fumetto come un tipo peculiare di letteratura. Come mostra il lavoro di Pratt, ci sono molteplici legami tra letteratura e scienza. Scrittori e poeti parlano di scienza nei loro libri e nelle loro opere letterarie. Sono ampiamente influenzati dalla ricerca scientifica e dalle sue trasformazioni. In questo senso, i fumetti non fanno eccezione. Questo articolo si concentra sul rapporto tra fumetto e scienza e, in particolare, tra fumetto e chimica.

Parole chiave: Chemistry; Comics; Disney; History of Science

Tra i generi letterari che hanno intrattenuto e intrattengono uno stretto rapporto con il mondo della scienza, una posizione di primo piano è indubbiamente occupata da una delle più importanti forme d’arte, di intrattenimento e di comunicazione dei nostri tempi, la letteratura a fumetti [12]. Anche i rapporti tra *comics* e scienza possono essere inquadrati e studiati all’interno di una casistica generale riguardante i rapporti fra scienza e letteratura, che ho cercato di precisare ormai parecchi anni fa, occupandomi dell’attività scientifica di Xavier de Maistre [6], noto al grande pubblico per i suoi contributi letterari e, in particolare, per la pubblicazione del celeberrimo *Voyage autour de ma chambre*, edito nel 1795:

a. Scienziati che forniscono specifici contributi letterari. In questo caso il pensiero va subito agli autori di fantascienza, fra i quali Isaac Asimov rappresenta uno dei punti di riferimento per eccellenza. Oppure ai capolavori del ‘chimico’ Primo Levi.

b. Opere scientifiche contenenti riferimenti letterari o, più in generale, ispirate o determinate dalla produzione letteraria; oppure opere scientifiche considerate anche come opere di alto valore letterario; fra queste non si può fare a meno di citare il *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo* (1632) di Galileo Galilei, il quale è infatti anche ritenuto uno dei più grandi scrittori italiani del Seicento. Secondo Giacomo Leopardi, la prosa di Galileo rappresentava una mirabile sintesi di lingua e di stile.

c. Letterati che parlano di scienza nelle loro opere, oppure, produzioni letterarie sensibilmente influenzate dalla ricerca scientifica e dai mutamenti che in essa avvengono.

d. Letterati che si sono attivamente impegnati in ricerche o disquisizioni di natura scientifica. Non è affatto sorprendente o inusuale incontrare riconosciuti scrittori e poeti, citati in tutte le storie della letteratura, impegnarsi attivamente nel campo della ricerca scientifica. Oltre al già citato caso di Xavier de Maistre, non può non essere menzionato, ancora una volta, il nome di Giacomo Leopardi, la cui formazione intellettuale fu in larga misura anche scientifica, come è ben evidenziato, oltre che dalla sua biografia, anche da tutta la sua produzione letteraria, a partire da quella giovanile. Leopardi, tra l'altro, aveva una notevolissima conoscenza della chimica [8].

Naturalmente va precisato che la casistica sopra riportata può essere facilmente comprensibile soltanto se riferita alla distinzione contemporanea che di fatto si è venuta a creare fra le professioni di scienziato e letterato; ma assai più difficile risulta la sua determinazione almeno fino alla metà del XIX secolo, fino a quando, cioè, non si cominciò ad utilizzare la parola "scienziato" in riferimento ad una specifica attività istituzionalmente riconosciuta. Non a caso, il termine *scientist* venne utilizzato per la prima volta da William Whewell durante una riunione della British Association for the Advancement of Science soltanto nel 1833, e la sua accettazione non fu per niente scontata. Solo nel corso della prima metà dell'Ottocento la scienza divenne quindi un'attività professionale ben definita e autonoma, anche sotto il profilo economico.

Per quanto riguarda il caso della letteratura a fumetti, la sua nascita e il suo sviluppo si collocano in un periodo in cui la separazione professionale fra attività letteraria e attività scientifica era invece ormai ampiamente definita e consumata. Alcuni studiosi tendono a considerare il fumetto come prodotto di una lunga evoluzione, all'interno della quale ricopre un ruolo importante l'opera dello scrittore e illustratore ginevrino Rodolphe Töpffer,

dal 1832 professore di Letteratura all'Università di Ginevra, ma non c'è dubbio che i primi grandi personaggi della storia del fumetto così come oggi lo conosciamo (da Yellow Kid a Little Nemo), comparvero negli Stati Uniti tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento [5]. Fu in quel momento che i quotidiani conobbero i primi grandi successi di vendita e il nuovo genere letterario conquistò anche il pubblico più maturo.

Assieme al cinema, il fumetto ha rappresentato una delle più straordinarie innovazioni nel campo della comunicazione culturale dell'età contemporanea. La fine degli anni Venti vide l'avvento dei grandi fumetti di avventura. Oltre a Tarzan e Buck Rogers, il primo eroe della fantascienza (le cui strisce d'esordio uscirono, contemporaneamente a quelle del personaggio creato nel 1912 da Edgar Rice Burroughs, il 7 gennaio 1929), nacquero nel corso del decennio successivo i personaggi dell'epoca d'oro del fumetto: Cino e Franco (Tim Tyler e Spud Slavins nell'originale americano), Mandrake, Brick Bradford, Flash Gordon, l'Uomo Mascherato (The Phantom) e molti altri. Topolino, presentato nel 1928 come primo cartone animato sonoro, fece la sua apparizione a fumetti nel 1930.

Fin dal momento della sua nascita, il fumetto ha sempre veicolato temi e concetti scientifici [12]. I *comics*, quindi, possono costituire un vero e proprio strumento di ricerca per lo storico della scienza. Una fonte dotata della stessa dignità e importanza rispetto a quelle tradizionalmente presenti nella valigia degli attrezzi dello studioso professionista. Nei fumetti, infatti, spesso e volentieri, idee e teorie scientifiche vengono assorbite all'interno del racconto, senza che gli autori della storia abbiano specifiche finalità divulgative. Tali idee o teorie, utilizzate come elementi per costruire o arricchire la vicenda narrata, diventano perciò molto utili sia per mettere in evidenza il contesto scientifico dell'epoca, sia per ricostruire le fonti cui attingono autori e disegnatori per elaborare le loro storie.

Lo storico della scienza ha quindi in questo modo a disposizione uno strumento ulteriore per verificare la circolazione e la diffusione di determinate idee o teorie scientifiche e anche, seguendo la storia del fumetto, di ricostruire la loro evoluzione nel tempo. In sostanza, lo studio della letteratura a fumetti può essere affrontato "come si affronterebbe qualsiasi altra letteratura, cercando di capire come si è evoluto il linguaggio e in quali rapporti è stato con la realtà che lo circonda, valutando i testi per il loro peso storico, e non per quello affettivo e memoriale" [2, p. 12] Un peso che, in quest'ultimo caso, rappresenta tutt'altra dimensione e necessita di tecniche di analisi e di narrazioni completamente diverse e auto-

nome. In sostanza, lo studio dei rapporti tra scienza e fumetto rappresenta uno dei tanti capitoli del più generale rapporto tra scienza e letteratura.

Chi scrive ormai da molti anni si occupa di questo campo di studi e ha prodotto numerosi lavori nei quali la storia del fumetto occupa un ruolo di rilievo nella comprensione dell'evoluzione e della diffusione delle teorie scientifiche. In particolare, in relazione alla storia di Atlantide [7; 10], il mitico continente descritto da Platone nei dialoghi *Timeo* e *Crizia* intorno al 360 a.C., e alla cosiddetta "teoria degli antichi astronauti" [9], secondo la quale la Terra sarebbe stata visitata nel passato da entità aliene che hanno lasciato tracce del loro passaggio, soprattutto nei monumenti dell'antichità. Attualmente sto portando avanti alcune ricerche proprio dedicate al campo della storia della chimica, di cui spero presto di poter mostrare alcuni risultati più specifici. La chimica, infatti, è uno degli ambiti scientifici più presenti nella letteratura a fumetti, da *Superman* (nato nel 1938) a *Spiderman* (creato nel 1962), senza dimenticare, ovviamente, lo straordinario universo Disney, a partire da uno dei più grandi autori del Novecento, Carl Barks, l'inventore di Zio Paperone (*Uncle Scrooge*).

Barks, infatti, è noto per essere uno degli autori più attenti all'utilizzazione di elementi storici e scientifici all'interno delle sue opere [3]. Celeberrima è la sua storia *The Mad Chemist* (Fig. 1), uscita per la prima volta nel maggio del 1944, che ha come protagonista Paperino. Ha scritto Dario Bressanini [4]:

Nel 1944, il grande Carl Barks – disegnatore di Zio Paperone, Paperino, Qui Quo Qua, e scrittore di memorabili avventure di tutta la famiglia dei paperi – nella storia *Paperino Chimico Genio*, narra di come, prendendo una botta in testa per aiutare i nipotini Qui Quo e Qua con il loro «piccolo chimico», Paperino diventasse «il più grande chimico dell'Universo». Con un buffo linguaggio pseudochimico, pieno di termini inventati di sana pianta, Paperino inventa la «Paperite», il più potente esplosivo mai inventato, che sfrutta poi come carburante per andare con un razzo attorno alla luna. Per produrre la Paperite, Paperino utilizza il Metilene, CH_2 , dando così inizio alla chimica dei Carbeni (Fig. 2). Paperino nel 1944, precorse i tempi: l'esistenza di questa elusiva molecola non era ancora stata provata. I Carbeni sono molecole elettricamente neutre altamente reattive e instabili, con un atomo di carbonio che forma solamente due legami semplici invece di quattro, come è solito fare. La formazione di queste specie era stata ipotizzata dai chimici per spiegare alcune reazioni. Tuttavia è solo negli anni '50 che i carbeni vengono osservati in laboratorio. La scoperta di Paperino fu dimenticata, fino al 1964, quando viene pubblicato un libro sulla chimica del carbene, e in un capitolo viene per la prima volta riconosciuto a Paperino il merito di aver, non solo ipotizzato l'esistenza del CH_2 , ma anche di averlo utilizzato per una sintesi chimica. I carbeni infatti, no-

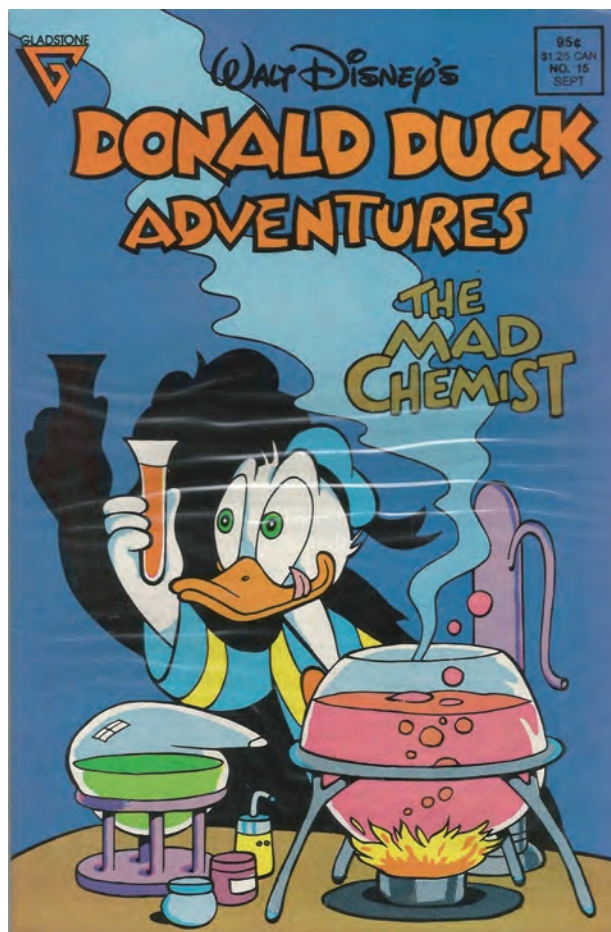


Fig. 1.

stante siano molecole estremamente instabili, possono essere sintetizzati e fatti reagire immediatamente con altre sostanze. Questo è proprio quanto fece Paperino nella sua sintesi dell'Azoto spaccatutto (tradotto malamente nel fumetto con Nitrogeno spaccatutto) per produrre la Paperite, molto prima che ai chimici umani venisse in mente. Da allora, Paperino è stato citato altre volte come scopritore del metilene, addirittura in un libro di testo universitario di Chimica Organica.

Più recentemente Stefano Ambrosio, coadiuvato da diversi disegnatori (la scuola Disney Italiana ha una lunga tradizione alle spalle ed è una delle migliori al mondo), in occasione dell'Anno Internazionale della Chimica, ha dato vita a *Qui Quo Qua e la grande storia della chimica dei paperi* [1], nella quale vengono raccontati alcuni capitoli di storia della chimica (Fig. 3), ma attraverso una vicenda che vede protagonisti anche i personaggi dell'universo Disney, mescolando la realtà alla fantasia. Fra questi Paperiev, l'aiutante di Dmitrij Ivanovič Mendeleev, che ha il merito di fornire al chimico russo l'intuizione della Tavola Periodica degli Elementi (Fig. 4).

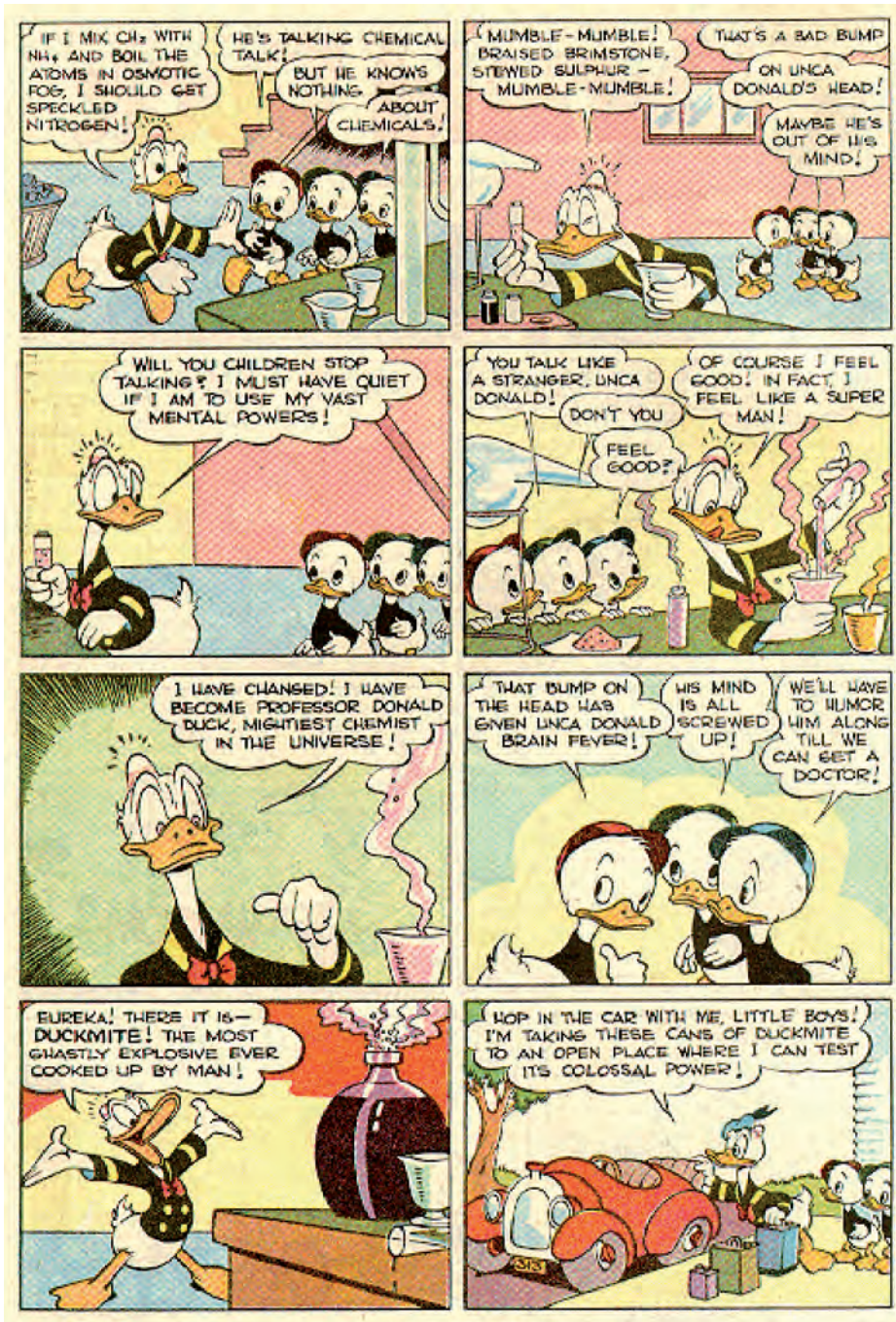


Fig. 2.



Fig. 3.

Si tratta della stessa tecnica con cui vengono realizzate le parodie dei grandi classici della letteratura, di cui la Disney italiana è maestra indiscussa, sin da quando sui numeri dal 7 al 12 del nuovo formato di *Topolino* (che come pubblicazione esisteva in Italia fin dal 1932) venne pubblicato, tra l'ottobre del 1949 e il marzo del 1950, *L'inferno di Topolino*, opera del geniale Guido Martina (si tratta di un vero e proprio poema in terzine dantesche), illustrato da Angelo Bioletto. Chissà quanti bambini avranno imparato ad amare Dante attraverso questa lettura, prima ancora che sui banchi di scuola. Da quel momento in poi numerose altre parodie sono state realizzate dagli autori italiani, da *Don Chisciotte* all'*Orlando Furioso*, dall'*Odissea* ai *Promessi Sposi*.

Negli ultimi anni le parodie Disney hanno conosciuto una rinnovata fortuna grazie al lavoro svolto da due poliedrici artisti, lo sceneggiatore Bruno Enna e il disegnatore Fabio Celoni, che hanno realizzato le versioni disneyane di *Dracula* di Bram Stoker e de *Lo strano caso del dottor Jekyll e del signor Hyde* di Robert Louis Stevenson. Due lavori brillanti e originalissimi, che tuttavia riescono a non tradire mai lo "spirito Disney", e che per questo hanno ricevuto numerosi riconoscimenti. Non è impresa di poco conto, infatti, riuscire ad affrontare le impegnative tematiche contenute in questi testi attraverso sensibilità, linguaggio e immagini adatte ai lettori di

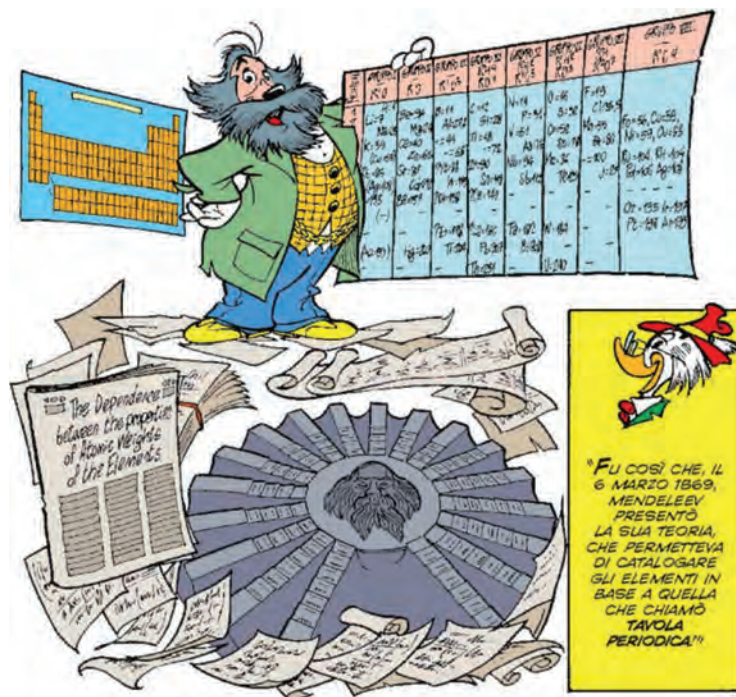


Fig. 4.

Topolino. Enna e Celoni, con il notevole apporto ai colori di Luca Merli, si sono quindi cimentati con la parodia di *Frankenstein* di Mary Shelley (per l'occasione diventato *Duckenstein* di Mary Shelduck), che ha visto la luce sui numeri 3179 e 3180 del 2016.

Forse non tutti sanno, probabilmente anche a causa delle numerose trasposizioni cinematografiche, che ci hanno fatto vedere Victor Frankenstein alle prese con fulmini e scariche elettriche nel suo laboratorio (una scena completamente assente nel romanzo), che una delle discipline centrali del romanzo è proprio la chimica e, insieme ad essa, l'alchimia [11]. Enna e Celoni non tradiscono le vicende della storia così come la concepì Mary Shelley e restituiscono all'alchimia e alla chimica il ruolo che gli spetta. Si scopre, quindi, che la storia incentrata su Victor Frankenstein, lo scienziato d'origine ginevrina (ma nato a Napoli nella versione definitiva del 1831), ossessionato dal sogno di infondere la vita in un corpo inanimato, non inizia nelle stanze di un laboratorio dotato di apparecchiature atte a imbrigliare l'elettricità, ma con una serie di lettere scritte alla sorella Margaret dal capitano Robert Walton, alla guida di una nave con l'obiettivo di effettuare delle ricerche scientifiche al Polo Nord. Certo, in *Duckenstein* i protagonisti della storia sono i paperi, e in questo caso il nostro capitano Ciccio Walton scrive alla «nonnina», e non alla sorella, ma la sostanza non cambia. L'impostazione è corretta e il racconto si sviluppa tenendo fede a tutta una serie di particolari presenti nel testo di Mary Shelley (la cui prima versione, ricordiamolo, uscì anonima nel 1818).

Il tema del viaggio era particolarmente importante per l'autrice di *Frankenstein*, la quale fin da piccola aveva avuto l'opportunità di restare incantata dai versi de *La ballata del vecchio marinaio* di Samuel T. Coleridge, abituale frequentatore della casa del padre, e citato in più di un'occasione nelle pagine del romanzo. A partire dal momento in cui Victor von Duckenstein, recuperato da Ciccio Walton tra i ghiacci dell'artico, comincia a raccontare la sua storia (che inizia correttamente con la nascita a Napoli), troviamo il giovane impegnato a studiare «i testi di Anatro Magno, che fondevano magia e studio sperimentale» e di «Papercelso, alchimista certo di poter animare l'inanimato». Dietro questi nomi si celano due grandi protagonisti dello studio della natura nel Medioevo e nel Rinascimento, Alberto Magno e Paracelso, esplicitamente citati nel romanzo da Victor Frankenstein fra le sue letture giovanili. Sì, perché nel romanzo, lo ripetiamo, più che con l'elettricità (che ha comunque un ruolo importante nella storia), il giovane Frankenstein si era trastullato con la magia e l'alchimia. Successi-



Fig. 5.

vamente, iscritti all'Università di Ingolstadt, Victor incontrerà due docenti, Krempe e Waldman, che avranno un'influenza decisiva nello sviluppo delle sue ricerche, facendogli comprendere l'inutilità dei precedenti studi alchemici. Allo stesso modo Duckenstein, giunto a Ingolstadt per volontà dello zio Paperon von Paper, entra in contatto con il professor Archrempe e il professor Picoldman, che lo indirizzano verso le meraviglie e la potenza della scienza, rafforzando in lui la speranza di poter realizzare il suo sogno: «Papercelso? Anatro Magno? Ogni istante passato su tali libri è irrimediabilmente perduto. Nessuno ti ha detto che le fantasie di cui ti nutri sono ammuffite e decrepite? Dov'è l'anatomia? Dove sono le ossa e i muscoli? Mancano le basi! Manca la disciplina scientifica».

Nel romanzo, sarà in particolare Waldman a influenzare le successive ricerche di Frankenstein. Non sarà inopportuno ricordare che dietro la figura di Waldman si cela la figura di Humphry Davy, il grande chimico in-

glesi ben conosciuto da Mary Shelley. E che Davy era molto amico di Coleridge, con il quale amava studiare chimica e scrivere poesie [8; 11]. Un magistrale esempio delle intersezioni fra scienza e letteratura, alla quali lo studio dei fumetti può dare un grande contributo, anche nel campo della storia della chimica. Della quale esiste, tra l'altro, anche un'ottima versione a fumetti [13].

BIBLIOGRAFIA

- [1] AMBROSIO, Stefano et alii. *Qui Quo Qua e la grande storia della chimica dei paperi*, in "Topolino" n. 2916, 12 ottobre 2011.
- [2] BARBIERI, Daniele. *Breve storia della letteratura a fumetti*, Carocci, Roma, 2009.
- [3] BECATTINI, Alberto. *Il fumetto disneyano tra mito, leggenda e realtà*, in *A bordo della cronosfera. I fumetti tra scienza, storia e filosofia*, a cura di M. Ciardi, Roma, Carocci, 2014, pp. 87-105.
- [4] BRESSANINI, Dario. *Paperino eroe per caso della chimica a fumetti*, in "Le Scienze", 416 (aprile), 2003.
- [5] CASTELLI, Alfredo. *Aspettando Yellow Kid. Il fumetto prima dell'industria del fumetto*, Lucca. Museo Italiano del Fumetto, 2004.
- [6] CIARDI, Marco. *Men of letters and science. The case of Xavier de Maistre*, in "Nuncius", 1997, XII, n. 2, pp. 447-469.
- [7] CIARDI, Marco. *Le metamorfosi di Atlantide. Storie scientifiche e immaginarie da Platone a Walt Disney*, Roma, Carocci, 2011.
- [8] CIARDI, Marco. *Galileo e Harry Potter. La magia può aiutare la scienza?* Roma, Carocci, 2014.
- [9] CIARDI, Marco. *Il mistero degli antichi astronauti*, Roma, Carocci, 2017.
- [10] CIARDI, Marco. *Benvenuti ad Atlantide. Passato e futuro di una città senza luogo*, Roma, Carocci, 2002.
- [11] CIARDI, Marco, Gaspa, Pier Luigi. *Frankenstein. Il mito fra scienza e immaginario*, Roma, Carocci, 2018.
- [12] GASPA, Pier Luigi, Giulio Giorello. *La scienza tra le nuvole. Da Pippo Newton a Mr Fantastic*, Milano, Raffaello Cortina Editore, 2007.
- [13] NOVELLI, Luca, Cinzia Ghigliano. *La storia della chimica a fumetti*, Milano Libri, Milano, 1984.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 57-62
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La chimica e l'omeopatia: Liebig e Pannaria

MAURIZIO D'AURIA

Dipartimento di Scienze, Università della Basilicata, Potenza
E.mail: maurizio.dauria@unibas.it

Abstract – It describes the way in which homeopathy was considered by Liebig, who saw in this discipline a dangerous anti-scientific approach. According to Liebig, who builds on the theories set out by the founder of homeopathy, this discipline provides for the presence of a *vis vitalis* that has its own existence. Chemists of the time also made use of *vis vitalis* to indicate that nature used procedures to make natural products completely ignored by chemists. It was a manifestation of impotence, which will gradually disappear with the birth and development of organic chemistry. Liebig then criticizes homeopathy for the idea that the drug's activity increases with dilution until it reaches infinite dilution, and with shaking. Francesco Pannaria, also a chemist, who, in the early sixties, tried to give a theoretical arrangement to this medical practice. He hypothesized that the supposed activity of the homeopathic drug following dilution depends on the fact that a supramolecular organization remains in the solvent that negatively simulates the structure of the drug. And that this «footprint» does not diminish with dilution. In the same way he tries to justify the action of the shaking as a dynamic activation of the drug. Pannaria's theories have also influenced recent theories relating to homeopathy such as those of the «memory of water».

Keywords: Homeopathy, Liebig, Pannaria

Riassunto – Viene descritto il modo in cui l'omeopatia è stata considerata da Liebig, che ha visto in questa disciplina un approccio antiscientifico pericoloso. Secondo Liebig, che prende le mosse dalle teorie esposte dal fondatore dell'omeopatia, questa disciplina prevede la presenza di una *vis vitalis* che ha una esistenza propria. Anche i chimici dell'epoca facevano uso della *vis vitalis* per indicare che la natura utilizzava procedure per fare i prodotti naturali completamente ignorate dai chimici. Era una manifestazione di impotenza, che con la nascita e lo sviluppo della chimica organica progressivamente sparirà. Liebig rimprovera poi all'omeopatia l'idea che l'attività del farmaco cresca con la diluizione fino ad arrivare a diluizione infinita, e con lo scuotimento. Francesco Pannaria, anche lui chimico, che, all'inizio degli anni sessanta, provò a dare una sistemazione teorica a questa pratica medica. Ipotizzò che la supposta attività del farmaco omeopatico in seguito a diluizione dipenda dal fatto che rimanga nel solvente un'organizzazione supramolecolare che simula in negativo la struttura del farmaco. E che questa «impronta» non diminuisca con la diluizione. Allo stesso modo cerca di giustificare l'azione dello scuotimento come attivazione dinamica del farmaco. Le teorie di Pannaria hanno influenzato anche teorie recenti relative all'omeopatia come quelle della «memoria dell'acqua».

Parole chiave: Omeopatia, Liebig, Pannaria

1. Introduzione

Quante volte, parlando con amici o conoscenti, vi siete sentiti dire che non ci si poteva fidare della medicina tradizionale, governata dalle multinazionali, e che era meglio curarsi con l'omeopatia, più naturale? Probabilmente molte volte; potrebbe essere che anche molti di voi siano convinti sostenitori di queste affermazioni e che vi curiate utilizzando rimedi omeopatici.

Personalmente sono sempre stato molto scettico su questo «metodo di cura», tra l'altro proprio per il fatto che nella maggioranza dei casi non utilizza prodotti «naturali». Devo dire, però, che ero prevenuto: molti anni fa, un mio zio, monaco benedettino, bibliotecario presso l'Imperiale Abbazia di Farfa, affetto da una cardiopatia, l'angina pectoris, oltre ad essere diabetico, mi informò che aveva cominciato una cura omeopatica della sua malattia. Io cercai di convincerlo a non interrompere la cura tradizionale, ma, semmai, a sovrapporre i due trattamenti. Non ci riuscii, e dopo alcune settimane ricevetti la notizia che mio zio era stato trovato morto nella sua stanza. Non ero, quindi, bendisposto verso questa procedura.

Ho pensato che fosse doveroso affrontare il problema in maniera seria, ricorrendo all'esame delle fonti, se necessario. Molti anni di ricerca mi hanno convinto che bisogna sempre andare alle fonti originali di un certo risultato. Non si può mai sapere come questo risultato sia stato riportato nella letteratura successiva. In questo articolo vorrei ripercorrere i testi originali del fondatore dell'omeopatia.

2. L'omeopatia nelle parole del fondatore

L'omeopatia viene fondata da C. F. S. Hahnemann (Fig. 1) intorno al 1810. Hahnemann era nato a Meissen nel 1755. Studia medicina prima a Lipsia e poi a Erlangen dove di laurea nel 1779. Per il seguito della storia farò riferimento a quanto scritto da Marco Fontani e Mariagrazia Costa [6]. Hahnemann aveva cominciato la sua carriera come chimico. Con qualche problema. Infatti, aveva annunciato la scoperta di un nuovo elemento con proprietà curative. Aveva aperto un negozio e l'elemento (chiamato pneumalkali) era stato messo in vendita a caro prezzo. Le analisi del nuovo elemento rivelarono che si trattava di borace, una sostanza che costava pochi soldi. Hahnemann fu costretto a ritrattare la sua "scoperta" pubblicamente. La sua carriera come chimico era definitivamente finita. Per questo pensò di passare ad un'altra branca della scienza, in quel momento ai primi passi, e si dedicò alla medicina.

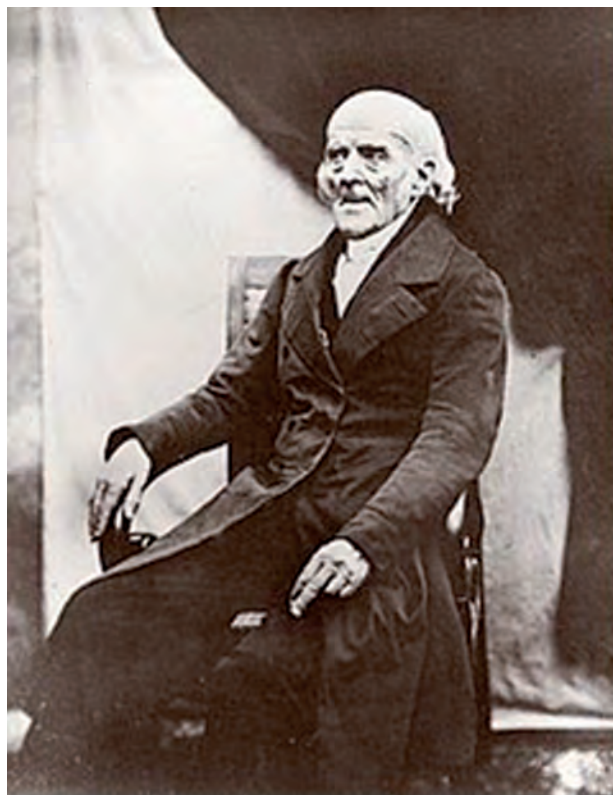


Fig. 1. C. F. S. Hahnemann.

Cerchiamo di capire il nucleo centrale della sua teoria. «La malattia naturale non si deve mai considerare come una qualche *materia* dannosa, avente sede nell'interno dell'organismo o esternamente ad esso, ma come l'effetto di una potenza immateriale, nemica, che disturba, come una specie di contagio, il principio vitale, dominante misterioso in tutto l'organismo, nelle sue funzioni istintive, e che, quale spirito maligno, tormenta e costringe a generare, nel corso della vita, certi mali e disordini, che si chiamano (sintomi) malattie. Ma se al principio vitale viene tolta la sensazione dell'azione dell'agente nemico, che cercava di portare e sostenere una alterazione, in altre parole se il medico fa agire sul malato una potenza artificiale (medicina omeopatica), capace di portare modificazioni patogene simillime sul principio vitale, che superi sempre, anche in dose minima, la forza della malattia naturale simile, la sensazione dell'agente patogeno primitivo viene a cessare per il principio vitale, per l'azione di questa malattia artificiale simile più forte. Da questo momento il male non esiste più per il principio vitale, è distrutto» [8].

Cerchiamo di capire questo testo. La malattia è qualcosa di immateriale, non ha cause precise; in un altro

punto Hahnemann precisa che non possiamo conoscere le cause delle malattie, ma solo le sue manifestazioni (i sintomi). La malattia altera il principio vitale (o forza vitale), altro ente immateriale. La cura consiste nel confondere il principio vitale provocando artificialmente dei sintomi uguali a quelli della malattia. In realtà, Hahnemann nella sua teoria fa man bassa di alcune ipotesi chimiche comuni alla sua epoca. La forza vitale o principio vitale era stata proposta da Berzelius all'inizio dell'ottocento per giustificare la differenza che si osservava fra i composti inorganici, che si potevano rifare, e i composti organici, che i chimici dell'epoca non erano in grado di sintetizzare. I composti organici erano il prodotto di un organismo vivo e la chimica non li poteva riprodurre, perché non ne conosceva i meccanismi.

Altro principio chimico è: il simile scioglie il simile. Un composto polare si scioglie in un solvente polare, uno apolare in un solvente con caratteristiche simili. Hahnemann usa principi derivanti dall'esperienza e li ipostatizza facendoli diventare essenze immateriali.

Le cure omeopatiche vengono realizzate utilizzando sostanze in grado di riprodurre sintomi simili a quelli che si osservano nella malattia, utilizzando soluzioni estremamente diluite, tali da far sì che neanche una molecola di sostanza sia presente nella soluzione. Le soluzioni, per essere attive, devono essere «dinamizzate», mediante scuotimento.

La diluizione dei principi omeopatici è uno dei fattori che manda in bestia i chimici perché va in urto con il numero di Avogadro. Però le persone non addette al settore fanno fatica a comprendere l'importanza di questo fatto. Il numero di Avogadro (6.02×10^{23}) rappresenta il numero di molecole di una sostanza contenute in una quantità di quella sostanza pari al suo peso molecolare.

Per capire cosa c'entra con l'omeopatia prendo in prestito la descrizione del problema che ne ha fatto Gaudiano: «Il numero di Avogadro è la bestia nera degli omeopati. (...) Le dosi omeopatiche si preparano a partire da una soluzione madre concentrata (acquosa o alcolica) del principio tossico (per es. una tintura vegetale). Questa viene diluita 1:10 (cioè 10 volte) con acqua (talora alcol o lattosio); la soluzione diluita viene agitata fortemente per almeno 100 volte (queste «succussioni» sono essenziali – secondo gli omeopati – perché causano la «dinamizzazione» del medicamento omeopatico. La soluzione diluita dinamizzata viene diluita ancora 1:10 e poi dinamizzata come prima. Si procede a successive diluizioni e dinamizzazioni fino al numero prescritto di volte (alcune decine e talora centinaia). In certi casi si fanno diluizioni 1:100, sempre seguite da dinamizzazio-

ni. Le diluizioni decimali si indicano con D (o DH), quelle centesimali con C (o CH) (...); per es. 50 D indica una soluzione ottenuta con 50 diluizioni decimali; 120 C indica una soluzione ottenuta con 120 soluzioni centesimali. È facile calcolare che al di là della 24 D (o della 12 C) si supera il numero di Avogadro, cioè la soluzione non contiene più neanche una molecola della sostanza di partenza» [7].

3. L'omeopatia vista da Liebig

Esaminiamo cosa ne pensava Liebig, un famoso chimico organico dell'ottocento, in una sua opera del 1851 (Fig. 2). Anche lui usa il concetto di forza vitale, ma vediamo come: «Le parti costituenti dei tessuti animali e vegetali si producono sotto l'impero della forza vitale; questa forza determina la direzione, in cui si attirano gli

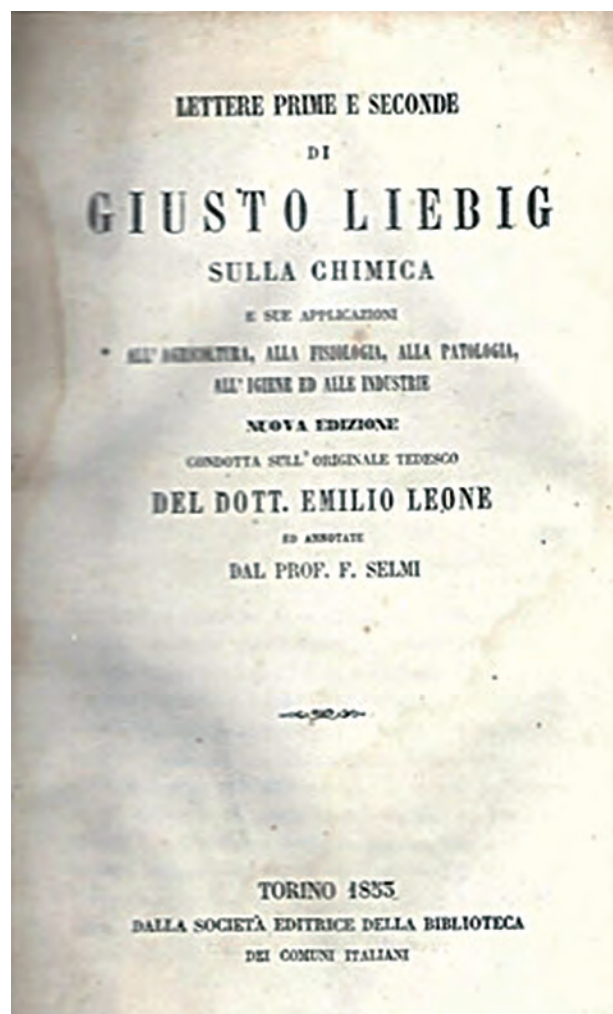


Fig. 2. Frontespizio del testo esaminato in questo articolo.

elementi di queste parti. La forza vitale è dunque un agente motore, atto a comunicare il moto agli atomi in quiete (...). Noi possiamo benissimo ridisciogliere, o liquefare l'albumina coagulata dal calore, ma la forza vitale ha sola il potere di restituire ai gruppi molecolari dell'albumina la disposizione primitiva, che loro è propria nell'uovo. Nell'economia animale, l'albumina e la carne, cotte, si trasformano di bel nuovo in albumina, in carne, in sangue» [9].

La forza vitale non è un ente sovrannaturale: è solo la constatazione di non essere in grado di rifare artificialmente quello che un corpo vivo è in grado di fare.

Liebig attacca l'omeopatia. Non lo fa certo per puro amore della scienza. Liebig è impegnato a promuovere l'utilizzo del suo estratto di carne come integratore alimentare, e forse non ha trovato spazio nel mondo dei medici omeopatici. Vediamo però cosa scrive: «... dopo aver inventato la parola forza vitale, essi non vi scorgono più fuorché un so che di miracoloso, col quale si rendono ragione di tutti i fenomeni che non possono comprendere. A questo modo si spiega tutto ciò che non si capisce col mezzo di altra cosa incomprensibile, ed altrettanto indefinita». E ancora: «Chi può affermare che la maggior parte degli scienziati della nostra età, nella cognizione della natura e delle sue forze siano assai più avanti che gli iatrochimici del secolo XVI, al vedere come le centinaia di medici allevati nelle nostre Università adottino, come verità, massime spoglie di ogni esperienza e che fanno a pugni col senso comune? Uomini i quali credono che gli effetti dei medicamenti derivino da certe forze o qualità le quali possano essere messe in moto ed accrescersi con l'attrito e colle scosse, e trasmettersi ad una sostanza inerte; uomini, i quali credono che una legge di natura, che non ammette eccezione, sia falsa in ordine alle sostanze medicinali, poiché pensano che l'attività di queste possa crescere con l'assottigliarsi o col diminuirsi della sostanza attiva? Veramente si è tentati a credere che la medicina, fra le scienze naturali, occupi l'ultimo posto come scienza induttiva» [9].

La disamina che Liebig fa degli errori concettuali presenti nella teoria omeopatica è disarmante per la sua semplicità e chiarezza. Non ho voglia di aggiungere altro.

4. L'omeopatia vista da Pannaria

Vediamo ora un approccio completamente opposto. Quello proposto da Francesco Pannaria all'inizio degli anni '60 e che è rimasto fino ad ora come l'approccio più moderno alla dimostrazione "scientifica" del modo di funzionare dell'omeopatia. Il Pannaria ha una storia

complessa. Giovane valente, durante la prima guerra mondiale, al fronte, incontra Francesco Severi, matematico, che lo convince a rivolgersi a studi scientifici. Finita la guerra, nel 1922 si laurea in Economia e nel 1925 in Chimica. Come chimico, lavora per qualche anno nell'Istituto di Chimica di via Panisperna, ma da questo istituto viene allontanato nel 1927, con l'offerta di un posto importante presso l'Istituto Sperimentale delle Ferrovie dello Stato. Lì si occupa di metalli.

Dopo la Seconda guerra mondiale comincia un'attività di pubblicista con molte riviste chimiche e di divulgazione, come, per esempio, *Civiltà delle Macchine*. È in questo periodo che elabora con Severi una teoria innovativa in campo fisico che troverà la sua formulazione definitiva solo nel 1963, in un articolo pubblicato sugli Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei [11]. Va notato che i Lincei pubblicano l'articolo precedendolo da una nota che esprime il disaccordo di coloro che avevano discusso la teoria esposta dal contenuto dell'articolo stesso (cioè da tutto il gruppo fisico dei Lincei). Prima di questa formulazione ci sono molti articoli in cui Pannaria espone nel corso del tempo la sua teoria. La teoria che non stiamo qui a spiegare perché non strettamente inerente il tema di questo articolo, non ha un grande successo. Semplicemente viene ignorata. Pannaria ha modo di lamentarsene paragonandosi ad Avogadro che, per cinquant'anni, fu ignorato fino alla riscoperta da parte di Cannizzaro. Tuttavia, nel 1960 si presta, insieme a Severi che la approva, ad un tentativo di estensione della loro ipotesi teorica al fine di spiegare i fondamenti dell'omeopatia.

Pannaria si occupa del problema connesso alla supposta attività dei medicamenti omeopatici a bassa, bassissima concentrazione. «Indipendentemente dalla massa, le molecole ... si dispongono nella stessa guisa. È perciò necessario riconoscere un effetto *ordinante*, sulle molecole, che nel caso di un gas ha per sfondo il vuoto e nel caso dell'acqua o d'altro, in cui le molecole sono solute, ha per sfondo il liquido solvente. (...) L'«effetto ordinante» ... che evidentemente non può annullarsi ovvero scomparire, o agirà sulle poche molecole restanti, o, se di queste non ve ne sono più, agirà similmente, al come avrebbe agito sulle molecole, non appena si porrà in contatto con sostanze inorganiche, organiche o microrganiche. (...) *Nelle operazioni di apprestamento dei preparati omeopatici la energia di attivazione, specificata dalle attenuazioni sostanziali, proviene dal vuoto (dal vuoto della materia combinata del nostro mondo e di forze newtoniane)*. Questa energia, con quel tal metodo omeopatico attivata e specificata, la diremo *energia di valuta*

omeopatica: l'arsenico di valuta omeopatica, farmaco della pelle rispetto all'arsenico allopatico delle eruzioni cutanee, è l'*antiparticella* (antiarsenico) della *particella* (arsenico), ciascuna con proprietà di antitesi a confronto dell'altra. È come se sullo sfondo liquido da cui per successive interazioni-diluizioni (potentizzazioni-attenuazioni) si sono estratte le molecole e si sono estratti gli ioni, permanesse un'impronta che dà all'energia suscitata e proveniente dal vuoto la valuta dell'antimolecola virtuale e quindi una funzione antitetica a quella sostanziale e attuale della molecola» [10]. Due considerazioni. È impossibile non connettere questa teoria a quella della memoria dell'acqua, resa tristemente famosa da un articolo pubblicato su *Nature* e poi risultato non riproducibile [4]. È da notare anche una modificazione sostanziale della teoria omeopatica, modificazione che viene fatta propria dalle moderne concezioni relative all'omeopatia [1]; si ignora il ruolo del farmaco come ingannatore di una fantomatica forza vitale ma si afferma una inversione di attività del farmaco omeopatico a bassa diluizione (tutto questo, ovviamente, senza nessuna prova sperimentale).

Continua Pannaria: «... l'antiparticella ICaN (della particella NaCl) avida di materialità nel modo spiegato, non potendo ripristinare la molecola NaCl scissa in ioni nella direzione entropica (...) diviene parassita della materialità di sfondo che ha operato la scissione, e cioè dell'H₂O. In questa avidità insoddisfatta, al ripristino dell'NaCl, del rovescio (ICaN) di NaCl, consiste la proprietà antitetica dell'attenuazione degli Na⁺-Cl⁻ rispetto alla soluzione-madre (soluzione concentrata) di NaCl. A questo punto ci si può chiedere se con le attenuazioni e quindi con le diluizioni, non diminuisca anche la concentrazione in antiparticelle dello sfondo H₂O. (...) Le diluizioni dello «sfondo» non attenuano la funzionalità dell'antiparticella, e le «potentizzazioni» (...) sono accumulamenti di energia che legano sempre di più l'antiparticella allo sfondo: perciò la potenza dello sfondo e la funzionalità dell'antiparticella sono indipendenti dalla quantità H₂O» [10]. A parte il fatto che la frase su riportata non spiega nulla (è una mera affermazione senza prove) non si capisce perché, al contrario, per i medici omeopatici, l'aumento di diluizione porta ad un incremento di attività.

Ma perché il farmaco omeopatico funziona? «Affinchè si produca una reazione chimica (di scena) occorrono delle condizioni che suscitino l'antireazione alchimica (di retroscena). Ciò vuol dire che ad ogni reazione chimica corrisponde ed è correlativa un'antireazione

chimica. L'omeopatia fruisce dell'antireazione (come l'allopattia fruisce della reazione); le operazioni, le preparazioni omeopatiche fissano l'antireazione su un certo sfondo e propinando questo sfondo si propinano le proprietà delle antiparticelle partecipi all'antireazione. (...) L'antiparticella una funzione antitetica a quella della particella e quindi proprietà opposte anche dal lato terapeutico» [10]. Sparisce l'ingannamento originario del fondatore dell'omeopatia e si preferisce l'antireazione dell'antiparticella, tema sicuramente più moderno. Quello che personalmente mi fa riflettere è la totale mancanza di riferimenti sperimentali a supporto di una teoria così arida.

L'altro tema trattato da Pannaria è la succussione. Che cosa è? Prendiamo in prestito le parole di Burioni [2]: «siccome Hahenemann si era accorto che le sue «medicine» diluite erano più efficaci quando le somministrava ai pazienti dopo una visita a domicilio, preceduta da un viaggio a cavallo o in calesse (...), stabilì la regola secondo la quale le «medicine» omeopatiche devono essere preparate non solo diluendole, ma anche agitandole dopo ogni diluizione. Questo procedimento, detto «succussione», è considerato tanto cruciale da essere descritto con precisione nel testo base degli omeopati, l'*Organon*. La succussione deve essere rigorosamente operata battendo per cento volte il recipiente dove si diluisce il preparato su un libro rilegato in pelle oppure una tavola di legno ricoperta da un lato con della pelle e dall'altro con del crine di cavallo». Come spiega questa pratica Pannaria? «Le succussioni che si susseguono (...) legano, per quanto più sono numerose, l'antiparticella allo sfondo totale diluente e disperdente; e legano quest'ultimo all'energia del cronotopo del principio di scambio, e cioè alla energia di scambio mondo-antimondo o energia del vuoto (...). Donde ne deriva che le succussioni servono – per quanto più se ne opera – a rendere sempre più energetica la funzione di antitesi dell'antiparticella o quel che gli omeopatici chiamano dinamizzazione» [10].

5. Conclusioni

Due approcci completamente diversi allo stesso problema, due approcci originati da due chimici in epoche diverse. Io sono di parte, l'ho ammesso subito, ma la non scientificità dell'approccio di Pannaria salta agli occhi. Quello che meraviglia è che ancora oggi possiamo trovare epigoni di Pannaria, che espongono in rete e su rare pubblicazioni queste stesse teorie [3,5].

BIBLIOGRAFIA

- [1] BELLAVITE Paolo, Andrea SIGNORINI, *Fondamento teorici e sperimentali della medicina omeopatica*. Nuova Ipsa Editore, Palermo, 1993.
- [2] BURIONI Roberto, *Omeopatia – Bugie, leggende e verità*. Rizzoli, Milano, 2019.
- [3] CARDELLA Claudio, *La Fisica dell'Omeopatia*. <https://omeopatia.org/download/seminario-rey/CARDELLA-La-Fisica-dell-Omeopatia.pdf>
- [4] DAVENAS Elizabeth, Francis BEAUVAIS, Judith AMARA *et al.* *Human basophil degranulation triggered by very dilute anti-serum against IgE*. *Nature* 333, 816-818 (1988). <https://doi.org/10.1038/333816a0>
- [5] DE GIORGIO Giovanni, *La ricerca scientifica sull'omeopatia: una realtà su cui riflettere*. https://www.roversatoweb.it/consigli_del_farmacista/43.htm.
- [6] FONTANI Marco, Mariagrazia COSTA, *De reditu eorum. Sulle tracce degli elementi scomparsi*. Roma, 2009.
- [7] GAUDIANO Aldo, *Storia della Chimica e della Farmacia in Italia dalle più lontane origini ai primi anni del duemila*, Aracne, Roma, 2008.
- [8] HAHNEMANN Christian Friedrich Samuel, *Organon dell'arte del guarire*, tradotto da RICCAMPONI Giuseppe, Red Edizioni, Como, 1985. Edizione anastatica dell'edizione del 1941 della C.E.L.A.S. di Belluno sulla base della sesta edizione dell'opera, pubblicata postuma nel 1921 a Lipsia.
- [9] LIEBIG Justus, *Lettere prime e seconde di Giusto Liebig sulla chimica*, Torino, 1853, traduzione di E. Leone, note di F. Selmi.
- [10] PANNARIA Francesco, *Omeopatia e fisica nuova*. in LODISPOTO Alberto, *Storia dell'omeopatia in Italia*, Istituto di Storia della Medicina dell'Università di Roma, Roma, 1961, pp. 441-479.
- [11] PANNARIA Francesco, Francesco SEVERI, *Aspetti e scambi della materia*. Atti dell'Accademia Nazionale dei Lincei, Serie VIII, 1963, vol. VI, Sezione II, p. 9.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 63-68
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La produzione di acido citrico da Scheele ai chimici dell'Arenella di Palermo

ANTONELLA M. MAGGIO* – ROBERTO ZINGALES**

* Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche Chimiche e Farmaceutiche (STEBICEF), Università degli Studi di Palermo • E.mail: antonella.maggio@unipa.it

** Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica
E.mail: robertozingales@outlook.it

Abstract – Citric acid is the organic acid of greatest industrial interest. Nowadays it is mainly obtained through the fermentation of raw sugars (e.g. molasses and corn starch) by the *Aspergillus niger* mould. For about a century, however, it was produced in Sicily from lemon juice.

In 1909, the Società Anonima Fabbrica Italiana Goldenberg was established, which was subsequently called the Fabbrica Chimica Arenella and, for over thirty years, was able to support the world's citric acid needs.

The present contribution will trace the history of the production of citric acid, from lemon juice, according to Scheele's method, and subsequently at the Chimica Arenella in Palermo, up to the crisis following the Second World War determined by the introduction of biochemical methods.

Keywords: Citric acid, Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), Chimica Arenella, Sicilia

Riassunto – L'acido citrico è l'acido organico di maggiore interesse industriale. Oggi viene ottenuto prevalentemente attraverso la fermentazione degli zuccheri grezzi (es. melassa e amido di mais) da parte della muffa *Aspergillus niger*. Per circa un secolo esso però venne prodotto, in Sicilia, su scala industriale isolandolo, con metodi chimici, dall'agrococto, il succo di limone concentrato.

Nel 1909 fu costituita la Società Anonima Fabbrica Italiana Goldenberg, che successivamente fu denominata Fabbrica Chimica Arenella e, che per oltre trent'anni, sarebbe stata in grado di sostenere il fabbisogno di acido citrico mondiale.

In questo contributo verrà tracciata la storia della produzione di acido citrico, dal succo di limone, secondo il metodo di Scheele, e successivamente negli impianti della Chimica Arenella di Palermo, fino alla crisi successiva alla Seconda Guerra Mondiale determinata dall'introduzione dei metodi di produzione per fermentazione.

Parole chiave: Acido Citrico, Karl Wilhelm Scheele, Chimica Arenella, Sicilia

Produzione artigianale dell'acido citrico

L'acido citrico è uno degli acidi carbossilici di maggiore interesse industriale. Da una parte, la crescente inclinazione al consumo di cibi e bevande confezionati, e, dall'altra, la crescente domanda di prodotti biodegradabili, determinerà in futuro un aumento della produzione mondiale annua, che attualmente è di circa 2 milioni di tonnellate [3].

L'acido citrico è un acido tricarbossilico. È presente naturalmente in una varietà di frutta e verdura, in particolare negli agrumi del genere *Citrus*, da cui prende il nome. Limoni e lime ne contengono in concentrazioni particolarmente elevate, fino all'8% del peso secco [7].

È uno degli additivi più importante nell'industria alimentare. È impiegato sia come conservante per le sue proprietà antibatteriche, sia come aromatizzante. Viene usato per la preparazione di bibite e succhi di frutta, marmellate e gelatine, caramelle, dolci alla frutta. Viene aggiunto a verdure e carne in scatola e congelate.

Come agente chelante, l'acido citrico si lega agli ioni metallici e ne aumenta la solubilità. Viene quindi utilizzato per la manutenzione di caldaie ed evaporatori. È efficace nel solubilizzare la ruggine dall'acciaio.

Aumenta la schiumosità e l'efficacia pulente dei saponi nelle acque dure, e agisce come principio attivo per sciogliere macchie, cere e oli.

Nell'industria farmaceutica, l'acido citrico monoidrato è la materia prima di molti prodotti, come l'acido citrico piperazina (lumbricida), il citrato di ammonio ferrico (tonico del sangue), il citrato di sodio (farmaceutico per la trasfusione di sangue). Inoltre, l'acido citrico è anche usato come acidificante in molti prodotti farmaceutici.

L'acido citrico venne isolato per la prima volta dal chimico svedese Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) dal succo di limone [8], che ebbe modo di utilizzare grazie ad un metodo messo a punto dal collega J. C. Georgii [3], che ne consentiva il trasporto, dai paesi di produzione, sino alla lontana Svezia, senza subire alterazioni. Scheele fece evaporare il succo fino alla consistenza del miele e successivamente lo estrasse con etanolo, ottenendo una sostanza appiccicosa. Una volta eliminato l'etanolo per distillazione, Scheele si aspettava di ottenere una sostanza pura, che però non cristallizzava. Aggiunse quindi calce e ottenne un precipitato, che aveva un sapore amaro ed era solubile sia in acqua che in etanolo. Scheele mise quindi a punto il procedimento (espresso in moderne unità metriche) per ottenere acido citrico: *2.6 l di succo di limone vengono fatti bollire su un bagno di sabbia. A questi vengono aggiunti 130 g di carbonato di*

calcio in porzioni fino alla cessazione dell'effervescenza. La miscela viene lasciata raffreddare fino a che si completi la precipitazione (calcio citrato; Calx citrata). Il liquido surnatante viene travasato e il precipitato lavato con piccole porzioni di acqua fino a che l'acqua rimane incolore. A questa polvere vengono aggiunti 146 g di acido solforico concentrato, diluito con 10 volumi di acqua. La miscela è fatta bollire per 15 minuti, si filtra il solfato di calcio (gesso) e si aggiunge altro acido se la soluzione da ancora un precipitato con una goccia di acido solforico (cioè se contiene ancora calcio). L'evaporazione su un piatto di porcellana su sabbia calda permette la cristallizzazione dell'acido, che potrebbe anche essere cristallizzato lasciando la soluzione concentrata in una stanza fresca.

Da 2.6 l di succo di limone Scheele ottenne circa 100 g di acido puro, e il metodo funzionava anche con succo adulterato per aggiunta di acido solforico o ricoperto di muffa.

L'acido citrico di sintesi fu ottenuto la prima volta da Grimoux e Adams [4] dal glicerolo e successivamente trattando il dicloroacetone simmetrico (1,3-dicloroacetone) con acido cianidrico e acido cloridrico per dare acido dicloroacetico, poi convertito in acido dicianoacetico con cianuro di potassio. Da quest'ultimo, per idrolisi, acido citrico.

Il metodo venne usato da John e Edmund Sturge in Inghilterra dal 1823 in poi per produrre acido citrico commerciale. Prima della fine del secolo, si era affermato anche in Francia e Germania. Tuttavia non risultò mai competitivo rispetto alla produzione di citrato di calcio di produzione italiana derivato dal succo di limone e lime della Martinica, soprattutto quando nel 1920 anche gli italiani iniziarono a produrre acido citrico.

Nonostante ciò, da allora, furono pubblicati altri percorsi sintetici a partire da diverse sostanze, che, però, si rivelarono o inadatti o non competitivi.

Dalla seconda metà dell'Ottocento infatti era iniziato a Palermo un parziale sfruttamento delle principali materie prime disponibili nel territorio siciliano, fra cui gli agrumi per la preparazione dell'acido citrico. Inizialmente, era stata avviata soltanto la prima fase del processo messo a punto da Scheele, la preparazione dell'agrocotto (succo di limone concentrato), da parte di alcune piccole fabbriche artigiane, spesso installate nei siti di produzione, e attive solo nel periodo della raccolta degli agrumi.

L'agrocotto era ottenuto per riscaldamento in caldaie dell'agro crudo, il succo ottenuto dalla spremitura dei limoni per mezzo di torchi, fino a quando il suo volume si riduceva a un decimo di quello originario. Nel processo, parte dell'acido si carbonizzava e la resa era del 70%,

con un contenuto di acido citrico del 25-50% in peso. L'agrocotto così ottenuto era poi esportato, perché, richiedendo grandi quantità di energia, era più conveniente condurre il processo di conversione a citrato e poi ad acido nei paesi nei quali il combustibile aveva un costo minore.

Processi industriali per la produzione di acido citrico in Sicilia

La meccanizzazione delle tecniche e delle procedure permise, intorno alla seconda metà dell'Ottocento di produrre in Sicilia citrato su scala industriale. Inoltre, l'agro crudo era lasciato a fermentare per tre o più giorni, durante i quali i solidi sospesi e le impurezze precipitavano, e tutto lo zucchero si trasformava in alcool etilico, che poteva essere recuperato con una semplice colonna di distillazione, durante la preparazione dell'agrocotto. La fermentazione andava controllata molto accuratamente, per evitare la degradazione dell'acido citrico.

Successivamente, l'agrocotto si saturava con carbonato di calcio o calce, precipitava a caldo il citrato, che era recuperato per filtrazione. Si otteneva un prodotto giallastro, in zolle o polvere, che conteneva dal 62 al 65% in peso di acido citrico.

La Chimica Arenella

Nel 1908 fu istituita a Messina una Camera Agrumaria per disciplinare e sviluppare il commercio di agrumi e derivati, stabilirne il prezzo e presentarsi come unico interlocutore agli acquirenti stranieri.

Con la convinzione che la Camera agrumaria, al mo-

mento di decidere il prezzo del citrato, avrebbe favorito un'azienda che produceva in Sicilia, nel 1909, un gruppo di imprenditori italiani e stranieri, che intendeva penetrare nel mercato siciliano, costituì a Milano la Società Anonima Fabbrica Italiana Goldenberg, con sede a Messina, con lo scopo di ricavare acido citrico dagli agrumi, acido solforico dallo zolfo, cremor di tartaro dalla feccia dell'uva, e altri prodotti chimici.

Per realizzare la Fabbrica, furono acquistati circa 70.000 m² di terreni, lungo, il litorale, nella borgata dell'Arenella, alla periferia nord-occidentale di Palermo. La sua costruzione fu iniziata nel 1910, e completata nel febbraio del 1913 (Fig. 1).

La produzione dell'acido citrico iniziò nel 1910 in un locale provvisorio, messo a disposizione dalla ditta Hamnett, che produceva citrato. La Direzione e gli operai erano tedeschi, vista la mancanza di operai siciliani pratici di queste lavorazioni.

La fabbrica era organizzata in tre isolati, uno destinato alla produzione dell'acido solforico, con annesso un piccolo impianto per l'acido nitrico necessario a questo processo; un altro, il più vasto, destinato alle lavorazioni dell'acido citrico e del cremor di tartaro, poi dotato di un impianto frigorifero con diverse celle, per facilitare la cristallizzazione dell'acido citrico. Infine, l'isolato centrale ospitava il magazzino scorte, l'officina bottai, l'officina meccanica, la sala delle motrici, dinamo e compressori, le caldaie, oltre agli uffici e alle abitazioni. Un sistema interno di binari consentiva il trasporto delle materie prime e dei prodotti verso un pontile in cemento armato, da dove, con un rimorchiatore e barcacce proprie, erano trasferiti alle navi da carico. L'acqua dolce, indispensabile alla produzione del cremore, arrivava dalla sorgente di



Fig. 1. Prospetto della Chimica Arenella in una foto dei primi del 1900 e attualmente (foto di proprietà degli autori).



Fig. 2. Resti dei binari per il trasporto delle merci e del serbatoio per l'acqua dolce (foto di proprietà degli autori).

Maredolce, alla periferia orientale della città, attraverso una condotta in ghisa costruita nel 1916 (Fig. 2).

La produzione degli acidi citrico e solforico iniziò nel nuovo stabilimento Nel gennaio 1913, dalla combustione dello zolfo in forni di ghisa a padelle, si otteneva l'anidride solforosa, poi convertita in acido solforico.

Nel 1915, per non essere posta in amministrazione controllata come bene tedesco, la Fabbrica cambiò la ragione sociale e il nome in Fabbrica Chimica Arenella; fu depositato alla Prefettura di Palermo il marchio della Società Anonima Fabbrica Chimica Arenella, per etichettare le confezioni degli acidi citrico, solforico e nitrico, e del cremor di tartaro. Allo scoppio della guerra, esisteva personale locale, abile e competente, che fu in grado di sostituire il personale tedesco, richiamato alle armi.

Nel corso della guerra, l'accresciuta necessità di medicinali e disinfettanti costrinse la fabbrica a costruire un nuovo impianto, capace di produrre 28000 kg/24 h

di acido solforico 60 °Bé, per aumentare la produzione degli acidi citrico e tartarico.

Il procedimento per ottenere l'acido citrico, prima effettuato in Inghilterra e in Germania, consisteva nello spappolare il citrato di calcio in acqua e decomporlo con un leggero eccesso di acido solforico. Si allontanava per filtrazione il solfato di calcio, e il filtrato si concentrava sotto vuoto. Si otteneva una massa densa e bruna, che era posta nei tini, dove, per agitazione, si formavano dei piccoli cristalli ("cristalli scuri di prima"), che erano separati dalla soluzione madre e lavati in centrifughe a pagniere. Le acque madri erano ulteriormente trattate, per recuperare quanto più prodotto possibile.

I cristalli erano impuri per la presenza di residui della materia prima di partenza e di metalli derivanti anche dal processo di lavorazione. Il processo di purificazione consisteva nella solubilizzazione in acqua dei cristalli e nel trattare la soluzione ottenuta, prima con carbone vegetale, e poi con idrogeno solforato o un solfuro alcalino

(più tardi con ferrocianuro di potassio o di calcio), per precipitare i metalli pesanti. Per concentrazione sotto vuoto della soluzione incolore così ottenuta, si separavano i "cristalli bianchi di prima", che erano centrifugati, lavati e sciolti in acqua distillata. Il processo era ripetuto una seconda volta e i cristalli ottenuti erano venduti come acido citrico cristallizzato.

Poiché l'acido citrico prodotto con questi metodi diretti comportava un aumento dei tempi e dei costi di produzione, vennero messi a punto metodi in cui si separavano le impurezze per precipitazione, per esempio con una miscela alcol/etere, come nel processo Peratoner-Sgarlata, recuperando poi l'acido per cristallizzazione.

Il metodo messo a punto dal Dr. Restuccia presso la Scuola di Agricoltura di Milano consisteva nel separare le sostanze pectiche, gli albuminoidi e lo zucchero, filtrando e concentrando, fino a ottenere un liquido che conteneva da 95 a 105 g di acido citrico per 100 ml di soluzione. Dal liquido, si separava acido citrico chimicamente puro, esente da ferro, calcio e piombo, con una resa globale dell'85-90% dell'acido contenuto nel succo di limone. Il costo dei reattivi era insignificante, e, eliminato il passaggio attraverso il citrato di calcio, si risparmiavano lavoro ed energia, offrendo all'industria dell'acido citrico la possibilità di mettere salde e durature radici in Sicilia.

Nonostante le accuse infondate di connivenza con il nemico, il continuo arrivo di nuovo personale (per sostituire quello richiamato alle armi) e le difficoltà di approvvigionamento di alcune materie prime, la fabbrica ebbe un notevole sviluppo, fino a primeggiare nel suo campo in Europa: alla fine della guerra, la produzione annua era di circa 1000 t di acido citrico, 500 di cremor di tartaro e 3700 di acido solforico. Nonostante l'entrata in produzione, a Messina, nel 1921, di due fabbriche concorrenti, la ISAC e la SADA, e la riorganizzazione e l'ammodernamento della Goldenberg in Germania da parte di Neueberg, la Chimica Arenella mantenne il predominio, producendo da sola l'intero fabbisogno mondiale di acido citrico.

Come riconoscimento dell'attività svolta e apprezzamento dei risultati conseguiti, nel corso del Congresso di Palermo (1926), la Fabbrica ricevette la medaglia d'oro al merito industriale per aver voluto e saputo perfezionare, utilizzando gli studi del laboratorio scientifico di ricerche, i suoi metodi di lavoro e realizzato una grande esportazione di concentrato ed il recupero dell'alcool e dell'essenza di limone che prima andavano perduti. Tra le numerose attività collaterali dei congressisti, fu organizzata anche una visita agli impianti della Fabbrica, gui-

data dal Direttore, Andrea Ricevuto, e dai suoi collaboratori, della quale fu redatta un'estesa relazione.

Tuttavia, l'aumento dei prezzi degli agrumi e del citrato, concesso ai produttori dalla Camera Agrumaria, e i dazi imposti negli Stati Uniti all'importazione di citrato e acido citrico orientarono gli altri produttori verso metodi di estrazione diversi e/o di produzione dell'acido citrico per sintesi.

Pietro Leone, professore di Tecnologie chimico-agrarie alla Scuola di Ingegneria di Palermo, aveva brevettato un metodo, acquistato dal gruppo Montecatini-Arenella nel 1933, che consentiva l'estrazione dell'acido citrico direttamente dal succo di limone, che, se utilizzato industrialmente, avrebbe reso superflua la fase intermedia di estrazione del citrato [5].

La produzione di acido citrico per via biochimica

Già nel 1893 il botanico tedesco Carl Friedrich Wilhelm Wehmer (1858-1935) [9] aveva scoperto che funghi del genere *Citromyces* (ora considerati un sottogenere di *Penicillium*) accumulavano acido citrico in un mezzo contenente zucchero e sali inorganici. Dopo la fermentazione, la muffa era filtrata e l'acido citrico isolato dalla soluzione risultante, facendolo precipitare e poi rigenerandolo come nel processo precedente. Le colture, dopo 4 o 5 settimane, avevano una resa corrispondente al 50%, in qualche caso anche al 70% del glucosio. Wehmer ne registrò il brevetto. Ma questo processo, applicato industrialmente in Alsazia, venne ben presto abbandonato per l'impossibilità di sostenere la concorrenza dell'acido citrico prodotto dagli agrumi.

Nel 1914 i chimici statunitensi Currie e Thom, riuscirono a selezionare alcuni ceppi di *Aspergillus niger*, particolarmente attivi nella produzione di acido citrico. Studi successivi permisero di stabilire che un mezzo contenente zuccheri e sali a un pH iniziale di 2.5-3.5 costituiva le condizioni ottimali per la produzione di acido citrico [1]. Durante la prima guerra mondiale, John Anderson, dell'industria americana Pfizer, si rese conto della vulnerabilità dell'azienda, perché la guerra aveva interrotto la fornitura di agrumi italiani, e l'importazione di materie prime dall'Europa erano minacciate dal blocco dei sottomarini tedeschi. La fornitura di medicinali e prodotti chimici per la guerra aveva aiutato l'azienda a sopravvivere, ma le vendite complessive erano diminuite. Ora, più che mai, Pfizer aveva bisogno di trovare il modo di produrre acido citrico senza utilizzare gli agrumi. La scoperta di Currie rispondeva alle loro necessità.

Nel 1937, i chimici Hans Adolf Krebs (1900-1981) e

William Arthur Johnson pubblicarono su *Enzymologia* un articolo dal titolo «Il ruolo dell'acido citrico nel metabolismo intermedio nei tessuti animali», due mesi dopo che era stato rifiutato da *Nature* per mancanza di spazio. La descrizione del ciclo dell'acido citrico costituì una pietra miliare nella biochimica e nel 1953 Krebs ricevette il Premio Nobel per la Medicina per questo contributo allo studio del metabolismo intermedio nella scomposizione ossidativa dei carboidrati. È stato dimostrato successivamente che il meccanismo biochimico attraverso cui *Aspergillus niger* accumula acido citrico non è un'interruzione del ciclo di Krebs, bensì in questi organismi coesistono due cicli per la produzione di acido citrico.

Il declino della Chimica Arenella

Dopo il boom di produzione del 1929, quando la fabbrica cambiò la denominazione sociale in "Arenella, Società Italiana per l'Industria dell'Acido citrico e affini", la concorrenza dei metodi biochimici per la produzione dell'acido ne iniziò la crisi. Alla metà degli anni '30 del Novecento, la produzione mediante fermentazione di *A. niger* superava di gran lunga l'estrazione dagli agrumi, nella quale l'industria siciliana aveva detenuto il monopolio per anni.

La produzione della Chimica Arenella fu interrotta tra il 1931 e il 1932, la fabbrica fu posta in liquidazione dall'IRI e ceduta nel 1940 al gruppo zuccheriero Montesi. Dopo la Seconda Guerra Mondiale, la Fabbrica continuò il lento declino, per l'incapacità di adeguarsi alle nuove richieste del mercato e tenersi al passo con la concorrenza, per una serie di gestioni fallimentari, e per gli interventi della politica non sempre corretti e opportuni, fino alla definitiva chiusura nel 1987. L'attuale mercato mondiale dell'acido citrico e dei suoi derivati è difficile da stimare con precisione; i limoni, che hanno dato il via a tutto producono ancora circa 140000 tonnellate di acido citrico!

Conclusioni

La storia dell'acido citrico è influenzata dalla politica e dall'economia dell'epoca, oltre che dal progresso

scientifico e tecnico; la produzione di acido citrico è un fenomeno biotecnologico «classico», in cui la scienza, sebbene importante, è secondaria rispetto all'economia e alla politica della produzione. "Verranno spremuti, come si sprema un limone, fino a quando i semi non cigolano. Il mio unico dubbio non è se possiamo spremere abbastanza forte, ma se c'è abbastanza succo (Sir Eric Geddes, 1918)".

L'attuale mercato mondiale dell'acido citrico è approssimativamente di 400 000 t/anno e la tendenza è al rialzo. Di questi solo 140 000 t/anno sono ancora ottenute dai limoni.

BIBLIOGRAFIA

- [1] BIKASH Chandra Behera, Citric acid from *Aspergillus niger*: a comprehensive overview, (2020), Critical Reviews in Microbiology, DOI: 10.1080/1040841X.2020.1828815
- [2] DE MEDEIROS Alexandre D'Lamare Maia, Thiago Petrus Maia DE MEDEIROS, Citric acid production by *Aspergillus* spp. through submerged fermentation using different production mediums containing agroindustrial residues, (2022), Research, Society and Development, 11 (6), e8011628839. e8011628839
- [3] GEORGI Johann Gottlieb, Huru Citron-saft genom frysning kan med förmån Concetreras och förvaras. Traduzione italiana: Come il succo di limone mediante congelamento può essere vantaggiosamente concentrato e conservato. (1774), KVA Handl, 35, 245-250.
- [4] GRIMAUX Louis Édouard, Paul ADAM, Synthese de l'acide citrique, C. R. Hebd Seance Acad Sci., (1880), 90, 1252-1255.
- [5] MAGGIO Antonella Maria, Roberto ZINGALES, La Chimica a Palermo tra le due guerre, Chimica nella Scuola, (2022), numero speciale, 100-114.
- [6] MATTEY Michael, Bjørn KRISTIANSEN, A Brief Introduction to Citric Acid Biotechnology, in KRISTIANSEN Bjørn, Michael MATTEY, Joan LINDEN, Citric Acid Biotechnology, (1999), Taylor & Francis Ltd, (UK)
- [7] PENNISTON Kristina L., Stephen Y. NAKADA, Ross P. HOLMES, Dean G. ASSIMOS, Quantitative assessment of citric acid in lemon juice, lime juice, and commercially-available fruit juice products. J Endourol., (2008), 22(3), 567-570. doi: 10.1089/end.2007.0304. PMID: 18290732; PMCID: PMC2637791.
- [8] SCHEELE C.W. Kongl. Vetenskaps Academiens Nya Handlingar, (1784), 5, 105-109. Original title translated to English: Remarks on lemon juice, and a way to crystallise it.
- [9] WEHMER Carl, Note sur la fermentation citrique, (1893), Bull. Soc. Chem. Fr., 9, 728.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 69-78
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Franco Grottanelli, chimico e scrittore

PAOLO OLIVIERI

già dirigente Polo Montedison di Terni
E.mail: polivieri31@alice.it

Abstract – Retracing the history of synthetic rubber production in Italy in the late 1930s - early 1940s, one encounters an extraordinary character, the chemist Count Franco Grottanelli, who contributed to the construction of the Ferrara plant and directed it during its brief period of operation in the early years of the Second World War.

The article traverses this moment of futuristic chemistry (true green chemistry ante litteram because the butadiene necessary for the preparation of butadiene-styrene rubber was obtained from ethanol produced by fermentation of biomasses) concentrating on the figure of Grottanelli who had been called to this task after a long career at the Dinamite Nobel in Avigliana (many of the entries on explosive materials in the 1949 Encyclopaedia Treccani are his).

A pupil of Cannizzaro, in addition to being a brilliant chemist, he was a witty writer; religiously attached to the wonders of creation, from the mountains, which he loved to climb and tell about, to the forest of the family castle of Belagaio, where he would retire at the end of his career.

Keywords: Franco Grottanelli, Cannizzaro, Francesco Giordani, Giulio Natta, SAIGS Ferrara, SAIGS Terni, Pirelli, IRI, Second World War, Green Chemistry, synthetic rubber, butadiene-styrene rubber, ethanol, fermentation of biomasses, acetylene, Dinamite Nobel Avigliana, explosive materials

Riassunto – Ripercorrendo la storia della produzione di gomma sintetica in Italia alla fine degli anni Trenta – inizio anni Quaranta, si incontra un personaggio straordinario, il chimico conte Franco Grottanelli che contribuì alla realizzazione dell'impianto di Ferrara e lo diresse durante il breve periodo di funzionamento nei primi anni della seconda Guerra Mondiale.

L'articolo attraversa questo momento di chimica avveniristica (vera e propria chimica verde ante litteram perché il butadiene necessario per la preparazione della gomma butadiene-stirolo, era ottenuto dall'etanolo prodotto per fermentazione di biomasse) concentrandosi sulla figura del Grottanelli che era stato chiamato a questo impegno dopo una lunga carriera presso il Dinamitificio Nobel di Avigliana (sue sono molte delle voci sui materiali esplosivi dell'Enciclopedia Treccani del 1949).

Allievo del Cannizzaro, oltre che chimico geniale, fu scrittore arguto; religiosamente attaccato alle meraviglie del creato, dalle montagne, che amava scalare e raccontare, al bosco del castello di famiglia del Belagaio, in cui si ritirerà a fine carriera.

Parole chiave: Franco Grottanelli, Cannizzaro, Francesco Giordani, Giulio Natta, SAIGS Ferrara, SAIGS Terni, Pirelli, IRI, Seconda Guerra Mondiale, chimica verde, gomma sintetica, gomma butadiene-stirolo, alcol etilico, fermentazione di biomasse, acetilene, Dinamite Nobel Avigliana, materiali esplosivi

Ripercorrendo la storia della produzione di gomma sintetica in Italia alla fine degli anni Trenta – inizio anni Quaranta, si incontra un personaggio straordinario, il chimico conte Franco Grottanelli che contribuì alla realizzazione dell'impianto di Ferrara e lo diresse durante il breve periodo di funzionamento nei primi anni della seconda Guerra Mondiale.

Franco Grottanelli nasce a Firenze¹ nel 1878; studia Chimica presso l'Istituto di Chimica guidato da Stanislao Cannizzaro in Via Panisperna (accanto all'Istituto di Fisica che ospiterà poi i famosi “ragazzi di Via Panisperna” guidati da Enrico Fermi). Molto briosa la descrizione che ne dà lo stesso Grottanelli in un prezioso articolo scritto nel 1947 [3], dopo essersi ritirato nella tenuta di famiglia al Castello del Belagaio, nel grossetano (Fig. 1) (in realtà dopo la guerra sarà “consulente dell'Anic per il nuovo stabilimento di gomma sintetica stirene-butadiene costruito a Ravenna dall'Eni nel 1958” - si veda l'introduzione all'articolo citato- e parteciperà alla ricostruzione degli impianti Montecatini a Bussi danneggiati dalla guerra).

“Sono stato discepolo del grande Stanislao Cannizzaro” racconta Grottanelli “uno dei fondatori delle leggi strutturali che hanno retto la chimica del secondo ottocento. Era un buffo animale, di una bruttezza scimmiesca, illuminata da due occhietti vispissimi coi quali seguiva una scienza che traboccava da ogni lato dai limiti che egli le aveva assegnato”.

E continua: “In certe cose, lui vecchio era arcaico, per esempio nell'orrore delle fiamme libere, quei diabolici becchi a gas che dappertutto, nell'Istituto chimico che egli dirigeva, facevano bollire matracchi ed evaporare capsule ma potevano, ben più, disseminare incendi. Allora la sera, quando la marea degli allievi normali era sparita (...) egli si metteva in cammino, di ronda, alla caccia del pericolo. (...) Portava una camiciona da notte che gli scendeva fino ai piedi (...) faceva un ultimo giro di sicurezza e poi – finalmente tranquillo – soffiava sul candeliere e si assopiva”.

Ci piace qui ricordare che Cannizzaro viveva accanto ai laboratori, come era usuale anche per altri direttori di



Fig. 1. Castello del Belagaio.

Istituti in Europa, e come fu per Mendeleev a San Pietroburgo: Mendeleev viveva al piano terra della Facoltà di Chimica, accanto al suo laboratorio (il suo studio è ora un museo visitabile; in un angolo c'è il tavolino per gli scacchi).

E Grottanelli ricorda che “le continue novità” di una chimica in costante evoluzione “non le afferrava più” e aggiunge: “ma nei cambiamenti a giocherello come lo stereo chimica, era entrato in pieno, con agilità sorprendente, come un ragazzo in un gioco con i soldatini di piombo e ci si divertiva di tutto il suo cuore (...) e ci faceva sopra delle lezioni saporitissime, piene di vita, di brio, di scintillamento, lezioni di un giovane a dei giovani (Cannizzaro era del 1826 e Grottanelli del 1878, dunque siamo agli inizi del '900 e sono gli anni in cui si comincia a sviscerare la struttura dell'atomo, ndr) e quando al termine di un lungo seguito di formule a legami semplici, doppi o tripli, a losanga, a esagono, si voltava verso di noi e rideva e ammiccava, allora per brutto che fosse, pareva bellissimo e lo applaudivamo”.

Troviamo queste descrizioni deliziose; qui al chimico si affianca lo scrittore quale Grottanelli era; scrittore che ‘combina’, è il caso di usare questo termine chimico, il rigore dello scienziato con la coinvolgente leggerezza di una prosa fresca e ad un tempo profonda.

Ma torniamo al tema iniziale, quello della gomma sintetica. È noto che nel periodo prebellico il problema delle difficoltà di approvvigionarsi di gomma naturale² con

¹ Purtroppo non esiste una biografia del Grottanelli (almeno noi non l'abbiamo trovata). Pertanto diverse delle notizie riportate, come quella della nascita a Firenze, vengono da studiosi dei luoghi nei quali ha soggiornato più a lungo e cioè Avigliana e Torriella/Belagaio. Per quanto riguarda la nascita, diversa è l'indicazione riportata nella pubblicazione sul *Petrolchimico* di Ferrara del 2006 di cui al rif. [2]: si dice che era livornese. Per altre notizie si veda in appendice.

² La gomma naturale o caucciù è costituita da polimero dell'isoprene ottenuto dal lattice di alcune piante, tra cui l'*hevea brasiliensis*.



Fig. 2. SAIGS – impianto di Ferrara nel settembre 1941³.

continuità è stato molto sentito e per la unicità della fonte di provenienza (il sud-est asiatico) e per le sanzioni che furono imposte a Stati come la Russia (per il sistema dittatoriale ivi instaurato) e l'Italia (per la guerra d'Etiopia).

In queste condizioni fu gioco forza occuparsi dello sviluppo di metodi per produrre gomma artificiale. Protagonisti in Italia saranno, in attuazione di un Decreto legge governativo del 1937, che intendeva promuovere la produzione di gomma sintetica in regime autarchico, la Pirelli, società da tempo impegnata nella lavorazione di gomma naturale da caucciù, l'IRI e un gruppo di ricerca universitaria guidato da Giulio Natta incaricato dalla Pirelli stessa⁴.

Per la realizzazione industriale del progetto, Pirelli e IRI, il 14 settembre 1939, presso il notaio Teodoro Valagussa di Milano, costituiscono la SAIGS (Società Anonima Industria Gomma Sintetica) e un laboratorio di ricerca specifico presso lo stabilimento di Bicocca.

Fondatori sono il dott. Alberto Pirelli, V. Presidente Pirelli e il prof. Francesco Giordani, V. Presidente dell'IRI (nel CdA siedono anche il prof. Giuseppe Bruni e il rag. Cesare Merzagora). L'oggetto della società è "l'esercizio dell'industria della gomma sintetica e di altri prodotti attinenti" [14].

I siti produttivi della SAIGS saranno due: uno a Ferrara (Fig. 2) e l'altro a Terni; la particolarità è che l'im-

pianto di Ferrara produrrà la gomma da butadiene ottenuto da alcol etilico prodotto per fermentazione di biomasse (melasse zuccherine e barbabietole) e che quello di Terni (che non entrerà mai in produzione) avrebbe dovuto utilizzare l'acetilene derivato dal carburo di calcio prodotto a Papigno, vicino a Terni, in esubero rispetto ai fabbisogni anche per l'entrata in produzione negli anni '30 degli impianti della Montecatini di Domodossola e Porto Marghera. I processi allo studio erano due, uno attraverso l'idrogenazione del vinilacetilene ottenuto da due molecole di acetilene ed uno attraverso l'aldolo ottenuto dall'acetaldeide. Era in corso la ricerca su quale processo utilizzare quando gli sviluppi della seconda guerra mondiale nel 1943 costrinsero a sospendere i lavori: "durante la ritirata delle truppe tedesche, le principali apparecchiature già installate furono smontate e trasferite in Germania, l'area dello stabilimento fu trasformata in campo di concentramento nel quale, come noto, anche la moglie di Mussolini fu ospitata per alcuni mesi" [12].

L'impianto di Ferrara avrebbe dunque prodotto da alcol etilico ottenuto per fermentazione di biomasse, una vera e propria «Chimica Verde» ante litteram, cosa di cui poco o niente si è parlato.

Di questo e degli studi condotti sulla gomma da alcol etilico dagli italiani e, in particolare, da Giulio Natta (Fig. 3), si parla diffusamente nel libro «La Gomma Artificiale – Giulio Natta e i laboratori Pirelli», una bella raccolta di documenti, in primis dagli archivi Pirelli, e articoli del tempo, fatta nel 2013, in occasione delle celebrazioni per il cinquantenario del conferimento del Premio Nobel a Giulio Natta (1963) [14]. In questo libro è riportato anche l'articolo di Franco Grottanelli di cui al riferimento bibliografico [3], articolo che si riferisce appunto a «Come è nata la gomma sintetica in Italia».

³ SAIGS (Società Anonima Industria Gomma Sintetica), stabilimento di Ferrara, 28 settembre 1941. Archivio Storico Pirelli Milano.

⁴ Così recita l'incarico affidato dalla Pirelli a Natta il 30 maggio del 1937: "La Società Italiana Pirelli conferisce al Sig. Prof. Giulio Natta della Regia Università di Torino, l'incarico di occuparsi, in linea generale, di studi riguardanti la fabbricazione della gomma sintetica butadienica, e prodotti affini..." [14]



Fig. 3. Giulio Natta⁵.

Il processo prevedeva la produzione di aldeide acetica per deidrogenazione dell'alcol etilico; il butadiene si otteneva dall'aldeide acetica in due modi: o trattando l'aldeide acetica con alcol etilico, per sottrazione di due molecole d'acqua, o trasformandola in aldolo e questo poi in glicole butilenico da cui il butadiene era ottenuto eliminando due molecole d'acqua [11].

Per grandi linee la tecnologia era nota da tempo per i lavori di importanti chimici russi. Ci avevano lavorato Ostromyslenkij (1880-1939) e Lebedev (1874-1934); in particolare Lebedev già nel 1910 aveva studiato la sintesi del butadiene dall'alcol etilico di origine agricola (fermentazione zuccheri) perfezionando la sintesi di gomma butadienica nel 1926-1928 e iniziandone la produzione nel 1932-1933 da alcol etilico ottenuto per fermentazione dell'amido di cereali e patate (si ironizzava che i sovietici producevano i copertoni dalle patate): il prodotto era la Buna, nome che derivava da butadiene (Bu) e sodio usato come catalizzatore (Na).

Il processo di base che da alcol portava a butadiene era piuttosto complesso; occorreva infatti passare dall'alcol etilico, molecola a due atomi di carbonio, al butadiene, molecola a quattro atomi di carbonio; si trattava di reazioni successive di deidrogenazione, condensazione e disidratazione, per ognuna delle quali occorrevano adatti catalizzatori (miscela di magnesia e silice).

Alla diffusione dei ritrovati degli scienziati russi citati contribuirono anche «studiosi russi che avevano lasciato

⁵ Natta trentacinquenne (ca. 1938); diverso dalle immagini ai tempi del Nobel (1963) cui siamo più abituati.

l'Unione Sovietica per emigrare negli Stati Uniti o in Europa, come fu il caso del dott. Alexander Maximoff (1886-1943), un ingegnere chimico russo che aveva lavorato nell'Unione Sovietica con Ivan Ostromyslenskij sulla sintesi del butadiene e nel 1914 era stato direttore della fabbrica di gomma Bogatyr di Mosca. Emigrato in Occidente nel 1920, dopo aver lavorato in vari paesi, era stato assunto nel 1934 dalla Pirelli come direttore del laboratorio di ricerche chimiche» [11].

L'impianto di Ferrara fu avviato nell'aprile 1942 (la costruzione dell'impianto era iniziata nel 1939); l'impianto rimase in funzione fino alla primavera del 1944 quando i bombardamenti alleati lo misero fuori uso. La gomma prodotta fu la Buna S (copolimero butadiene-stirolo) in quanto di proprietà superiori a quelle della Buna (polimero del solo butadiene) prevista in un primo tempo. La scelta di Ferrara come sito produttivo si deve all'interessamento del nipote di Italo Balbo, Lino (1909-1940).

E per la realizzazione, avviamento e gestione dell'impianto di Ferrara, Francesco Giordani (1896-1961) (Fig. 4), che era Presidente dell'IRI, Ente che ebbe una grande parte nel progetto, chiamò l'amico Franco Grottanelli (Fig. 5), un chimico di provata esperienza che veniva dalla direzione dello stabilimento della Dinamite Nobel



Fig. 4. Francesco Giordani⁶.

⁶ Francesco Giordani, Professore di Chimica all'Università Federico II di Napoli, nel 1939 era stato nominato da Mussolini Presidente dell'IRI; di Giordani è importante ricordare, tra l'altro, un metodo di estrazione della cellulosa dalla paglia dei cereali (metodo Giordani-Pomilio).



Fig. 5. Franco Grottanelli.

di Avigliana (da notare che molte delle voci dell'Enciclopedia Italiana Treccani – edizione 1949 – riguardanti i materiali esplosivi, sono scritte da Franco Grottanelli; in particolare va ricordato, un “saggio Grottanelli” per determinare la stabilità degli esplosivi, inoltre sua è la denominazione T4 dell'esplosivo trimetilentrinitroamina alla cui messa a punto lavorò).

Come detto, era già «chimica verde» in quanto l'alcol etilico era ottenuto da biomasse per fermentazione; oggi lo si chiamerebbe «bio-etanolo».

Natta sottolinea l'inferiore qualità del prodotto russo rispetto a quello italiano dell'impianto da poco avviato a Ferrara (1942), per il fatto che i sovietici non separavano il butadiene dai butileni che si formavano contemporaneamente nella complessa reazione che da alcol portava a butadiene; Natta in particolare aveva messo a punto un sofisticato sistema di separazione necessario per la vicinanza dei punti di ebollizione dei vari composti da separare.

Di seguito riportiamo un breve passo dell'articolo di Natta che lo descrive; il processo era denominato “Distex”: “Il procedimento consiste nell'impiego di una colonna riempita di anelli Raschig, oppure formata di un certo numero di piatti e in tal caso costruita in modo analogo alle colonne di rettifica.

“In tale colonna si introduce in modo continuo la miscela dei gas o vapori da separarsi ad una altezza, che varia a seconda della composizione della miscela stessa,

mentre dall'alto della colonna si introduce pure in modo continuo un solvente nel quale uno dei due componenti della miscela sia più solubile dell'altro (...)” [9].

Da notare che l'alcol etilico veniva anche impiegato, come oggi, per l'autotrazione come ricorda anche Natta nell' articolo citato, sottolineandone i limiti: «l'alcole è come carburante inferiore alla benzina e non è applicabile per gli usi bellici più importanti, ad es. l'aviazione, se non a scapito dell'autonomia» [10].

E per restare in tema di Chimica Verde, va sottolineato che l'aspetto della «fermentazione delle biomasse» era divenuto focale; Pietro Redondi nell'articolo di cui a [15] dice: «Era l'epoca della chimica delle fermentazioni e di tecnologi come Francesco Giordani che puntavano sulla cellulosa per aumentare la resa di alcol per ettaro di coltivazioni». La costruzione dell'impianto di Ferrara iniziò nel marzo del 1939; l'impianto produsse complessivamente 13.000 ton. [13].

Molto divertente la descrizione dell'avvio dell'impianto che dà lo stesso Grottanelli: «Venne giù il Presidente,⁷ capo anche della Pirelli, venne il Prof. Giordani, il precursore della gomma sintetica (...) Quando giunse il lattice dalla polimerizzazione alla coagulazione e si distribuì sulle continue i nostri occhi già vedevano il nastro di gomma avviarsi agli essiccatoi, al talcaggio, all'arrotolamento. Neppur per idea! (...) Dopo 24 ore il Presidente perse la pazienza e se ne andò: Giordani, sempre calmo, resistette tre giorni e poi ci abbandonò alla nostra scalogna. Non appena egli uscì dalla fabbrica, il nastro venne fuori da sé, il primo rotolo da 100 kg. bianco-rosso, si avvolse leggiadramente e venne fotografato con la data a fianco.

Avevo immaginato quel momento in molti modi (...) ma stetti zitto e come me gli altri.

Ed a furia di silenzio, il dubbio permase, fuori che la fabbrica effettivamente funzionasse, tanto che alcuni mesi dopo ci fu una visita improvvisa di controllo da parte di un personaggio allora molto importante, il quale giunse accigliato e sospettoso, evidentemente pessimamente prevenuto, spianò il volto solo quando vide il famoso nastro che si arrotolava docilmente, lodò se stesso e partì”.⁸

La visita di Mussolini è descritta in ben altro modo molti anni dopo (2006) in una bella pubblicazione sul

⁷ Alberto Pirelli, presidente della SAIGS.

⁸ Allude alla visita compiuta da Mussolini allo stabilimento della Saigs di Ferrara il 17 giugno 1942, v. Nicola Tranfaglia, Vita di Alberto Pirelli (1882-1971). La politica attraverso l'economia, cit., p. 261

Petrolchimico di Ferrara [2].⁹ «Il 17 giugno 1942 Mussolini in sahariana bianca e stivali andò in visita allo stabilimento con il solito seguito di gerarchi e militari. Lo accompagnava il federale di Ferrara Giaggioli con i tecnici e con la direzione (il direttore tecnico era il nobile livornese Conte Franco Grottanelli) esaltò il valore strategico dell'autarchia e della fabbrica». Questa è la descrizione della classica visita ufficiale del Duce, vista in tanti documentari di repertorio, ma noi preferiamo quella di Grottanelli che ammantava la descrizione di divertente mistero e ironia.

La vulgata che l'impianto non producesse viene avvalorata anche da Bassani che, nel libro *Il Giardino dei Finzi Contini* del 1962, parlando del Malnate, il chimico milanese che era l'amore segreto di Micòl e che lavorava nella Ricerca in quello stabilimento, dice: «Aveva da fare i conti con gli orari di fabbrica, che non erano severissimi, è vero – confidò una volta –, ma dato che di gomma sintetica lo stabilimento dove lui lavorava, uno stabilimento imposto dal Regime alla Montecatini ai tempi delle 'inique Sanzioni' e tenuto su per esclusive ragioni di propaganda, non ne aveva prodotto finora nemmeno un chilo...» [1] (ad essere pedanti è da notare che nel 1962, quando Bassani scrive, lo stabilimento era sì Montecatini, ma negli '40, come abbiamo visto, era Pirelli).

Molto bello e allo stesso tempo amaro il ricordo che il Grottanelli ha di Terni e della vicenda in generale:

«Mentre intensificavamo la produzione a Ferrara, non stavamo mica con le mani alla cintola per l'altro impianto a partire dal carburo, piazzato in una località bellissima, a Terni, alla confluenza del carburo, fabbricato a pochi chilometri di distanza, e della forza elettrica, mandata dalle sorgenti termiche di Larderello. Dalla progettazione di 12 mila tonn./anno eravamo stati condotti a quella per 18.000.

Sarebbe stato il più bell'impianto d'Italia nell'ordine chimico e noi ci vedevamo raggruppati vicino tutti gli sviluppi della chimica dell'acetilene, di cui la gomma non è che un ramo e non dei maggiori. Eravamo a 6 mesi dalla messa in marcia del complesso di Terni quando gli avvenimenti precipitarono. A Terni fummo metodicamente alleggeriti del macchinario, appena montato, da parte dei tedeschi: per giusto equilibrio e per ben dividere i nostri affetti a Ferrara avemmo una buona spruzzata di bombe sui depositi di alcool, naturalmente quasi vuoti, da parte dei Liberatori.

⁹ Il Petrolchimico di Ferrara fu costruito dopo la seconda Guerra Mondiale, nel 1950, quando la Montecatini acquistò da Pirelli e Iri il terreno su cui era sorto lo stabilimento per la produzione di gomma sintetica.

Il nostro compito, condotto fino al limite di ciò che noi potevamo, fu chiuso così» [3].

L'impianto che doveva sorgere a Terni era, come detto, basato sull'impiego del carburo di calcio e quindi dell'acetilene da esso ottenibile ed era dello stesso tipo di quelli che la IG. Farben aveva costruito in Germania (a Skoppau, Leverkusen, Ludwigshafen, Huls) e che doveva avviare anche a Buna Monowith, a 12 km da Auschwitz in Slesia Meridionale, fabbrica cui era stato associato un vero e proprio campo di concentramento dove fu internato anche Primo Levi (1919-1987), nel dicembre del 1943 e forse proprio a quell'impianto erano destinati i macchinari prelevati a Terni.

L'articolo di Grottanelli cui abbiamo attinto per la nostra storia, contiene anche un breve e interessante excursus sulla storia della chimica italiana, in cui alla brillante capacità di sintesi si unisce l'amore sacrale per la conoscenza che traspare dalla continua tensione verso nuovi traguardi.

Per dare un'idea della continua evoluzione della scienza chimica che sconfinava nella scienza fisica, torna agli insegnamenti iniziali di Cannizzaro: «Per farci toccare con mano i fascini della stereo-chimica egli aveva dei modelli di tetraedri in fil di ferro, ognuno raffigurante un atomo di carbonio e le sue valenze (l'atomo stava nel baricentro), ai vertici si infilavano delle altre palline, che, a colori variati, simboleggiavano ossigeno, azoto, idrogeno o che so io. Caro vecchissimo Cannizzaro! Le tue palline hanno fatto molto cammino da allora. Dei sapienti con sguardo più acuto del tuo le hanno inseguite, analizzate, pesate. Siamo passati dall'Universo-materia all'Universo-energia» (è qui spontaneo pensare all'equazione di Einstein $E = mc^2$).

Natta e Grottanelli verranno ricordati dal Ministro della Pubblica Istruzione Giacinto Bosco (1905-1997) il 12 maggio 1962 durante la commemorazione di Giordani all'Accademia dei Lincei «anche se le vicende belliche distrussero la realizzazione industriale, per le circostanze in cui sorse, rappresenta una delle più belle pagine della ricerca applicata in Italia, il cui merito va attribuito a quel valoroso gruppo di scienziati e tecnici tra cui il Natta e il Grottanelli, che lavoravano nell'Istituto di studi per la gomma sintetica presieduto dal Giordani.» Da notare che, parlando dell'importanza della ricostruzione di questa esperienza, Pietro Redondi afferma che lo stesso Natta in una sua autobiografia riconosceva che: «i suoi studi degli anni trenta e quaranta erano stati un'esperienza professionale e culturale basilare per le successive ricerche degli anni cinquanta sui polimeri regolari» [15]. Un solo neo in questo esaltante racconto: il Grottanelli non cita mai Natta!

Per concludere, del Grottanelli vogliamo qui anche ricordare la passione per la montagna; le frequentazioni montanare divengono abitudinarie nel periodo in cui è alla Dinamite Nobel di Avigliana, una cittadina della bassa Val di Susa, vicino a Torino. Da lì le montagne diventano meta familiare di escursioni appassionanti. Fondata anche il Club alpino accademico aviglianese.

Delle sue arrampicate nel 1930 scrive un bel libro di ricordi il cui titolo è, appunto, *Ricordi di montagna* (Fig. 6) [4].

Sono pagine passionante, scritte in una prosa un po' ricercata e arcaica, ma senza retorica perché «Val Susa è una valle modesta, senza gloria di punte celebri, di ghiacciai famosi, di villeggiature classiche, che nel corteo delle sue sorelle più note fa, un poco, l'effetto di una semplice contadinella che siasi, non si sa come, trovata frammezzo ad una processione di superbe fanciulle ...»

Il libro “apparirà nel 1941 in riedizione arricchita, con il titolo ‘*Se questa è stata la vita*’ ” [5] come ricorda Irene Affentranger, Socia Onoraria del CAI e accademica del GISM¹⁰, in occasione del discorso fatto per celebrare il Grottanelli nel corso della due giorni organizzata nel 2015 dalla città di Avigliana, dal CAI-Sezione di Avigliana e dal GISM. In questa occasione è stata scoperta una lapide ricordo alle Rocce Rosse [7].

Del discorso della Affentranger (classe 1926) desideriamo qui riportare le parole conclusive: “Oggi in questa Avigliana dove tanto operò come alpinista, come scrittore, come dirigente d'azienda ma, soprattutto come uomo integro, chiuso a cedimenti o compromessi, vogliamo riproporlo all'affettuoso rispetto di quanti, come lui, sui monti hanno cercato o cercano tuttora la via delle conquiste dello spirito”.

Affermazione che ben si attaglia all'atteggiamento di fondo del Grottanelli. Infatti, in una specie di introduzione nel libro *Ricordi di montagna*, intitolata significativamente «Liminare», parola che richiama chiaramente il confine della valle stigia dantesca, c'è una sorta di testamento spirituale che, come già rilevato nell'articolo dei ricordi di chimica, ci rende viva la tensione verso un infinito che qui non è il confine ultimo della scienza, mai raggiunto, ma quello della vita umana, pur esso «oltre le stelle»: «Ma non affrettiamoci troppo. Alcuni di noi son stanchi, alcuni son qui di ritorno dopo un'assenza che sorpassò la vita. Abbiamo tante, tante cose da dirci, ed è la dolcezza di essere riuniti che ci farà sostare, più a lungo del consueto, presso ad una fonte o all'ombra di un pino».



Fig. 6. Ricordi di montagna.

«E quando riprenderemo il cammino, anche se il tramonto rosseggerà nel cielo, non ci rimprovereremo la buona sosta, perché per questa, che è l'ultima ascensione, noi siamo, concordi, diretti oltre le stelle».

E qui torna alla memoria il finale dell'articolo sulla gomma sintetica e la ricerca chimica in cui dice: «L'Universo non si è cambiato, non si è dilatato: si è trasfigurato. – Era spazio, ora è Idea: era materia, ora è Luce! Allora noi abbiamo sorpassato intuizione, ricerca, studio, abbiamo pregato!»

Come detto, alla fine della sua carriera si ritira nella tenuta di famiglia, al castello del Belagaio, in provincia di Grosseto.

Per parlare di questo periodo ci affidiamo ai ricordi di due tra le persone che l'hanno frequentato nell'ultima parte della sua vita. La prima è una consigliera della Proloco di Piloni Torniella, cultrice di storia locale, che ha scritto una dotta storia del Castello del Belagaio e che da bambina, ebbe l'opportunità di frequentare la casa del Conte. La tenuta “era una vera e propria azienda agricola (...) c'erano molti boscaioli che venivano da Torniella e Piloni e lavoravano al bosco (...) lo studio era pieno stipato di libri”. Tra i ricordi ce n'è anche uno che la dice lunga della frequentazione del Grottanelli con il Giordani: “confidava al mio babbo che avrebbe voluto costruire uno stabilimento per ottenere la cellulosa lì nei nostri boschi”.¹¹

La seconda è il Sacerdote Terzino Tatasciore che in un libro di memorie che riguarda i luoghi in cui aveva svolto il suo sacerdozio [16] parla del Conte e del suo amore per i libri e la cultura: “Era un incanto ascoltarlo.

¹⁰ GISM, Gruppo Italiano Scrittori di Montagna.

¹¹ V. Guiggiani, *Ricordi di infanzia e aneddoti*, Consigliera Proloco Piloni-Torniella.

Aveva parola facile e brillante. Con disinvoltura passava dai problemi tecnici e scientifici agli argomenti filosofici e teologici. (...) Andava a colpo sicuro a prendere il libro che gli occorreva. Conosceva le sue tre biblioteche ricche di qualche decina di migliaia di volumi ...”. Altro ricordo importante è quello riguardante il ripristino e il riavviamento degli impianti di Bussi: “Nel lavoro era un vulcano e sapeva trasfondere in altri il suo dinamismo. C’era da ricostruire gli stabilimenti chimici di Bussi in provincia di Pescara. I progetti parlavano di due anni di lavoro. Egli assunse l’impegno e lo mantenne di portarli a termine in sei mesi”.

Franco Grottanelli muore nel 1973; nel 1968 è ancora al Belagaio dove raccoglie in un libro riflessioni e articoli che riguardano momenti particolari della sua vita, dal 1934 al 1963; naturalmente c’è anche l’articolo sulla gomma sintetica. Questa raccolta, stampata nel 1968, è stata ristampata nel 2017 dalla Proloco Piloni-Torniella [6] che si sta adoperando perché lo Stato avvii il restauro del castello di Belagaio acquistato nel 1968 dall’Azienda di Stato Foreste Demaniali con lo scopo di rimboschire i boschi degradati e di restaurare gli edifici (da notare che il Grottanelli è sepolto nella cappella del castello).

APPENDICE

1. Biografia del Conte Franco Grottanelli

Come detto in apertura di questo articolo, non esiste una biografia del Grottanelli, almeno noi non l’abbiamo trovata. Le notizie riportate nel seguito sono desunte da varie fonti (articoli scientifici del o sul Grottanelli, soprattutto quello di cui al riferimento bibliografico [3] e informazioni ottenute da cul-

tori di storia locale dei luoghi in cui il Grottanelli è stato più a lungo, e cioè: Avigliana, in Val di Susa, vicino Torino e Torniella/Belagaio, nel grossetano).

Nasce a Firenze il 3 ottobre 1878, da Ruggero Domenico e Crosbi Alice.

Studia Chimica a Roma con Cannizzaro a fine ’800, inizio ’900.

Nel 1906 si impiega presso il Dinamitificio Nobel di Avigliana, in Val di Susa.

Di qui nasce l’amore del Grottanelli per la montagna; nel 1907 fonda il Club Alpino Accademico Aviglianese.

Sposa (non si conosce l’anno) Germana Abelli e, nel 1912, ha un figlio, Vinigi Lorenzo.

Diventa direttore tecnico del Dinamitificio e successivamente direttore generale (non si conoscono le date).

Nel 1929 effettua una missione in Brasile per conto di Donegani (nel 1925 la Montecatini aveva acquisita la Dinamite Nobel di Avigliana) e assume altri incarichi a Milano.

Nel 1930 scrive il libro “Ricordi di Montagna” che riapparirà poi nel 1941 in edizione arricchita con il titolo “Se questa è stata la vita”.

Nel 1939 viene chiamato dal Prof. Francesco Giordani per “succedere all’ingegnere Venosta nella direzione dell’Istituto per lo studio della gomma sintetica e della Società di produzione di gomma sintetica” di Ferrara.

Nel 1940 è consigliere della Termo-Elettrica Umbra.

Nel 1942 è confermato direttore tecnico della Saigs (Società Anonima Industria Gomma Sintetica) e dirige lo stabilimento di Ferrara che produrrà fino al maggio del 1944.

Nel dopoguerra è consulente dell’Anic per il nuovo stabilimento di gomma sintetica stirene-butadiene che sarà costruito a Ravenna dall’Eni nel 1958; inoltre partecipa alla ricostruzione degli impianti della Montecatini a Bussi danneggiati dalla guerra.

A fine carriera si ritira nella tenuta di famiglia al Castello del Belagaio (l’articolo “Come è nata la gomma sintetica in Italia” del Grottanelli riporta in calce: “Dal Belagaio, 21 marzo 1947”).

Molte delle voci sui materiali esplodenti riportate dalla Enciclopedia Treccani, edizione 1949, sono state redatte dal



Anno 1942 - Lo Stabilimento della S.A.I.G.S. in costruzione

Fig. 7. La SAIGS di Terni in costruzione alla fine del 1942.



Fig. 8. Veduta generale dello stabilimento di Avigliana (Torino) della “Società Dinamite Nobel” [8].

Grottanelli; in particolare va ricordato un “saggio Grottanelli” per determinare la stabilità degli esplosivi; inoltre è sua la denominazione T4 dell’esplosivo trimetilentrinitroammina alla cui messa a punto lavorò.

Il 12 maggio del 1962 viene ricordato all’Accademia dei Lincei, assieme a Giulio Natta, dal Ministro della P.I. Giacinto Bosco, durante la commemorazione di Francesco Giordani.

Nel 1968 vende il Castello e la tenuta all’Azienda di Stato Foreste Demaniali.

Muore a Torniella il 19.07.1973; è sepolto nella cappella del castello.

Il Grottanelli è stato ricordato per il suo amore per la montagna con una lapide apposta alle Rocce Rosse, Avigliana, nel 2015.

2. Castello del Belagaio

Il castello del Belagaio era uno dei punti fortificati del grossetano; appartenne agli Ardengheschi che nel 1187 lo cedettero, con possedimenti e diritti signorili, all’Abbazia di S. Lorenzo al Lanzo (...). Nella seconda metà dell’800 ne divenne proprietario il Conte Ruggero Grottanelli che gli conferì l’aspetto di una fortificazione in stile neomedievale. Attualmente fa parte del territorio comunale di Roccastrada (Grosseto) e si trova all’interno della riserva naturale di popolamento animale della Riserva naturale Farma, che si estende tra le località di Torniella e Casale di Pari. Il nome deriva da pelagus in quanto anticamente era un territorio paludoso.

Nel 1968 è stato venduto all’Azienda di Stato Foreste Demaniali: a Torniella si dice che il Grottanelli abbia preferito vendere alla Forestale, nonostante avesse ricevuta una offerta doppia da un commerciante di legname locale, per garantire una gestione meno utilitaristica e più rispettosa dell’ambiente.

3. Cronologia dei lavori sulla gomma sintetica

1909 Hoffmann sintesi dell’isoprene (2-metil-1,3-butadiene, componente del caucciù).

1910 Lebedev sintesi del butadiene dall’alcol etilico di origine agricola (fermentazione zuccheri).

1927 Weinberg sintesi gomma da butadiene ottenuto da acetilene proveniente da CaC_2 .

1926-1928 Lebedev perfeziona la sintesi di gomma butadienica.

1933 Lebedev inizia la produzione da alcol etilico dall’amido di cereali e patate.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bassani Giorgio, *Il giardino dei Finzi Contini*, 1962, Giulio Einaudi editore S.p.A.
- [2] Cova Mario, *Dalla zona industriale, alla SAIGS, al Petrolchimico, in Ferrara e il suo Petrolchimico*, 2006, Cds Edizioni.
- [3] Grottanelli Franco, *Come è nata la gomma sintetica in Italia*, «Chimica», II, 8, 1947.
- [4] Grottanelli Franco, *Ricordi di montagna*, 1930, Alfredo Formica Editore, Torino.
- [5] Grottanelli Franco, *Se questa è stata la vita*, 1941, Montes, Torino.
- [6] Grottanelli Franco, *Belagaio*, 1968, Tipografia Vieri, Roccastrada (ristampato nel 2017 a cura di Andrea Giacomelli e Dario Canal). Tra gli altri scritti, questa raccolta contiene il discorso agli operai che Franco Grottanelli fa nel 1936 quando lascia, dopo trent’anni di lavoro, la Dinamite Nobel di Avigliana e l’articolo sulla gomma sintetica più volte citato in

- questo nostro racconto e pubblicato nel 1947 dalla rivista «Chimica».
- [7] Marchisio Lodovico, Arnaldo Reviglio, Marina Portigliatti, *Testimonianza inedita su Franco Grottanelli in Avigliana. Il Borgo Medioevale, il Cuore Verde e i suoi dintorni*, 2017, OAK edizioni, pag. 389-393.
- [8] Molinari Ettore, Ferdinando Quartieri, *Notizie sugli Esplosivi in Italia*, 1913, HOEPLI Milano.
- [9] Natta Giulio, *Procedimento per la separazione dei componenti di una miscela aventi uguali o vicinissime temperature di ebollizione*, 6 luglio 1938 e rivendicazione in *Processo "Distex" per il frazionamento di idrocarburi*, "La Chimica e l'Industria", XXIX, 1, 1947, pp. 11-12.
- [10] Natta Giulio, *Il problema della gomma in Italia*, in [14].
- [11] Nebbia Giorgio, *Lettura dei documenti*, in [14].
- [12] Nenz Adriano, *La Società Anonima Industria gomma sintetica*, in *La grande industria Terni*, 2004, Edizioni Thyrus.
- [13] Pasquon Italo, *Presentazione*, in [14].
- [14] Redondi Pietro, *La Gomma Artificiale – Giulio Natta e i laboratori Pirelli*, con interventi di Italo Pasquon, Giorgio Nebbia, Pietro Redondi, Marino Ruzzenenti, 2013, Edizioni Angelo Guerini e Associati.
- [15] Redondi Pietro, *La ricerca in fabbrica*, in [14].
- [16] Tatasciore Terzino, *Torniella e frazioni*, 1982, Editrice Agnelli, Viterbo, vol. III.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 79-85
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Ricordo di Mario Betti a 80 anni dalla scomparsa¹

MASSIMO BETTI

Membro dell'Accademia Italiana di Storia della Farmacia già nel Consiglio di Reggenza, Socio ed ex direttore dell'Istituto Storico Lucchese sez. Bagni di Lucca, Membro del Gruppo Nazionale Storia e Fondamenti della Chimica
E.mail: speziale@farmaciabetti.it

Abstract – Mario Betti, born in 1875, belongs to a historic family of pharmacists. He began his university career after graduating in chemistry and pharmacy in Pisa in 1897, as an assistant in Florence to one of the greatest chemists of the time: Hugo Schiff (1834-1915). Having risen to the chair in 1908 in Cagliari, he moved to Siena in 1910, where he was also the Magnificent Rector. Subsequently he moved to the University of Genoa and finally in 1923 he won the national competition for the chair of chemistry at the University of Bologna, made vacant by the death of the famous scientist Giacomo Ciamician (1857-1922). His studies ranged over many branches of chemistry; famous in organic chemistry the «Betti's relation and the» Betti reaction «still widely used today. He carried out hydrological analyzes in all the spas of Italy, successfully synthesized important types of rubber. He compiled various paragraphs for the Treccani Encyclopedia, first edition. The study that most fascinated him was stereochemistry and, in 1942, he obtained the discovery for which he is most famous: he succeeded in the «total synthesis» of optically active compounds, starting from molecules exclusively synthesized in the laboratory, thus revolutionizing the thesis supported by the Pasteur times of the inimitability of the *Vis Vitalis*. Mario Betti died less than a month after these first results. These studies were resumed only a few decades later, when knowledge in the stereochemical field had become more solid and the instruments more advanced. Betti's 1942 studies continue to be cited for their pioneering character.

Keywords: Mario Betti, stereochemistry, stereoisomerism, Hugo Schiff, Giacomo Ciamician

Riassunto – Mario Betti, nato nel 1875, appartiene ad una storica famiglia di farmacisti. Egli intraprese la carriera universitaria dopo la laurea in chimica e farmacia conseguita a Pisa nel 1897, come assistente a Firenze di uno dei massimi chimici dell'epoca: Hugo Schiff (1834-1915). Salito in cattedra nel 1908 a Cagliari, si trasferì a Siena nel 1910, dove fu anche Magnifico Rettore. Successivamente passò all'Università di Genova ed infine nel 1923 vinse il concorso nazionale per la cattedra di chimica presso l'Ateneo bolognese, resa vacante dalla morte del celebre scienziato Giacomo Ciamician (1857-1922). I suoi studi spaziavano in molti rami della chimica; celebre in chimica organica la «relazione di Betti e la «reazione di Betti», ancora oggi largamente utilizzata. Compì ana-

¹ Per la stesura del contributo ci si è avvalsi di materiali provenienti dall'Archivio Betti – del quale l'autore è attuale proprietario e conservatore – e del più completo profilo biografico di Mario Betti dato alle stampe [1 e 2].

lisi idrologiche in tutte le terme d'Italia, sintetizzò con successo importanti tipi di gomma. Egli ha compilato vari paragrafi per l'Enciclopedia Treccani, prima edizione. Lo studio che più lo appassionò fu la stereochimica e, nel 1942, ottenne la scoperta per la quale è più famoso: riuscì nella "sintesi totale" di composti otticamente attivi, partendo da molecole esclusivamente di sintesi di laboratorio, rivoluzionando così la tesi sostenuta dai tempi di Pasteur dell'inimitabilità della *vis vitalis*. Mario Betti morì meno di un mese dopo questi primi risultati. Tali studi furono ripresi solo alcuni decenni più tardi, quando le conoscenze in campo stereochimico si erano fatte più solide e le strumentazioni più avanzate. Gli studi di Betti del 1942 continuano ad essere citati per il loro carattere pionieristico.

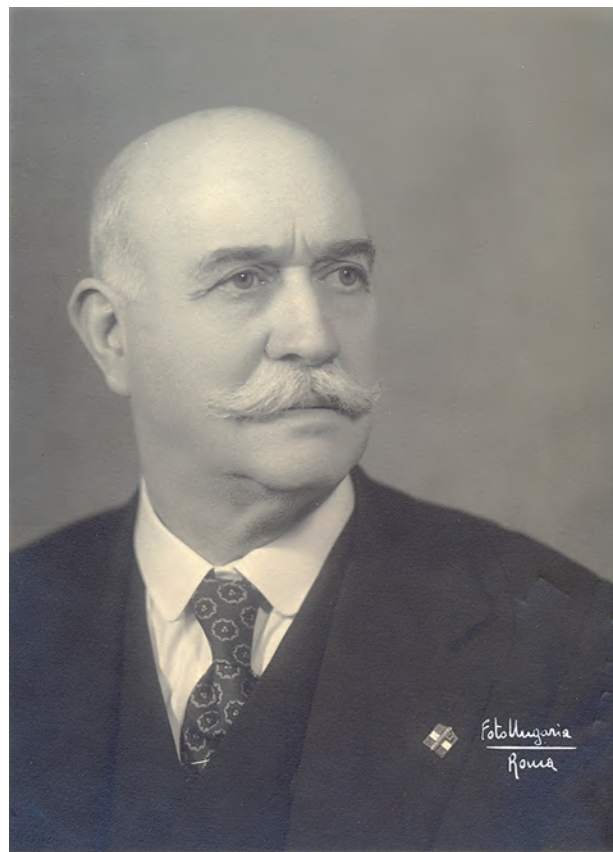
Parole chiave: Mario Betti, stereochimica, stereoisomeria, Hugo Schiff, Giacomo Ciamician

Mario Betti nacque con il fratello gemello Adolfo il 21 marzo 1875, nella casa paterna, posta ancora oggi sopra la storica farmacia di famiglia. Una farmacia che rientra tra le storiche italiane: fondata nel 1709, poi di padre in figlio arrivata fino a noi costituendo un primato mondiale: quest'anno, 2022, sono 313 anni di storia e nove generazioni di farmacisti.

Entrambi i fratelli seguirono i normali corsi di studio, sempre con le massime votazioni fino al diploma con il massimo dei voti al liceo classico Machiavelli di Lucca. Adolfo, che si era anche diplomato al conservatorio sempre con il massimo dei voti, iniziò la carriera di violinista che lo portò ai vertici mondiali, particolarmente con il suo quartetto, il Flonzaley Quartet [15].

Mario, afflitto da artrite deformante che lo tormentò tutta la vita, dovette abbandonare i propri sogni di musica e, per il desiderio dei genitori, anche la strada umanistica e letteraria, iscrivendosi al corso di laurea in Chimica e Farmacia dell'Università di Pisa (al tempo un corso unico). Gli studi di Betti furono velocissimi fino alla laurea con il massimo dei voti assoluti e nel 1897, ad appena 22 anni, ottenuta la benevola comprensione paterna, intraprese la carriera universitaria. Il giovane si mise subito in luce, diventando assistente nel 1898 del grande chimico Hugo Schiff (1834-1915), allora direttore e fondatore dell'Istituto di Chimica Farmaceutica dell'Università di Firenze. Mario Betti si rivelò subito un grande chimico. È del 1900-04 una reazione di sintesi ancora oggi denominata Reazione di Betti. L'industria chimica la utilizza sempre e, dopo 120 anni, molte ricerche universitarie ne studiano le implicazioni [12; 16; 17].

In quegli anni fiorentini scoprì una relazione particolare tra le proprietà acide di molte sostanze e il loro po-



Mario Betti.

tere rotatorio: questa relazione è ancora oggi chiamata "Relazione di Betti" e, come ebbe a scrivere Giovanni Battista Bonino (1899-1985) in una sua commemorazione: "*costituisce uno degli apporti più degni di speciale rilievo nel campo della chimica organica generale dei primi lustri del secolo*" [11]. Questa scoperta contribuì alla sua nomina a professore ordinario nel 1907, ad appena 32 anni, alla cattedra all'Università di Cagliari, dove fondò l'istituto di chimica farmaceutica di quella università. Nel 1910 vinse il concorso per la cattedra di chimica farmaceutica a Siena, dove fu successivamente nominato preside della facoltà di scienze e poi, a 42 anni, eletto come più giovane rettore universitario italiano.

Il 2 gennaio 1922 moriva lo scienziato Giacomo Ciamician, nato nel 1857, che con le sue ricerche aveva lanciato l'Ateneo bolognese e la chimica italiana ai vertici mondiali. L'Università di Bologna non volle assumersi la responsabilità di questa pesante successione. Fu così istituito un concorso, definito all'epoca il *Concorsissimo*, a cui parteciparono chimici di tutta Italia. Il risultato della commissione decretò Mario Betti vincitore assolu-

to. A Bologna egli svolse tutta la sua successiva carriera. Portò a compimento l'Istituto di Chimica in via Selmi, iniziato da Ciamician, che negli anni '30, quasi sicuramente in concomitanza con il decennale dalla scomparsa del grande scienziato, Betti volle intitolare al suo illustre predecessore.

Gli ambiti delle ricerche scientifiche di Betti furono moltissimi. Ad esempio, compì studi rivoluzionari sull'invecchiamento della gomma. I suoi brevetti furono utilizzati dall'industria, migliorando notevolmente la qualità delle maschere antigas che furono utilizzate durante le guerre mondiali. Alcune voci dedicate agli usi della gomma nella monumentale Enciclopedia Treccani, come altre, furono redatte da lui.

Si dedicò anche alle analisi delle acque termali, su cui sicuramente influì la terra di origine: Bagni di Lucca è infatti una storica stazione termale. Le sue analisi furono particolarmente approfondite, tanto da essere chiamato ad analizzare quasi tutte le acque termali italiane. Era estremamente scrupoloso ed aveva rivoluzionato le prassi utilizzate fino ad allora, costruendo un laboratorio viaggiante per raggiungere le sorgenti più disagiate, sostenendo che alcuni parametri nel trasporto potevano alterarsi. La sua competenza lo portò ai vertici anche in questo campo: Fu, infatti, presidente del reparto di idrologia e direttore del centro di chimica idrologica del consiglio nazionale delle ricerche [19]. Ma come già accennato, i campi di ricerca ai quali Betti si dedicò furono molteplici: egli passava il giorno all'Università, la notte in laboratorio.

Lo testimoniano le sue oltre 150 memorie scientifiche. Un numero che può non sembrare elevato oggi, ma che furono il frutto di un lavoro che non svolse mai in *équipe*, come è prassi odierna, ma da solo o con l'aiuto di un solo assistente.

Non gli mancarono i riconoscimenti culturali e scientifici; impossibile citarli tutti. Oltre che cattedratico di chimica generale, inorganica, organica e idrologia, fu preside della facoltà di scienze di Bologna, socio dell'*Accademia delle Scienze dei XL*, socio nazionale dell'*Accademia dei Lincei*, presidente del *reparto di idrologia e direttore del centro di chimica idrologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche*, rappresentante italiano e membro del *consiglio di presidenza della Commissione Internazionale per la riforma della nomenclatura della Chimica Organica* (facente capo all'Unione Internazionale di Chimica Pura e Applicata, IUPAC), rappresentante del *Consiglio Nazionale delle Ricerche per il gas metano*, socio della *Société Chimique de France*, della *Société de Chimie Physique di Parigi*, della *Deutsche Bunsen-Gesellschaft*,

Presidente dell'*Accademia Benedettina*, accademico dell'*Accademia Nazionale di Agricoltura di Torino*, socio delle *reali accademie delle scienze di Torino e Lucca*, dei *Fisiocritici di Siena*, della *Valdarnese del Poggio di Montevarchi*, della *Ligustica di Genova*, membro della *Commissione ministeriale permanente per lo studio delle acque*, Vicepresidente generale della *Società Chimica Italiana*, Cavaliere dell'*Ordine dei Santi Maurizio e Lazzaro*, Aggregato alla *Reale Accademia d'Italia*. Nel 1939 venne infine nominato senatore. A quel tempo venivano nominati al Senato coloro che più si distinguevano nei vari campi: scienze, lettere, arti, industria magistratura, etc. Nel 1934, Mario Betti conferì la laurea *Honoris Causa* a Guglielmo Marconi.

Tra il 1938 e il 1942 Mario Betti pervenne ai risultati dell'obiettivo che inseguiva da anni [6-9]. Quasi un secolo prima, Louis Pasteur (1822-1895) aveva affrontato il problema della differenza tra i composti organici asimmetrici, vale a dire quelle sostanze che, *allo specchio*, risultano invertite e quindi diverse perché non sovrapponibili. Nella loro sintesi tali composti possono quindi presentarsi in una forma o nell'altra, (definite rispettivamente *levo* o *destrogiro* perché, se messe in soluzione, fanno ruotare la luce polarizzata verso destra o verso sinistra perciò dette otticamente attive). Tali composti, quando prodotti in natura, si presentano in una sola delle due forme, che è funzionale a reazioni successive biochimiche, mentre l'altra forma è inerte e inutile. Gli stessi, ottenuti per sintesi in laboratorio, presentavano invece la miscela delle due forme, detta *racemo*. Queste sostanze in natura sono numerose: molti zuccheri, aminoacidi, enzimi, sono non simmetrici, cioè possono presentarsi come una chiave che, se "realizzata speculare", non entra nella serratura. Metaforicamente, in natura mescolando ipoteticamente palmo e dita si forma solo una delle due mani, mentre in laboratorio si forma la miscela di entrambe, di cui una funzionale e una inutile. Il meccanismo chiave-serratura è alla base delle reazioni chimiche, come pure della funzione dei farmaci. In pratica, in laboratorio si otteneva la miscela delle due mani, quella attiva e quella inerte; in natura solo quella attiva.

Pasteur ne aveva concluso che questa differenza era dovuta alla mancanza della *vis vitalis*, cioè del soffio divino. Scriveva Pasteur: "*La dissimmetria molecolare è la grande caratteristica che stabilisce la sola linea di distinzione ben netta fra la chimica della materia morta e la chimica della materia vivente*" [18, 48]. L'argomento era stato ripreso dal fisico Premio Nobel Pierre Curie, successivamente nel 1894 dagli scienziati Joseph Achille Le Bel (1847-1930) e Jacobus Henricus van't Hoff (1852-



Mario Betti primo a sinistra seduto accanto a Ugo Schiff, in piedi con fiore all'occhiello Adrian Ostrogovich, Istituto di chimica farmaceutica Firenze maggio 1904.

1911), solo per citare quelli più noti [3; 5; 14; 20; 21]. Alcuni passi avanti erano stati fatti, ma per ottenere composti attivi, cioè esclusivamente una mano destra o sinistra da una reazione, continuava ad essere necessaria l'intervento biochimico di esseri viventi (muffe, lieviti, microrganismi), quindi in qualche modo della "vita".

Chimici americani, greci, francesi e tedeschi stavano tentando di risolvere il problema quando, con una pubblicazione intitolata *Chimica organica e vitalismo*, presentata in anteprima all'Accademia di Scienze, Lettere e Arti di Lucca, Mario Betti annunciò al mondo di aver risolto quello che in molti a quel tempo definivano un "grande enigma della natura", sintetizzando composti attivi in laboratorio, cioè una sola delle due mani e non la miscela della mano destra e sinistra, con materie esclusivamente 'morte', ovvero di sintesi o artificiali [5].

L'idea innovativa di questo pionieristico esperimento fu l'utilizzo della luce solare polarizzata su sostanze gassose invece che liquide, che in questo modo avevano minori forze di attrazione interne. Betti utilizzò cloro e propilene sintetizzando 1,2 bicloropropano (oggi definito 1,2-dicloropropano) e da questo glicole propilenico, poi acido lattico ed infine alanina [9]. Tutti composti otticamente attivi.

Tutti i giornali dell'epoca, sia italiani che stranieri, si interessarono alla questione, quelli non scientifici particolarmente per i suoi risvolti filosofici, poiché la scoper-

ta determinava la fine di un pregiudizio, cioè della 'misteriosità inimitabile della vita'. Un articolista commentò sulla terza pagina del quotidiano la Nazione del 26-27 aprile 1942: "I professori Betti di altri tempi avrebbero rischiato il rogo da parte della santa inquisizione".

I commenti furono molti e, come sempre, ci furono tentativi di strumentalizzare l'evento. Come se la scoperta di Mario Betti potesse essere cavalcata, sia a livello politico che antireligioso. Realmente il suo concetto, estremamente scientifico e da ricercatore, chiariva semplicemente che la *vis vitalis* non c'entrava niente con la dissimmetria molecolare. Ma considerava invece realtà operante la *vis vitalis* come moderatrice di quel meraviglioso insieme di costruzioni e demolizioni che hanno sede negli organismi. Mario Betti aveva infatti un rispetto enorme per la natura e la vita e riteneva estremamente pericoloso voler forzare arbitrariamente i processi naturali. A conferma di ciò, aveva scritto in una relazione presentata precedentemente a questa scoperta, nel 1926, *Problemi ed aspetti della chimica della materia vivente*:

"Come e perché quella trascurabile quantità di materia che costituisce il minuscolo seme di molti alberi grandi si sviluppi riproducendo fusto, rami, foglie, fiori, frutti [...]. Come e perché la quantità quasi imponderabile di materia che costituisce il seme umano, che è il solo contributo "materiale" che l'uomo dà alla creazione di un nuovo organismo, contenga in sé e lasci poi sviluppare un essere avente spesso le stesse caratteristiche di sta-



Aula magna di Bologna 5 maggio 1934, Mario Betti consegna laurea Honoris Causa a Guglielmo Marconi. primo piano da sinistra: Mario Betti preside della facoltà di scienze, Guglielmo Marconi, Alessandro Ghigi Rettore Università, Quirino Majorana ordinario di Fisica.

tura, di aspetto, di andamento, di atteggiamento mentale e perfino certe piccole imperfezioni fisiche e morali dell'essere progenitore [...] problema formidabile: davanti al quale la nostra mente si arresta quasi intuendo nella Vita qualcosa al di sopra della realtà ed in noi stessi qualcosa al di là della morte [...]. Problema del quale sembra vano chiedere la risoluzione alla scienza e allo sperimento, forse perché è prestabilito che rimanga celato all'uomo, a questo fanciullo curioso, il segreto della sua origine e della sua creazione" [3, 14 - vd. anche 4].

La genetica era agli albori. Il DNA fu scoperto oltre dieci anni più tardi.

Una curiosità: questa relazione, letta all'Archiginnasio di Bologna il 31 ottobre 1926, era stata scritta per l'ambiente universitario e addetti ai lavori, ma ebbe una nuova stesura con un linguaggio comprensibile anche a profani perché volle assistervi Benito Mussolini, in visita nella città felsinea. Egli variò così improvvisamente il programma ufficiale per l'inaugurazione del nuovo Stadio Littorio. Uscito dalla relazione, Mussolini subì il suo quarto attentato per mano del giovane anarchico Anteo Zamboni. Forse il corso della storia sarebbe stato diverso se Mussolini non avesse deciso di variare improvvisamente il programma stabilito.

La ricerca sulla sintesi di sostanze otticamente attive con materia morta rimase un lavoro iniziato ma purtroppo interrotto, questo va detto. Lo ha ben sottolineato Goffredo Rosini, cattedratico nella facoltà di Chimica Industriale di Bologna, incuriosito da una conferenza te-

nuta da Ryoji Noyori dell'Università di Nagoya, il quale aveva citato la scoperta di Mario Betti come bibliografia di base del suo studio rivoluzionario che gli è valso il premio Nobel per la chimica nel 2001. Rosini ha pubblicato una sua indagine a tal proposito, edita dall'Accademia dei XL di cui è socio, come 60 anni prima ne era stato socio Mario Betti. In questa pubblicazione del 2003 [20 e 21], facendo un parallelo tra le ricerche di Mario Betti e il Nobel Noyori, Rosini afferma come il campo di ricerche delle quali Betti è stato fu uno dei pionieri, sia oggi cresciuto in importanza sia dal punto di vista di ricerca di base che applicata con realizzazioni industriali di grande importanza. Rosini scrive quindi in questa sua pubblicazione:

"Possiamo dire che Betti e [Elio] Lucchi [suo assistente] nel 1940 sono andati molto vicini al successo, e sono trascorsi 62 anni dal lavoro del 1940 [...]. Ritengo che senza grandi tentennamenti si possa convenire che i due ricercatori italiani siano stati dei pionieri nello studio dei problemi connessi alla asimmetria" [21, 111, 119].

Ma perché allora studi tanto pionieristici si interromperono? Perché il tempo è sovrano. Tra l'ultima comunicazione della sintesi di sostanze otticamente attive con materia morta presentata da Mario Betti il 19 aprile 1942 all'Accademia delle Scienze di Bologna e la sua morte, il 13 maggio dello stesso anno, trascorsero soli 24 giorni. Il male che lo affliggeva da tempo e che si era aggravato

negli ultimi mesi lo aveva costretto a notti insonni per la paura di non riuscire a concludere il proprio lavoro. Il giovane Elio Lucchi, suo assistente, morì tragicamente in un incidente l'anno successivo.

I loro successori cambiarono l'indirizzo delle ricerche nell'Istituto Ciamician, non avendo particolare conoscenza e interesse nel settore. I risultati ottenuti da Betti e Lucchi non hanno avuta conferma in esperimenti successivi, condotti da altri ricercatori [10]. In effetti lo studio del meccanismo della reazione di sintesi dell'1,2-dicloropropano a partire da propene e cloro elementare, non noto ai tempi di Betti ma con le conoscenze odierne, a distanza di 80 anni, esclude che la luce possa avere un ruolo nella sintesi preferenziale di uno dei due possibili enantiomeri. Come possibile spiegazione dei dati ottenuti da Betti e Lucchi si è anche adombrata l'ipotesi di falso [14]. Il tipo di scienziato e ricercatore sempre molto attento e scrupoloso che aveva sempre dimostrato di essere, i risultati dei suoi studi raggiunti in passato, lascia perplessi su dubbi del genere. Certo è che Betti si mostrò convinto dei risultati ottenuti, confermati in oltre 2 anni di sperimentazione. Scrive infatti nella memoria letta il 24 maggio 1941 alla Reale Accademia Lucchese di Scienze Lettere ed Arti:

“Il tentativo è stato coronato dal pieno successo, poiché siamo riusciti ad ottenere la formazione di un composto ben definito, che è stato sottoposto ad analisi chimica e che è dotato di sicura attività ottica, destrogiro se ottenuto con la luce polarizzata circolarmente a destra, sinistrogiro con quella sinistra, composto che si può riscaldare e distillare senza che perda la sua attività ottica [...]; la prima sostanza otticamente attiva ottenuta indipendentemente dalla Vita. Debbo confessare che è già più di un anno che questo risultato è stato da noi conseguito, ma data la portata del fatto che abbiamo accertato, è soltanto ora, dopo numerosissime riprove e dopo molteplici conferme, che mi sono deciso a renderlo pubblicamente noto” [5].

Nel 1942 quindi, al momento della morte, la sperimentazione e i risultati erano stati riprovati e conseguiti per oltre due anni, ma i primi risultati erano già stati ottenuti fra 1937 e 1938 [6 e 7]. Alla morte di Betti, sulla sua scrivania sono stati trovati fogli, appunti, considerazioni, studi di risultati di reazioni in corso. Tutti questi documenti, in massima parte scritti a mano, furono raccolti frettolosamente in una busta e finiti in un deposito in soffitta, recuperati fortunatamente solo di recente. Forse un esame di tutto questo materiale da parte di studiosi, per non dire una sperimentazione che seguisse pedissequamente gli stessi protocolli, potrebbe permettere di trovare una attendibile spiegazione scientifica sul perché Betti e Lucchi ottennero i risultati che poi pubblicarono.

Le esequie di Mario Betti, di cui sono piene le crona-

che dell'epoca, furono maestose [1, 2 e 13]. A Bologna il 15 maggio 1942, insieme ad un enorme numero di autorità civili e religiose giunte da tutta Italia e a migliaia di persone che vollero rendergli l'ultimo saluto, sfilarono un plotone di guardie municipali ed il battaglione del 6° Genio con accompagnamento di musica reggimentale. L'Università sospese l'attività e Bologna si vestì a lutto e la notizia della scomparsa fu trasmessa alla radio. A Bagni di Lucca, dove fu portato per la sepoltura il giorno successivo, le dimostrazioni di affetto non furono da meno.

Concludo questo sintetico ricordo sottolineando come non solo la sua figura, ma l'intero periodo storico scientifico del primo Novecento potrà attingere a nuove e inedite notizie quando verrà completata l'analisi della corrispondenza ancora inedita di Mario Betti – di cui sono venute recentemente in possesso dopo varie traversie familiari – attualmente oggetto di indagine e inventariazione. Questa è formata da diverse migliaia di lettere, tra le quali, oltre a quelle di chimici come Giacomo Ciamician, Ugo e Roberto Schiff, Raffaello Nasini, Guido Pellizzari, Nicola Parravano, Riccardo Ciusa, Adrian Ostrogovich, Angelo Angeli, Arnaldo Piutti, ne sono state trovate anche di Guglielmo Marconi, Enrico Fermi, Giovanni Gentile, Giovanni Pascoli e diversi altri tra studiosi, politici e artisti.

L'analisi di questi documenti sicuramente permetterà un approfondimento storico e porterà interessantissimi contributi sulla chimica e la scienza italiane della prima metà del secolo scorso.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ARCHIVIO PRIVATO di Massimo Betti, serie *Corrispondenza e Scritti*.
- [2] BERLINGOZZI Sergio, 1951. *Mario Betti (1875-1942). Commemorazione del 18 gennaio 1953* [...]. «Gazzetta chimica italiana», 83, pp. 693-719.
- [3] BETTI Mario, 1927. *Problemi ed aspetti della chimica della materia vivente. Discorso tenuto all'Archiginnasio di Bologna il 31 ottobre 1926 alla presenza di S. E. Benito Mussolini*. Pavia, Premiata Tipografia Successori Fratelli Fusi.
- [4] BETTI Mario, 1930. *Alchimia e chimica. Discorso letto il 9 novembre 1929 per la solenne inaugurazione degli studi nell'aula magna della R. Università di Bologna*. Bologna, Tipografia Paolo Neri.
- [5] BETTI Mario, 1941. *Chimica organica e vitalismo. Memoria letta il 24 Maggio 1941*. Lucca, Scuola tipografica Artigianelli.
- [6] BETTI Mario, Lucchi Elio, 1937. *Ricerche sulla sintesi asimmetrica totale*. «La ricerca scientifica» 8,11, pp. 130 e segg.
- [7] BETTI Mario, Lucchi Elio, 1938. *Ricerche sulla catalisi asimmetrica. Sintesi asimmetrica assoluta*, AA.VV. (a cura di), *Atti*

- del X congresso internazionale di chimica – Roma, 15-21 Maggio 1938*. Roma, Tipografia Editrice Italia, 1938 (5 voll.), II, pp. 112-116.
- [8] BETTI Mario, Lucchi Elio 1940. *Ricerche sulla catalisi asimmetrica. Asimmetria indotta mediante il reattivo di Grignard*. «Bollettino scientifico della Facoltà di Chimica industriale - Bologna», 1,1-2, pp. 1-4.
- [9] BETTI Mario, Lucchi Elio, 1942. *Ricerche sulla sintesi asimmetrica assoluta*. «Atti dell'Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna», 9, pp. 203-214.
- [10] BOLDT, Peter, Wilfried Thielecke, Hilmar Luthe, 1971. *Sind absolute asymmetrische Photosynthesen möglich?* «Chemische Berichte», 104, pp. 353-359.
- [11] BONINO Giovanni Battista, 1943. *Commemorazione di Mario Betti*. «Atti della Reale Accademia d'Italia - Rendiconti della classe di scienze fisiche, matematiche e naturali», 4, pp. 245-255.
- [12] CARDELLICCHIO Cosimo, Maria Annunziata M. Capozzi, Francesco Naso, 2010. *The Betti Base. The Awakening of a Sleeping Beauty*. «Tetrahedron: Asymmetry», 21,5, pp. 507-517.
- [13] COPPADORO Angelo, 1942. *Mario Betti*. «La Chimica e l'Industria», 24, p. 187.
- [14] D'AURIA Maurizio, 2019. *La chiralità in reazioni fotochimiche. Un caso di falso?* Taddia Marco (a cura di), *Atti del XVIII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*. Roma, Accademia nazionale delle scienze detta dei XL, pp. 225-234.
- [15] LOMBARDI-LOTTI Mansueto, 1975. *Adolfo e Mario Betti a cent'anni dalla nascita*. «Atti dell'Accademia lucchese di scienze lettere e arti, estr.
- [16] LU JUN, et al., 2002. *Synthesis of chiral derived from the Betti base and their use in the enantioselective addition of diethylzinc to aromatic aldehydes*. «Tetrahedron: Letters», 43,46, pp. 8367-8369.
- [17] NASO Francesco, 2017. *Mario Betti: A Giant in the Chemistry Scenario of the Twentieth Century*. «Substantia: An International Journal of the History of Chemistry», 1,2 pp. 111-121.
- [18] PASTEUR Louis, et al., 1861. *Leçons de chimie professées en 1860*. Paris, Librairie de L. Hachette et C.^{ie}.
- [19] REBIZZI Roberto, 1931. *Le cure termali dei Bagni di Lucca*. «Rivista di idrologia, climatologia e terapia fisica», 42, pp. 3-11.
- [20] ROSINI Goffredo, 1999. *L'autocatalisi in sintesi asimmetrica: una vicenda di chimica seguita e raccontata da uno spettatore*. «La Chimica e l'Industria», 81, pp. 231-238.
- [21] ROSINI Goffredo, 2003. *In margine al conferimento della Laurea ad honorem a Ryoji Noyori: un'escursione nel passato della chimica bolognese sulle orme di Mario Betti ed Elio Lucchi*. «Rendiconti dell'Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL - Memorie di Scienze Fisiche e Naturali», 27,1, pp. 99-133.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 87-96
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La morte del petrolchimico di Marghera e la nascita di un polo di chimica Verde

FERRUCCIO TRIFIRÒ

Professore emerito Università di Bologna, Direttore de “La Chimica e l’Industria”
E.mail: ferruccio.trifiro @unibo.it

Abstract – The Marghera petrochemical plant, born as a chemical center in 1953 using methane as raw material, was transformed in a petrochemical center in 1973 and it has been in the past the largest in Italy and one of the largest in Europe and it has been closed as a petrochemical center in May 2022. The first production of the chemical center was that one of PVC with all its raw materials and it has been also the last petrochemical plant closed in 2009. The closure of the plants was largely due to the non-authorization to an increase in their production due to the strong environmental impacts of the plants. There was a referendum in 2004 in Marghera, where the city favored the closure of chlorine production and in 1981 there was the killing by terrorists of the petrochemical director accused of the deaths of workers and their dismissals. The last plant of petrochemical center was closed in 2009, while the plants of steam-cracking and reforming which send the raw materials to the chemical industries of Mantova, Ferrara and Ravenna closed in May 2022. However, in Marghera there is still a chemical center, that do not use local petrochemical raw materials and their number will increase in the next years by developing a pole of green and sustainable chemistry. Marghera has become a docking port for ships from the Priolo petrochemical plant that transport raw materials to be sent to the chemical poles of Ferrara, Mantova and Ravenna.

Keywords: Petrochemical Marghera, Chemistry of North Italy, Chemical pole Marghera

Riassunto – Il petrolchimico di Marghera nato come polo chimico nel 1953, utilizzando metano come materia prima e come petrolchimico nel 1973, è stato il più grande d’Italia nel passato ed uno dei più grandi di Europa ed è stato chiuso, come petrolchimico nel maggio 2022. La prima produzione del polo chimico è stata quella del PVC a partire da tutte le sue materie prime. Questo è stato anche l’ultimo impianto chiuso al petrolchimico. La chiusura degli impianti fu dovuta in gran parte per la non autorizzazione ad un aumento della loro produzione, a causa del forte impatto ambientale degli impianti. Ci fu un referendum nel 2004 in città, a Marghera, che risultò favorevole alla chiusura della produzione di cloro e ci fu nel 1981 l’uccisione di un suo presidente da parte di terroristi a seguito di incidenti sul lavoro e di licenziamenti. L’ultima produzione petrolchimica fu chiusa nel 2009, mentre gli impianti di steam-cracking e di reforming, che rifornivano di materie prime le industrie chimiche di Mantova, Ferrara e Ravenna, chiusero nel maggio 2022. Comunque, a Marghera è ancora presente un polo chimico di industrie che non utilizzano materie prime petrolchimiche locali e che aumenteranno in numero nei prossimi anni sviluppando un polo di chimica verde e sostenibile. Marghera è diventata un porto di attracco delle navi provenienti dal petrolchimico di Priolo che trasportano le materie prime da inviare ai poli chimici di Ferrara, Mantova e Ravenna.

Parole chiave: Petrolchimico Marghera, Chimica Nord Italia, Polo chimico Marghera

1. Perché tanto interesse per Marghera?

I diversi motivi perché c'è tanto interesse a parlare dell'ex-petrolchimico di Marghera sono legati sia alla sua storia passata, sia alle sue prospettive future [2, 17, 18]. Gli impianti di steam-cracking di produzione di olefine e di produzione di aromatici da frazioni di petrolio, che producevano le materie prime petrolchimiche per Marghera e per altre industrie chimiche del Nord Italia, sono stati chiusi definitivamente il 15 maggio 2022, creando molta preoccupazione per la chimica del Nord Italia. Questi impianti sono stati gli ultimi impianti rimasti attivi nel petrolchimico di Marghera ed a partire dal 2009 inviavano solo materie prime agli impianti petrolchimici di Mantova, di Ferrara e di Ravenna [17].

Marghera era stato il più grande petrolchimico in Italia ed uno dei più grandi in Europa ed era stata strategica per la chimica italiana per i seguenti motivi: c'erano produzioni uniche per il nostro Paese; oltre che inviare riceveva anche materie prime essenziali da altri siti produttivi; da anni era sotto accusa per il suo impatto ambientale e sotto l'attenzione dei media per un processo storico ai suoi dirigenti; era il polo chimico dove sono stati uccisi da terroristi il suo direttore ed il vicedirettore accusati dell'impatto ambientale e della chiusura di alcuni stabilimenti; c'era stato un referendum in città a Marghera per chiedere l'eliminazione dell'utilizzo del cloro utilizzato per diversi processi produttivi importanti per Marghera che producevano un forte impatto ambientale ed il risultato del referendum era stato favorevole alla chiusura della produzione di cloro.

A Marghera è stata creata la prima bioraffineria al mondo, realizzata trasformando una raffineria da petrolio, per produrre biodiesel a partire da olio di palma, che nei prossimi anni sarà sostituito da olii non utilizzabili a scopo alimentare, con la creazione di nuovi impianti di loro purificazione.

Nei prossimi anni sarà realizzato un impianto di riciclo di rifiuti plastici ed è ancora presente un polo chimico, che non utilizza materie prime da petrolio, che aumenterà di importanza nei prossimi anni, a seguito della costruzione di diversi nuovi impianti.

2. Nascita del petrolchimico di Marghera

Le attività industriali di Marghera risalgono al 1917 ed erano concentrate sulla produzione di alluminio, fertilizzanti, laminazione dell'acciaio e cantieri navali. Solo dopo la guerra nel 1953 partì la chimica industriale organica, quando l'Edison, azienda elettrica, presente già

sul territorio, decise di entrare in chimica fondando una Società Italiana di Chimica (Sicedison), avviando le produzioni di cloro-soda, cloruro di vinile monomero, il suo polimero (PVC), ammoniaca e fertilizzanti [12, 18, 19].

Perché l'Edison entrò in chimica? La produzione di cloro-soda, processo ad elevato consumo di energia, era stata naturale per la Edison, a quel tempo era solo un'azienda elettrica. Ma l'allargamento nella chimica, e quindi la produzione di acetilene, cloruro di vinile e PVC, è stato motivato dalla richiesta imminente della nazionalizzazione dell'energia elettrica, e quindi dall'esigenza di trovare una nuova attività industriale per gli azionisti, per utilizzare il denaro ottenuto dal governo in risarcimento della cessione degli impianti di produzione di energia. È utile ricordare che quello che storicamente è chiamato il petrolchimico, non è nato a partire dal petrolio, ma dal metano, sfruttando una chimica anteguerra, quella dell'acetilene prodotto dal metano. Infatti, nel 1954 furono messe in marcia due linee di produzione di cloruro di vinile a partire da acetilene e HCl con catalizzatori a base di Hg, con i connessi problemi di impatto ambientale.

Successivamente, nel 1963, fu creata una nuova linea di produzione di cloruro di vinile per clorurazione dell'etilene proveniente da Mantova, prodotto dal petrolio, materia prima più economica dell'acetilene, utilizzando un processo in due stadi: nel primo veniva prodotto dicloroetano per clorurazione dell'etilene, che poi veniva trasformato a cloruro di vinile ed HCl. Per utilizzare *in situ* l'HCl, formato nella precedente reazione, era stata mantenuta in attività la vecchia linea di produzione di cloruro di vinile a partire da acetilene e quindi era ancora utilizzato metano come materia prima.

Infine, nel 1972 nacque il petrolchimico, quando furono realizzati lo steam-cracking della nafta pesante proveniente dalla locale raffineria per produrre olefine, e l'impianto di produzione di aromatici che riceveva materie prime dallo steam-cracking per fornire materie prime non solo agli impianti di Marghera, ma anche a quelli del Nord Italia. Nel corso degli anni a Marghera, dopo avere costruito l'impianto di steam-cracking e di produzione di aromatici, furono costruiti i seguenti impianti: di acrilonitrile e di fibre acriliche, di ϵ -caprolattame per produrre nylon 6, di toluendiisocianato per produrre poliuretani, di acetonecianidrina per produrre metilmetacrilato, di percloroetilene, di tetracloruro di carbonio, di HF e di idrofluorocarburi [3].

Ci sono state molte accuse negli anni Settanta alla localizzazione delle produzioni chimiche vicino San Marco a Venezia. Comunque, nel 1953, quando è stato crea-

to il polo chimico, non era ancora sentita, come irrazionale, la sua realizzazione di fronte a San Marco: la zona era molta povera, i terreni dove si era sviluppato il petrolchimico erano acquitrinosi ed erano stati utilizzati riempiendoli di rifiuti industriali ed un ingegnere chimico, che aveva lavorato in quegli anni allo stabilimento di Marghera, mi raccontò che aveva ancora di fronte agli occhi la lunga fila delle persone che chiedevano l'elemosina di fronte al polo chimico [9].

3. L'importanza della produzione di PVC a Marghera ed in Italia

La produzione di PVC è stato il primo impianto di sintesi organiche realizzato al polo chimico di Marghera nel 1953 ed è stato l'ultimo impianto chiuso nel 2009, chiusura che ha determinato la morte finale del petrolchimico. Tutte le grandi industrie chimiche italiane sono state coinvolte nella produzione del PVC, come si può ricavare da Tab. 1, dove sono riportate le industrie attive nella produzione di PVC nel 1975 e le località dei loro stabilimenti di produzione, con quello di Marghera che era l'impianto più grande in Italia. I dati riportati in Tab.1 ci permettono di affermare che il PVC era un prodotto storico della nascita dell'industria chimica di base in Italia [11].

Tab. 1. *I produttori di PVC in Italia nel 1975.*

Società	Località	Quantità (kt/a)
Montedison	Brindisi	205
	Marghera	310
	Terni	44
Eni	Ravenna	135
Rumianca	Assemini	130
SIR	Porto Torres	100
Solvic	Ferrara	70
Liquichimica	Ferrandina	56

Sono inoltre riportate le industrie che hanno avuto in mano nel corso degli anni gli impianti di produzione di PVC a Marghera che danno un'idea della storia del petrolchimico, ma anche della storia dell'industria chimica in Italia: dal 1953 al 1966 la Sicedison; poi fino al 1988 la Montedison; poi fino al 1992 l'EniChem; poi dal 1993 al 2000 Enichem insieme a ICI (azienda inglese) che crearono l'azienda EVC (European Vinyl Corporation); poi dal 2001 al 2004 EVC insieme a Ineos Vynils (azienda inglese); poi dal 2005 fino alla chiusura nel 2009 Ineos

Vynils per la produzione di solo CVM e di PVC; mentre gli impianti di produzione di etilene, di cloro-soda e di DCE, intermedio per produrre il CVM appartenevano a Versalis, azienda dell'Eni. Nel 2009, anno della chiusura della produzione di PVC a Marghera, c'erano altri impianti in Italia solo a Ravenna e a Porto Torres, anch'essi chiusi, tutti di proprietà della Ineos Vynils [14].

4. La tossicità del PVC e le accuse alla sua produzione da parte della Società

Nel 1973 gli ambienti scientifici stabilirono l'alta cancerogenicità del cloruro di vinile monomero. Nel 1975 ebbe inizio l'indagine nazionale del sindacato unitario dei chimici (Fulc) sulle migliaia dei lavoratori esposti al cloruro di vinile monomero la cui salute risultava gravemente compromessa. Gli esiti dell'indagine della Fulc registrarono che 3/4 dei lavoratori addetti alla produzione di cloruro di vinile monomero presentavano alterazioni epatiche [9].

Nel 2005 c'è stato un referendum a Marghera sull'eliminazione del cloro utilizzato per produrre PVC e produrre fosgene intermedio per produrre toluendiisocianato. Sia il cloro che il fosgene, gas molto tossici, erano state armi chimiche utilizzate durante la Prima Guerra Mondiale.

Dopo questo referendum, il cui risultato era stato favorevole all'eliminazione del cloro, Dow, azienda americana che utilizzava il fosgene (prodotto per reazione fra CO e Cl₂), fermò in maniera autonoma lo stabilimento, senza avere ancora avuta nessuna imposizione da parte delle autorità locali, creando problemi ad altre produzioni presenti, mentre la produzione di PVC da parte della Ineos Vynils fu chiusa solo 4 anni dopo [14].

Felice Casson scrisse [2] un libro dal titolo "Fabbrica dei Veleni. Storia e segreti di Porto Marghera"; Casson, oltre che autore di questo libro, era stato anche pubblico ministero al processo del 1996 nei riguardi di 28 dirigenti ed ex dirigenti della Montedison e dell'Enichem con l'accusa di strage, omicidio e lesioni colpose multiple, per la morte da tumore di 157 operai addetti alla lavorazione del cloruro di vinile monomero (CVM) e PVC e per 103 casi di malattie analoghe contratte da altrettanti dipendenti. Queste accuse furono attribuite ai dirigenti per le attività in gran parte dal 1973-1977 per avere tenuto segrete le informazioni sulla tossicità del cloruro di vinile monomero del PVC e per l'emissione nell'ambiente di altre sostanze tossiche. Il processo fu in una prima fase concluso con la condanna di numerosi dirigenti di Enichem e di Montedison [1].

In seguito, i 28 imputati nel processo per il Petrolchimico di Porto Marghera furono tutti assolti, perché il processo consentì di accertare che tutte le malattie causate dal CVM erano riconducibili alle molto elevate esposizioni risalenti agli anni '50 e '60 e dei primi anni '70, quando se ne ignorava la tossicità, che fu evidenziata dalla comunità scientifica solo nel 1973.

5. L'uccisione del direttore del Petrolchimico

Il 5 luglio 1981 l'ing. Giuseppe Taliercio, direttore del Petrolchimico di Porto Marghera, venne ucciso dalla "colonna veneta" delle brigate rosse, dopo 46 giorni di sequestro. Nel 1980 la situazione della conflittualità a Porto Marghera era molto alta: il 29 gennaio 1980 era stato ucciso l'ing. Sergio Gori vice-direttore dello stabilimento petrolchimico e pochi mesi dopo il 12 maggio venne ucciso il commissario Alfredo Albanese che seguiva le indagini dell'uccisione di Gori [6]. Dopo le precedenti uccisioni, G. Taliercio venne rapito ed ucciso. In Fig. 1 è riportata la manifestazione degli operai in favore di Taliercio.

I terroristi uccisero Giuseppe Taliercio perché lo ritenevano responsabile delle morti sul lavoro e della messa in cassa integrazione di molti operai, ma questi aspetti negativi erano in realtà iniziati prima che lui prendesse la direzione del petrolchimico.

Proprio nel marzo 1981, la Montedison mise in cassa integrazione 616 lavoratori del Petrolchimico, quando G. Taliercio ne era il direttore, e questa scelta della Montedison senz'altro contribuì a fare decidere a G. Taliercio di chiedere le dimissioni, prima della sua uccisione.

Il petrolchimico di Marghera era definito dai terroristi che uccisero Giuseppe Taliercio una "fabbrica della morte". Infatti, la direzione del petrolchimico era da anni sotto accusa per l'utilizzo di gas tossici, come HCN, SO₂, SO₃, COCl₂, HCN, Cl₂, CO, e di sostanze tossiche, come cloruro di vinile, trielina, acetonecianidrina etc., metalli tossici come mercurio, piombo e cadmio. L'impatto ambientale del polo industriale di Marghera era avvenuto fino dalla nascita del polo chimico, proseguito nel corso degli anni, mentre le chiusure degli stabilimenti erano avvenute dal 1970 al 1979, anni precedenti all'assunzione della direzione del petrolchimico da parte di Giuseppe Taliercio, che divenne direttore nel 1980. Quindi gli anni dal 1970 al 1979 erano stati storici per Marghera, perché erano stati quelli in cui iniziò il ridimensionamento del polo industriale [19] ed in Fig. 2 la foto del suo impatto ambientale.

6. Chiusure storiche del petrolchimico

Sono descritte in questo paragrafo tre chiusure di produzioni chimiche di Marghera, le più importanti del petrolchimico, che erano realizzate con elevatissimo numero di impianti, chiusure che hanno causato poi la morte del petrolchimico e sono le seguenti: la chiusura delle produzioni di due monomeri che poi andavano ad altri siti industriali per produrre il polimero quella del ϵ -caprolattame e del toluendiisocianato uniche produzioni in Italia e la produzione di cloruro di vinile e del suo polimero il PVC, la maggiore produzione in Italia.

Nel 2002 fu annunciata la chiusura dell'impianto che produceva ϵ -caprolattame all'EniChem di Marghera,



Fig. 1. Manifestazione degli operai a Marghera.



Fig. 2. Marghera negli anni settanta.

monomero per ottenere il nylon- 6. Dopo la chiusura scrissi un articolo [7] dal titolo “Chiude il caprolattame a Marghera. Per la chimica l’inizio della fine?”. Perché era stata prevista la possibile chiusura di tutto il petrolchimico, che poi avvenne in realtà 7 anni dopo? Il processo esistente era realizzato nei seguenti diversi stadi: il cicloesanoone proveniva da Mantova e veniva trasformato a Marghera con diversi reagenti inorganici in cicloesanonossima con formazione di sottoprodotti; la cicloesanonossima veniva poi trasformata con altri reagenti inorganici e con formazione di sottoprodotti in ϵ -caprolattame, che poi veniva inviato in altri siti per la sua polimerizzazione.

Proprio per la complessità e per l’impatto ambientale di questo processo, Enichem aveva realizzato a Marghera un impianto dimostrativo di un nuovo processo, uno dei primi di chimica sostenibile al mondo, che nel 1994 andò in marcia a Marghera e che produceva 12.000 t/a di cicloesanonossima con un processo rivoluzionario catalitico, utilizzando un originale catalizzatore, la titanio silicalite Fig. 3. Questo processo non produceva solfato di ammonio e di sodio, sottoprodotti delle altre due reazioni utilizzate, e realizzava in due stadi quello che aveva bisogno nel vecchio processo, di almeno sette stadi. L’impianto dimostrativo stava lavorando senza problemi da alcuni anni a Marghera, ma l’Eni, dopo avere costruito l’impianto dimostrativo a Marghera dopo anni di ricerca, e dopo avere chiusa tutta la produzione di ϵ -ca-

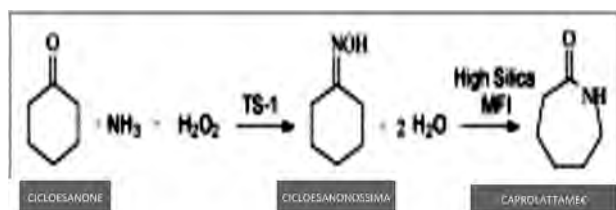


Fig. 3. Processo sostenibile per la sintesi di caprolattame.

prolattame, vendette la tecnologia alla Sumitomo che costruì l’impianto in Giappone.

Quindi il fatto che Eni non avesse realizzato a Marghera il nuovo impianto a basso impatto ambientale era un’indicazione che voleva uscire dalla chimica e quindi poteva essere il primo stadio della chiusura del petrolchimico. Inoltre, la chiusura dell’impianto avrebbe potuto portare alla chiusura di altri impianti, come quello di produzione di HNO₃ e di H₂SO₄, utilizzati per la produzione di ϵ -caprolattame. Inoltre, un’altro aspetto negativo della chiusura dell’impianto è stato che la produzione di Marghera era assorbita per il 10% dalla Aquafil e per il 90% da Radici, con stabilimenti non a Marghera, per produrre il polimero e la chiusura dell’impianto di Marghera spin se Aquafil ad acquistare uno stabilimento che produceva ϵ -caprolattame in Slovacchia, mentre Radici mise in marcia in Germania un nuovo impianto per la produzione degli intermedi per il nylon 6,6 ed anche parzialmente per il nylon 6.

In un secondo articolo del 2005 dal titolo “Scompare anche la chimica dei poliuretani: la grande beffa” [8] fu riportata la notizia della chiusura a Marghera dell’impianto di produzione di toluendiisocianato (TDI) monomero per la sintesi dei poliuretani, da parte dell’azienda americana Dow, che lo aveva acquistato, alcuni anni prima dall’ENI. Questo processo era il più complesso che era rimasto in Italia, con la presenza di più stadi e la tossicità di intermedi e di prodotti. L’aver scritto nel titolo dell’articolo la grande beffa, dando la notizia della chiusura dell’impianto, era stato motivato dalle seguenti notizie: la Dow aveva giustificato la chiusura attribuendo la decisione alla presenza di una sovrapproduzione mondiale di TDI, e quindi, si presume, alla bassa redditività del sito, ma, dopo la chiusura dell’impianto a Marghera, comunicò che avrebbe costruito un impianto gigante in Europa, il più grande al mondo. Inoltre, l’Eni, che aveva venduto l’impianto alla Dow, gli aveva ceduto anche una tecnologia alternativa a basso impatto ambiente per produrre toluendiisocianato, senza utilizzare fosgene molecola altamente tossica, ma dimetilcarbonato ed un impianto pilota era stato già realizzato a Marghera. Su questa reazione ci aveva lavorato anche Piero Tundo, professore di chimica organica a Venezia, per ottimizzare le reazioni coinvolte, ed il processo poteva diventare uno dei primi processi di chimica verde al mondo, se lo avessero ulteriormente investigato e poi realizzato a Marghera.

La sintesi di toluendiisocianato avveniva con le seguenti reazioni e reagenti tutti prodotti a Marghera: nitratura del toluene a dinitrotoluene; idrogenazione del dinitrotoluene a diamminotoluene; sintesi di fosgene

(COCl₂) da CO e H₂; reazione fra di-amminotoluene con fosgene per produrre toluenediisocianato che andava in altri siti, per essere polimerizzato a poliuretani. Il grosso problema di questa produzione era l'utilizzo di fosgene, sostanza altamente tossica (nota arma chimica).

Un incendio che era avvenuto nel 2002 nello stabilimento della Dow a Marghera, a valle della zona di utilizzo del fosgene, nella sezione di recupero del TDI dai residui alto bollenti (peci), aveva particolarmente allarmato la popolazione, intimorita dalla possibilità di un coinvolgimento anche al deposito di fosgene vicino. Molte persone nella provincia di Venezia, compreso il governatore della regione, erano ossessionate dalla possibilità che un aereo potesse cadere sull'impianto che ospitava il fosgene, e provocare una seconda Bhopal. Una parte della cittadinanza espresse il suo parere marciando con striscioni con scritto "Via il fosgene" o con sacchetti porta spesa con la stessa scritta e chiedendo un referendum sulla chimica.

Come era stato scritto in un paragrafo precedente c'era stato un referendum a Marghera sull'eliminazione del cloro utilizzato per produrre sia dicloroetano, intermedio per il PVC, ed anche fosgene intermedio per produrre toluenediisocianato. Appena dopo questo referendum, il cui risultato era stato favorevole all'eliminazione del cloro, Dow, azienda che utilizzava il fosgene, fermò in maniera autonoma lo stabilimento, senza nessuna imposizione dal governo, creando problemi ad altre produzioni presenti nel sito. Molto probabilmente la chiusura fu dovuta non tanto ad una bassa redditività, come indicato ufficialmente, ma alla paura dopo i risultati del referendum di possibili incidenti dovuti ad attacchi terroristici, eventi che sarebbero stati pesanti per la Dow ed anche per non realizzare interventi costosi per aumentare la sicurezza del processo.

In un terzo articolo del 2008 dal titolo: "Salvate la produzione di PVC, siamo all'ultima spiaggia", [14] fu scritto a seguito della notizia sulla possibile futura chiusura della produzione di PVC, che poi avvenne definitivamente nel 2009 a Marghera e in tutta Italia. Per la produzione di PVC di Marghera e della Sardegna, in mano alla azienda inglese Ineos Vynils, per migliorarne la competitività e salvarne la produzione occorreva assolutamente un intervento del governo. Infatti, il sindaco di Venezia Cacciari e il presidente della regione Sardegna Soru chiesero un incontro presso l'osservatorio chimico del Ministero dello Sviluppo economico per discutere la grave crisi della chimica italiana e ci si augurava che Ineos Vynils trovasse i finanziamenti per effettuare i necessari investimenti necessari in Italia. Il PVC era strategico

per tutta la chimica italiana ed il governo avrebbe dovuto intervenire anche con agevolazioni per i nuovi investimenti sul PVC, invogliando così anche Ineos Vynils a restare in Italia e salvare la produzione in Italia, tenendo conto che i costi per le modifiche dell'impianto erano tutte nella direzione di un miglioramento ambientale e della sicurezza dei lavoratori. La fuoriuscita dell'Italia dalla produzione di PVC, poteva essere davvero l'ultima spiaggia (come scritto nel titolo dell'articolo) per la chimica italiana ed in particolare per la produzione di PVC. Ci si augurava che Ineos potesse trovare all'ultimo minuto i finanziamenti per effettuare i necessari investimenti in Italia, o che al limite l'Eni potesse ricomprare la produzione di PVC, essendone già parzialmente coinvolta nella produzione dell'intermedio per produrre il monomero, o che altri investitori venissero in soccorso, collaborando con la dirigenza di Ineos Italia.

Comunque, niente di queste proposte fu realizzato, la produzione di PVC non fu salvata ed Ineos Vynils lasciò l'Italia nel 2009 e tutti gli impianti di produzione di PVC in Italia furono chiusi.

7. Il rapporto di Marghera con l'Industria Chimica del Nord Italia

In Fig. 4 sono riportate le materie prime per l'industria chimica che erano prodotte dagli impianti di steam-cracking e di reforming di Marghera, da parte di Versalis, ottenute a partire dalla nafta pesante e dal gasolio proveniente dalla raffineria di Marghera e da altre raffinerie [3]. I prodotti di questi impianti che a partire dal 2009 non erano più utilizzati a Marghera, ma venivano inviati solo ai poli chimici di Mantova, Ferrara, Ravenna e Priolo come era stato nel passato [3]. Di seguito sono riportati i diversi prodotti, le località il tipo di utilizzo e le aziende a cui venivano inviati [3]: l'etilene era inviato

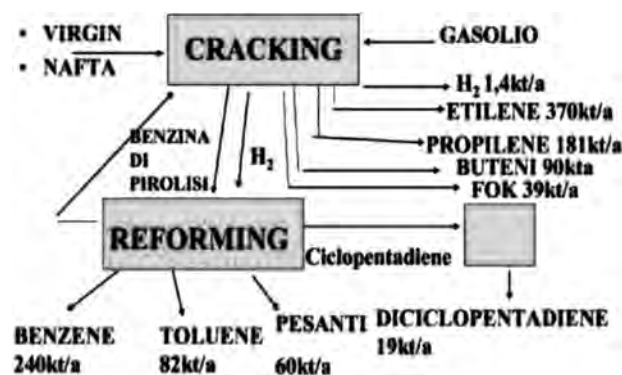


Fig. 4. L'impianto di Steam-cracking e di Reforming di Marghera.

via pipeline a Mantova a Versalis per produrre etilbenzene ed a Ferrara per produrre gomme etilene-propilene e polietilene; il propilene era inviato sempre via pipeline a Ferrara a LyondellBasell per produrre polipropilene ed a Polimeri Europa per produrre gomme; i buteni e l'olio combustibile (FOK) erano inviati con bettolina a Ravenna, per produrre rispettivamente gomme da parte di Versalis e nerofumo da parte di Orion; la benzina di pirólisi insieme all'idrogeno era inviata all'impianto di reforming di Marghera, dal quale si ottenevano diversi prodotti aromatici e diolefinici; il benzene era inviato a Mantova a Versalis, via pipeline per produrre etilbenzene; il dicitlopentadiene era inviato a Versalis a Ferrara per produrre gomme; la frazione dei pesanti era inviata al petrolchimico di Priolo per produrre xileni.

Occorre sottolineare che la potenzialità dell'impianto di steam-cracking era molto bassa, 490 kt/a (nel lontano passato era stato proposto di aumentarne la potenzialità per renderlo più competitivo, ma nulla fu realizzato), quella di Priolo è di 760 kt/a, mentre in Europa ed in altri Paesi ci sono impianti con capacità molto superiori >1000kt/a. In altri Paesi, quindi, producevano materie prime per la petrolchimica a prezzi molto più bassi di quelli che si producevano a Marghera, e questo è stato anche uno dei motivi della sua chiusura nel maggio 2022.

Comunque, a partire dal 2009, dopo la chiusura della locale produzione petrolchimica, tutte le materie prime prodotte a Marghera continuavano ad andare negli altri poli chimici del Nord Italia [13]. Ci fu solo una previa chiusura dell'impianto di steam-cracking, ma non di quello di reforming nel marzo 2014, e le materie prime per Mantova, Ferrara e Ravenna avevano cominciato ad arrivare, con i gasdotti e con altri mezzi di trasporto, dal porto di Marghera, dove erano scaricate da navi che arrivavano da Priolo ed anche da altri siti [15].

Nel febbraio 2015 Versalis rimise in marcia lo steam-cracking, dopo la richiesta di etilene da parte della Shell, dato che si era fermato il loro impianto in Olanda a causa di un incidente. Questa riapertura creò ottimismo per il futuro, che forse gli impianti non sarebbero mai stati chiusi, ma lo steam-cracking e la produzione di aromatici rimasero aperti solo fino al maggio 2022.

8. Gli effetti della chiusura del petrochimico di Marghera sulla chimica del Nord Italia

Dal 9 al 15 maggio 2022 è avvenuta la chiusura definitiva dell'impianto di steam-cracking e dell'impianto di produzione di aromatici, quindi dopo questa data Marghera da polo petrolchimico è diventato il porto di at-

tracco delle navi e il centro di distribuzione delle materie prime ai diversi poli petrolchimici del Nord Italia. Comunque, LyondellBasell azienda che produce polipropilene a Ferrara, era preoccupata, perché non c'erano garanzie che queste materie prime potessero arrivare in futuro dal porto di Marghera a Ferrara. Inoltre, erano molto preoccupati anche gli operai del petrolchimico di Mantova, Ravenna e Ferrara per la possibile futura chiusura dei loro impianti, per mancanza di materie prime, ed anche quelli di Marghera, che richiedevano nuovi posti di lavoro, quindi nuovi investimenti, ed hanno tutti organizzato nei mesi passati diversi scioperi [17].

Gabriele Mei Presidente del Consiglio di Amministrazione dell'azienda Lyondell-Basell di Ferrara aveva inviato, il 5 maggio 2022, al Presidente del Consiglio Mario Draghi ed al Ministro della Sviluppo Economico Giancarlo Giorgetti una lettera per esprimergli le sue preoccupazioni per le chiusure di Marghera dello steam-cracking e della produzione di aromatici. Nella lettera di G. Mei, della quale sono riportate di seguito alcune parti, sono indicate le richieste da parte della LyondellBasell degli interventi necessari da parte del governo, dopo la chiusura degli impianti di produzione e di materie prime di Marghera, per salvare la petrolchimica del Nord Italia [17].

Alcune parti della lettera sono le seguenti.

“Non esistono ad oggi garanzie che l'hub logistico di Marghera possa, nel suo attuale assetto, sia in termini di capacità di scarico che di capacità di stoccaggio, sostenere il flusso di materie prime necessario per la continuità produttiva degli impianti italiani di Basell Poliolefine Italia, ed anche degli altri impianti petrolchimici del Nord Italia.

Tre sono gli scenari che destano grande preoccupazione e che vogliamo portare alla vostra attenzione. Occorrono idonee garanzie ad assicurare la fornitura di materie prime via nave con adeguata capacità di scarico e stoccaggio. Occorre ottenere l'impegno affinché sia raggiunto un accordo di lungo termine (non inferiore a 5 anni) per il trasbordo delle materie prime dal porto di Marghera. Occorre il mantenimento in marcia di tutti i restanti impianti di produzione di materie prime sul territorio nazionale” (preoccupazioni per il futuro del petrolchimico di Priolo).

In futuro sarà possibile proporre due soluzioni alternative e integrative all'arrivo di materie prime che arrivano da Priolo a Marghera per soddisfare le richieste del petrolchimico di Ferrara, Mantova e Ravenna. La prima soluzione è realizzare impianti industriali a partire dagli impianti pilota di riciclo molecolare di materie plastiche realizzati già da LyondellBasell a Ferrara e da Versalis a Mantova. La seconda è lo sviluppo del polo di «Chimica

Verde» che, come vedremo più avanti, potrebbe fare diventare Marghera una nuova sorgente di materie prime da sorgenti rinnovabili per la chimica del Nord Italia.

9. Nascita di un polo di Chimica Verde a Marghera

Nel 2013 è iniziata la trasformazione della raffineria Eni di Marghera in bioraffineria, dove come materia prima non era più utilizzato il petrolio, ma oli vegetali e grassi animali. Quest'impianto è stato il primo caso al mondo di riconversione di una raffineria convenzionale in bioraffineria ed è fondato sulla tecnologia "Ecofining", brevettata e sviluppata da Eni insieme all'azienda americana UOP. Il "diesel verde" prodotto con il processo "Ecofining" viene ottenuto idrogenando l'olio a paraffine C16-C18 con coproduzione di propano, diversamente dal "biodiesel" (FAME), quello che si ottiene per transesterificazione di oli con metanolo e formazione dell'estere metilico degli acidi grassi e coproduzione di glicerina [12]. Il processo Ecofining si realizza in più stadi: l'idrogenazione degli oli e l'idrocracking e/o isomerizzazione delle *n*-paraffine ottenute nella prima reazione. Dopo il 2023 sarà proibito usare l'olio di palma e sono state proposte alcune materie prime alternative: oli vegetali di frittura usati, grassi animali, oli non edibili e coltivati in terreni non destinati all'agricoltura; oli da scarti agricoli, come la paglia, da glicerina grezza, da biomasse legnose, come i residui forestali, agricoli e di alberi cittadini.

Nel dicembre 2018 è andato in marcia un impianto dimostrativo a Gela a partire da rifiuti organici cittadini (FORSU) per produrre un biolio per la produzione del biodiesel locale. In questo processo, i rifiuti organici, dopo macinazione, sono trasformati in biolio per idropirólisi, ossia per trattamento ad alta temperatura con H₂O senza O₂ [16]. Questo impianto oltre al FORSU potrà trattare fanghi di depurazione, potature e scarti dell'industria agroalimentare ed è un esempio emblematico di economia circolare. Sembra che il primo impianto industriale sarà costruito a Marghera nel 2024.

Nei primi mesi del 2021 è andato in marcia a Gela l'impianto BTU (Biomass Treatment Unit), impianto di purificazione di oli di seconda generazione (non edibili) e di terza generazione (ottenuti da altre sostanze agricole e marittime) e da grassi animali, da inviare successivamente all'impianto di produzione di biodiesel locale, come alternativa all'olio di palma. Un impianto simile potrebbe andare in marcia a Marghera [16].

Inoltre, Versalis ha realizzato un accordo con il governo il 14 novembre del 2014 per fare partire un polo

chimico verde a Marghera, insieme all'azienda americana "Elevance Renewable Sciences", per produrre biode-tergenti, biolubrificanti e oli utilizzabili per perforazioni petrolifere a basso impatto ambientale, utilizzando la reazione di metatesi di oli naturali. Nella bioraffineria di Marghera dovrà essere realizzata per primo la metatesi di bio-oli (olio di palma ed altri) con etilene per ottenere olefine prodotti di chimica fine e specialistica come olefine C9-C10, metilesteri C10 e C12 [12]. Ma per adesso nulla è stato realizzato, dopo questa notizia del 2014, speriamo nel futuro.

10. Altre attività chimiche al polo industriale di Marghera

Giancarlo Galan, governatore del Veneto, nel 2009 aveva dichiarato «*Bisogna avere il coraggio di dire con onestà al mondo che la chimica, a Venezia, è finita. Prima ci rendiamo conto che è finita e bisogna fare qualcosa di nuovo e di diverso, meno saranno le sofferenze*» (per i cittadini). Galan aveva dichiarato che Marghera si doveva trasformare come la Ruhr (grande polo chimico) in Germania, che fra 1989 al 1999 si è trasformata da polo chimico in un parco ed in una zona residenziale, ma questa scelta era impossibile a Marghera, perché era una zona lagunare e creata per riporto di rifiuti industriali, non poteva che rimanere un polo industriale, anche se a più basso impatto ambientale.

Infatti, scomparso il polo petrolchimico, è rimasto un polo chimico caratterizzato dalla presenza di industrie chimiche, presenti da anni a Marghera, che non utilizzavano materie prime prodotte a Marghera da petrolio, ed inviavano i loro prodotti ad altri siti. Attualmente a Marghera ci sono i seguenti impianti chimici attivi da anni che producono i seguenti prodotti [3]:

1) produzione di acido fluoridrico da parte di Alkeemia azienda di Fluorsid per reazione fra CaF₂ ed H₂SO₄, HF attualmente è inviato in altri siti per produrre AlF₃ e composti organici fluorurati;

2) produzione di acetocianidrina da parte dell'azienda francese Arkema per reazione fra HCN prodotto a Marghera ed acetone proveniente da Mantova mentre l'acetocianidrina va a Rho per produrre metilmetacrilato, monomero per polimeri.

3) produzione di O₂, Ar, N₂ per distillazione frazionata dell'aria da parte di Sapio.

Ci sono inoltre altre produzioni chimiche che sono previste che andranno in marcia nei prossimi anni:

4) 3V Sigma spa azienda che ha sede a Bergamo, prevede di fare ripartire nel 2023 un nuovo impianto di

produzione di additivi e specialità chimiche, che era stato chiuso nel 2020 a Marghera, a seguito di un incendio.

5) Alkeemia produrrà Sali di litio per le batterie utilizzando l'HF prodotto a Marghera e diventerà leader europeo del settore.

6) Nel 2024 andrà in marcia un impianto di idrogenazione dell'acetone ad alcol isopropilico da parte di Versalis, con tecnologia proprietaria, utilizzando l'acetone che viene da Mantova, questo alcol è utilizzato, in gran parte, per produrre disinfettanti e detergenti e che viene attualmente dall'estero.

7) Versalis ha acquistato da Forever Plast una licenza per tecnologie destinate al riciclo meccanico di rifiuti plastici ottenuti dalla raccolta differenziata, in particolare di polistirene e di polietilene alta densità che arriverà già selezionata e pretrattata. Con questa tecnologia sarà realizzato un impianto nel 2024 a Marghera di trattamento di rifiuti plastici già selezionati pari a circa 50 mila tonnellate annue. Versalis aveva già acquistato nel 2021 da Ecoplastic la tecnologia per il riciclo di rifiuti di plastiche di polistirene.

11. I miei rapporti diretti ed indiretti con il petrolchimico di Marghera

I miei rapporti diretti con il petrolchimico di Marghera sono stati nel passato i seguenti [17]:

1) ho lavorato prima del 2000 su quattro reazioni alternative a basso impatto ambientale di quelle utilizzate nei processi esistenti a Marghera e su tre di queste reazioni ho lavorato con industrie locali, in particolare le reazioni studiate erano le seguenti: la sintesi di acrilonitrile, di caprolattame, di composti fluorurati, e di un processo di sintesi di acido metacrilico, che non utilizzava come intermedio acetone/acetonitrile prodotta a Marghera;

2) nel 2000 ho partecipato alla giornata "Fabbriche Aperte" a Marghera visitando tutto il petrolchimico ed ho ascoltato le conferenze dei direttori dei diversi stabilimenti ed ho scritto in seguito il mio primo articolo su Marghera su "La Chimica e l'Industria";

3) dopo i miei primi articoli su Marghera sono stato invitato come direttore de "La Chimica e l'Industria" per diversi anni da un sindacato del petrolchimico alle loro riunioni a Marghera per aiutarli a salvare il petrolchimico;

4) ho scritto un articolo nel 2006 con il responsabile di un sindacato dei chimici di Marghera Angiolo Francini dal titolo «Presente e futuro del petrolchimico di Marghera» [3];

5) sono stato invitato ad un convegno al Petrolchimico di Ferrara nel 2021, per discutere come fare arrivare le materie prime ai poli chimici del Nord Italia, dopo l'annunciata chiusura degli impianti di loro produzione di Marghera;

6) ho partecipato per caso a Marina di Carrara nel Luglio 2021, passando da Largo Taliercio, alla 40° commemorazione della morte del direttore del petrolchimico Giuseppe Taliercio (la cui famiglia vive a Marina di Carrara, dove è anche la sua tomba) ucciso dalle brigate rosse nel 1981, e per questo ho scritto dopo due articoli nel 2021.

I miei rapporti indiretti con il petrolchimico di Marghera sono stati i 32 articoli che ho scritto su «La Chimica e l'Industria» dal 2000 al 2022 [7] ed un libro che ho pubblicato nel 2018 dal titolo «La scomparsa della petrolchimica e la nascita di un nuovo polo chimico» [12].

12. Conclusione

La morte del petrolchimico è avvenuta essenzialmente per l'impatto ambientale della sua produzione, che non ha permesso di ricevere le autorizzazioni per aumentare la potenzialità degli impianti esistenti, per renderli competitivi, e che ha creato anche preoccupazioni e accuse da parte della cittadinanza e dalla classe politica locale e questo ha creato timori ai dirigenti delle diverse aziende chimiche per il loro futuro.

Il rifornimento delle materie prime per la chimica del Nord Italia, dopo la chiusura degli impianti chimici di loro produzione di Marghera, avverrà sempre da Marghera, per trasbordo dalle navi che scaricano nel porto le materie prime che provengono dal petrolchimico di Priolo, sperando che questo polo chimico sopravviverà nel prossimo futuro.

In futuro le materie prime nei poli chimici del Nord Italia potrebbero essere prodotte in situ dal riciclo molecolare delle plastiche e da biomasse.

Eni ha trasformato una raffineria in bioraffineria a Marghera, la prima al mondo, per produrre biodiesel dall'olio di palma e saranno costruiti impianti che utilizzeranno nel futuro oli non edibili e oli prodotti in terreni non utilizzabili per culture non alimentari.

Morto il petrolchimico, è ancora presente a Marghera un polo chimico, non legato alle materie prime petrolchimiche, e sono previste diverse nuove realizzazioni nei prossimi anni di una chimica verde e sostenibile.

Proprio sperando che si realizzerà a Marghera un importante polo di chimica verde e sostenibile, non posso fare a meno di ricordare che Pietro Tundo, ex profes-

sore di chimica organica all'Università di Venezia, nel passato aveva lavorato ad un processo di produzione di toluendiisocianato senza utilizzare fosgene, ma dimetilcarbonato sostanza non tossica [20], come era il processo esistente a Marghera e che se si fosse realizzato sarebbe stato uno dei processi più importanti di chimica sostenibile al mondo. Ora Pietro Tundo è presidente di "Green Sciences for Sustainable Development Foundation" (GSSDF), con sede a Venezia e che potrà avere un ruolo nel realizzare gli obiettivi della chimica verde e sostenibile a Marghera.

Infine, non posso fare a meno di ricordare, che nel 2017 la professoressa Gilda Zazzara dell'Università di Venezia ha scritto un libro dal titolo "I 100 anni di Marghera" [21].

BIBLIOGRAFIA

- [1] BENATELLI Nicoletta, Giovanni FAVARO, Elisio TREVISAN, 2002, *Processo a Marghera. L'inchiesta sul petrolchimico, il CVM e le morti degli operai. Storia di una tragedia umana e ambientale*. Editrice nuova dimensione pp.1-316.
- [2] CASSON Felice, 2007, *La fabbrica dei veleni. Storia e segreti di Porto Marghera*, editore Sperling & Kupfer, pp. 1-380.
- [3] FRANCINI Angiolo, Ferruccio TRIFIRÒ, Presente e futuro del petrolchimico di Marghera *La Chimica e l'Industria*, 2006, **88**(9), pp. 18-23.
- [4] Recover 2022 Eni Versalis chiude e trasforma gli impianti a Porto Marghera - Recover Web
- [5] RINDONE Bruno 2008, Tossicità del cloruro di vinile. Cosa si sapeva negli anni 70, *La Chimica e l'Industria*, 5, pp. 88-91.
- [6] TRABUCCHI Massimo, Ferruccio TRIFIRÒ, 2021, Quarant'anni dall'uccisione del direttore del petrolchimico di Marghera, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, **8**(5), pp. 4-6.
- [7] TRIFIRÒ Ferruccio, 2002, Chiude il caprolattame a Marghera, Per la chimica l'inizio della fine?, *La Chimica e l'Industria*, **84**(8), pp. 17-21.
- [8] TRIFIRÒ Ferruccio, 2006, Scompare anche la chimica dei poliuretani. La grande beffa. *La Chimica e l'Industria*, **88**(10), pp. 48-49.
- [9] TRIFIRÒ Ferruccio, 2008, PVC: come si migliora la sostenibilità di un processo e dei suoi prodotti, *La Chimica e l'Industria*, 5, pp. 80-87.
- [10] TRIFIRÒ Ferruccio, 2015, Come si salveranno due poli chimici storici Torviscosa e Marghera, *La Chimica e l'Industria Newsletter* **2**(5), pp. 1-6.
- [11] TRIFIRÒ Ferruccio, 2015, Come si è salvata l'industria delle plastiche in PVC dopo la scomparsa della sua produzione in Italia, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, **2**(6), pp. 1-5.
- [12] TRIFIRÒ Ferruccio, 2018, *La scomparsa della petrolchimica e la nascita di un nuovo polo chimico. Riflessioni sugli ultimi vent'anni*, Edizioni Accademiche Italiane, pp. 1-88.
- [13] TRIFIRÒ Ferruccio, 2018, Alla fine si salva la produzione di chimica di base a Marghera e la chimica del Nord Italia, *La Chimica e l'Industria Newsletter* **5**(1), pp. 5-7.
- [14] TRIFIRÒ Ferruccio, 2018, Salvate la produzione di PVC siamo all'ultima spiaggia, *La Chimica e l'Industria*, 6, pp. 1-2.
- [15] TRIFIRÒ Ferruccio, 2021, Chiude il petrolchimico di Marghera, quale sarà il futuro della chimica del Nord Italia?, *La Chimica e l'Industria Newsletter*, **8**(3), pp. 4-5.
- [16] TRIFIRÒ Ferruccio, 2021, La nascita di una bioraffineria a Gela, quali saranno le materie prime agricole? *La Chimica e l'Industria on-line*, 2, pp. 12-13.
- [17] TRIFIRÒ Ferruccio, 2022, Necrologio della morte del petrolchimico di Marghera, *La Chimica e l'Industria on-line*, 6, pp. 12-13.
- [18] TRINCHERI Giuseppe, 2001, *Le industrie chimiche in Italia dalle origini al 2000*, Ravan editore, pp. 1-373.
- [19] Università Ca Foscari, 2019, *Cronologia Porto Marghera 1970-oggi: Dipartimento Studi Umanistici (unive.it)*.
- [20] Tundo Piero, Musolino Manuele, Aricò Fabio, The reactivity of dimethyl carbonate and its derivatives, *Green chemistry* **2018**, **20** (1), 28-85.
- [21] <https://journals.francoangeli.it/index.php/icoa/article/view/5185>.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 97-103
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La sicurezza nell'industria chimica passa anche attraverso la sua storia: il caso dell'oro fulminante

IACOPO CIABATTI

TCA|Precious Metal Refining, Capolona, Arezzo.
E.mail: i.ciabatti@tcaspa.com

Abstract – This account is focused on the historical development concerning the synthesis and characterization of fulminating gold with a particular attention on its explosive properties. Despite the huge development of the spectroscopic and crystallographic techniques of the last decades, its fully characterization remains an illusion. Even today, the unconscious fulminating gold synthesis represents the cause of industrial and laboratory accidents.

Keywords: fulminating gold, explosive properties, risk assessment, gold nanoparticles

Riassunto – Tramite questo contributo vengono ripercorse le tappe storiche concernenti la sintesi e la caratterizzazione dell'oro fulminante rivolgendo particolare attenzione alle sue proprietà detonanti. Nonostante le rilevanti evoluzioni delle tecniche spettroscopiche e cristallografiche registrate negli ultimi decenni, la sua completa caratterizzazione strutturale rimane una chimera. Ancora oggi l'inconsapevole sintesi di questo prodotto rappresenta la causa di gravi incidenti sia su scala di laboratorio che industriale.

Parole chiave: oro fulminante, proprietà esplosive, valutazione del rischio, nanoparticelle d'oro

Fra i temi sociali che interessano l'industria chimica vi è quello del complicato equilibrio fra produzione, tutela della sicurezza dei lavoratori e salvaguardia dell'ambiente. Nel corso della storia, l'opinione pubblica inerente alla chimica ha registrato fasi altalenanti di gradimento, passando attraverso periodi di grande popolarità a cui si sono susseguiti momenti di disaffezione. I disastri ambientali come quello di Seveso rappresentano paradigmi negativi della sicurezza degli impianti chimici attraverso i quali sono stati portati alla luce gli inerenti limiti di conoscenza ed esperienza. Di contro a quelli che sono stati gli effetti sull'opinione pubblica, questi eventi rappresentano delle vere e proprie pietre miliari per la cultura della sicurezza chimica, attraverso la quale la comunità scientifica si è nuovamente messa in discussione imponendosi nuove regole e limitazioni.

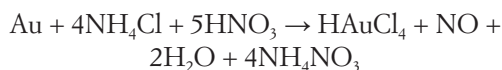
Questo percorso di crescita rappresenta un patrimonio prezioso che non sempre è stato adeguatamente utilizzato. Ne sono un esempio alcune di quelle

reazioni che portano alla sintesi indiretta o involontaria di prodotti, generalmente di nessun interesse industriale, le cui informazioni concernenti la sicurezza non sono univocamente relazionabili. La storia inerente agli incidenti legati alla sintesi e caratterizzazione dell'oro fulminante, verificatosi sia su scala di laboratorio che industriale, rappresenta un emblema di questa categoria.

Sintesi dell'oro fulminante: il grande contributo degli alchimisti tedeschi del XVI-XVII secolo

La prima citazione dell'oro fulminante (*aurum fulminans*) apparsa in letteratura è avvenuta per opera dell'alchimista tedesco *Sebald Schwaertzer* (1552-1598) nel manoscritto *Chrysopoeia Scwertzeriana* risalente al 1585 [13]. Nel testo, *Schwaertzer* fa riferimento al monaco benedettino *Basilius Valentinus*¹ del XV secolo, i cui testi alchemici, pubblicati solo nel 1590 da *Johan Thölde*, riportano una preparativa semplificata dell'oro fulminante. Non è quindi possibile sapere con certezza se e chi dei due si sia ispirato all'altro [15].

La procedura proposta da *Schwaertzer* [14] si apre con la descrizione concernente l'affinazione dell'oro il quale, dopo solubilizzazione, viene precipitato mediante sua riduzione allo stato elementare. La dissoluzione viene condotta utilizzando cloruro di ammonio (*salmiac*) in ragione di una volta la quantità del peso del metallo coinvolta. Tale dose è 0,92 volte inferiore a quella ricavata ammettendo la sola formazione dell'acido tetracloroaurico:



L'utilizzo del cloruro di ammonio in alternativa a quello dell'acido cloridrico rappresentava una soluzione di uso comune nelle formulazioni di quel periodo ma, nonostante la cosa possa risultare di poco rilievo ai fini della dissoluzione dell'oro, questa scelta costituisce la chiave per la successiva sintesi dell'oro fulminante. Al fine di verificare se tale quantità di cloruro di ammonio fosse sufficiente a garantire la completa dissoluzione dell'oro, ho condotto uno studio incentrato su attacchi che coinvolgono un eccesso di acido nitrico a differenti concentrazioni² verificando gli andamenti con e senza riscaldamen-

to della soluzione. Conducendo tali prove è emerso che, in contrapposizione a quanto denunciato da *Schwaertzer*, occorre garantire almeno un eccesso stechiometrico del 5% per ottenere la completa dissoluzione del metallo.

Per quanto concerne la riduzione dell'oro, *Schwaertzer* indica l'impiego di un solfato misto a base di ferro ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) e rame ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) fornendo una dose di massima la cui aggiunta, nella fase finale, può essere parzializzata al termine della formazione di opalescenza corpuscolare.³ Questo primo ciclo di lavorazione rappresenta a tutti gli effetti un trattamento di affinazione dell'oro al termine del quale viene maturata una perdita di peso.⁴ L'acidità della soluzione contenente acido tetracloroaurico, derivante dalla successiva dissoluzione della spugna d'oro, viene ridotta attraverso due cicli di concentrazione per evaporazione seguiti dalle rispettive diluizioni con acqua.⁵ A conclusione di questo trattamento intermedio, si prosegue con la precipitazione dell'oro fulminante mediante l'aggiunta di una soluzione concentrata di carbonato di potassio (*oleo tartari*). L'intera procedura dura quattro giorni sebbene la sintesi vera e propria venga condotta solo alla fine.

A differenza di quanto proposto da *Schwaertzer*, la ricetta di *Valentinus*, come quelle di altri autori che seguiranno del corso della storia, non coinvolge la riduzione dell'oro quale trattamento preliminare di lavorazione. Tra questi è da ricordare il contributo di *Oswald Croll* (1563-1609) che, nella sua opera magna *Basilica Chymi-*

to il titolo dell'acido inoltre, la reazione che porta alla formazione di NO non è l'unica coinvolta. Si devono quindi prendere in considerazione i contributi pesati delle altre reazioni che portano alla formazione di ossido di azoto con stati di valenza differenti (e.g. NO_2) i quali incidono sull'alterazione del rapporto stechiometrico tra l'acido nitrico e l'oro.

³ Si noti che l'effettivo agente riducente è lo ione Fe(II) che si ossida a Fe(III). L'opalescenza corpuscolare è dovuta all'effetto *Tyndall* e il suo termine si osserva a fine reazione, in concomitanza con la mancata nucleazione di nuovi grani d'oro e alla coagulazione di quelli precedentemente formati.

⁴ Sebbene non del tutto chiaro, tale perdita di peso è ascrivibile all'eliminazione dei contaminanti presenti nella lega aurifera sottoposta ad affinazione e non ad un calo di lavorazione intrinseco del trattamento. In quest'ultimo caso infatti la maggior passività a cui si può incorrere è dovuta ad una riduzione non quantitativa dell'oro difficilmente verificabile per mano di una persona con una minima base di esperienza.

⁵ *Schwaertzer* giustamente sottolinea l'importanza di non ridurre eccessivamente il volume della soluzione terminando l'evaporazione nel momento in cui la soluzione ha raggiunto la consistenza di una glassa. Infatti, come deducibile dal diagramma di *Pourbaix* [6], l'eccessiva riduzione sia dell'acidità residua che della concentrazione di cloruri inducono il transito di stabilità dalla zona dello ione $[\text{AuCl}_4]^-$ a quella dell'oro metallico.

¹ L'esistenza di Basile Valantine non è certa e il nome, probabilmente, è uno pseudonimo utilizzato da Johan Thölde.

² *Schwaertzer* indica un utilizzo dell'acido nitrico (*aquafor*) in dose doppia rispetto al peso dell'oro. A differenza dell'ammonio cloruro la comparazione di questa dose con quella stechiometrica risulta essere meno lineare, in primo luogo perché non è dichiara-

ca [3], fornisce una descrizione dettagliata concernente la preparazione dell'oro fulminante sottolineando l'elevata suscettibilità del composto ad assumere regimi di detonazione indicibili per riscaldamento o per semplice contatto. *Croll* giustifica le caratteristiche detonanti dell'oro fulminante mediante una visione antropomorfica dovuta all'"avversione" del cloruro di ammonio al carbonato di potassio, così come, secondo lo stesso principio, era riconosciuto avvenire tra zolfo e salnitro nel caso della polvere da sparo. Questo concetto è stato condiviso anche da altri alchimisti come *Johannes Hartmann* (1658-1631) il quale, nella sua opera *Praxis Chymiatricae* [9], ascrive invece la *causa fulminis* al solo contributo dell'oro, dell'acido nitrico e del carbonato di potassio non imputando, erroneamente, alcun ruolo al cloruro d'ammonio. Successivamente, *Johann Kunckel von Löwenstern* (1630-1703), riconosce l'utilizzo del cloruro d'ammonio come *conditio sine qua non* ma solo in riferimento alla ricetta di *Schwaertzer* [15]. Lo stesso autore indica infatti come, nel caso in cui la dissoluzione dell'oro venga condotta in acqua regia, sostituendo quindi l'acido cloridrico al cloruro di ammonio, la precipitazione del fulminato di oro può essere garantita utilizzando un'altra fonte ammoniacale quale *spiritus urinae*, sostanza costituita, almeno in larga misura, da carbonato di ammonio.

Dopo il periodo alchemico, gli studi concernenti l'oro fulminante proseguirono incentrandosi principalmente sulla sua caratterizzazione chimico-fisica a discapito dell'ottimizzazione della sua sintesi. In effetti, la semplicità delle ricette già proposte in concomitanza con le rese quantitative a partire da reagenti a loro volta facilmente sintetizzabili rappresentarono un disincentivo di studio. Vanno comunque segnalate le introduzioni di alcune accortezze di sintesi soprattutto in fase di purificazione del prodotto grezzo, prima fra tutte il lavaggio con acqua bollente o con soluzioni contenenti alcali [12]. Oggi, sono molteplici le vie di sintesi tracciate, attraverso le quali è possibile isolare l'oro fulminante [14]. La più semplice rimane quella condotta attraverso la neutralizzazione diretta dell'acqua regia d'oro con ammoniaca sebbene, come successivamente verrà descritto, porta alla formazione di un prodotto di composizione disomogenea.

Studi di caratterizzazione e reattività

Come già accennato, gli studi di *Croll* non furono incentrati esclusivamente sulla sintesi dell'oro fulminante ma anche sulla sua reattività. *Croll* osservò la "solubilizzazione" e conseguente inertizzazione dell'oro fulminante in acido cloridrico (*aqua Salis*) sebbene, più pro-

priamente, quella descritta dall'autore fosse una trasformazione chimica che porta alla formazione di HAuCl_4 . La carenza di fondamenti necessari per distinguere l'alterazione dello stato fisico di una sostanza ad una vera trasformazione chimica è una mancanza caratteristica del periodo alchemico. A tal riguardo, anche *Valentinus* suggerisce che è possibile eliminare le caratteristiche esplosive dell'oro fulminante sospendendolo in aceto e mantenendo il riscaldamento per 24 ore [17]. Ancora una volta ci troviamo di fronte alla descrizione di una trasformazione chimica la quale, con molta probabilità, costituisce una decomposizione termica controllata con formazione di nanoaggregati d'oro in accordo con la colorazione rosso sangue del prodotto di formazione. Al contrario, il secondo approccio di *Croll* concernente l'inertizzazione dell'oro fulminante attraverso il suo mescolamento con zolfo, rappresenta un vero e proprio trattamento di inertizzazione. Oltre alla miscelazione con prodotti di natura solida, un'alternativa di simile approccio, era quella di bagnare o sospendere l'oro fulminante in acqua [12].

Ulteriori studi, condotti per opera di altri autori, permisero di osservare come la degradazione dell'oro fulminante poteva essere rallentata al tal punto da non manifestarsi più in maniera esplosiva [12]. Tale risultato poteva essere raggiunto mediante un blando riscaldamento rimanendo abbondantemente sotto la temperatura di innesco, il cui valore si aggira intorno a 200-230 °C [14]. In presenza di "un gran calorico" lo stesso risultato poteva essere ottenuto confinando l'esplosione all'interno di un sistema chiuso, ad esempio ponendo l'oro fulminante all'interno di vaso sigillato.

Gli alchimisti del XVI e XVII secolo credevano che l'onda d'urto provocata dall'esplosione dell'oro fulminante si propagasse solo verso il basso. Il mito fu sfatato solo nel 1659 da *Thomas Willis* (1621-1675) il quale dimostrò la presenza di un'azione isotropica verificando la proiezione di una moneta appoggiata sopra ad una carica di oro fulminante indotta a detonazione [15]. *Croll* fornisce un'idea quantitativa della potenza indicando come il boato prodotto dall'esplosione di uno scrupolo ($\approx 1,3$ g) di oro fulminante fosse superiore a quello generato da mezza libra di polvere da sparo (≈ 230 g). Un indice "più quantitativo" ci viene fornito da *Robinson* in riferimento ad una prova condotta utilizzando 7 grani ($\approx 0,45$ g) di oro fulminante posti su di una lastra di rame [12]. L'autore asserisce che la detonazione produsse "una così grande impressione" parimente a quella ottenuta da 2,5 libbre di ferro ($\approx 1,1$ Kg) posti in caduta alla velocità di 25 piedi al secondo ($\approx 7,6$ m/s). In letteratura, anche in quella più recente, non compaiono mai dei veri e propri dati quan-

titativi sulle proprietà detonanti dell'oro fulminante. Tale mancanza è dovuta principalmente alla sua natura eterogenea che induce all'acquisizione di dati sperimentali non riproducibili. Infatti, la determinazione dei parametri analitici che governano tali reazioni dipende in maniera severa dalla purezza del composto esaminato [14].

Nel XIX secolo, i tanti punti interrogativi legati alla composizione dell'oro fulminante attrassero l'attenzione di celebri chimici quali *Dumas*, *Lavoisier*, *Scheele*, *Bergmann* e *Berzelius*. Non verranno qui ricordati tutti i preziosi contributi di ogni singolo autore i cui meriti sono invece ben distinti negli articoli citati da questo contributo [14, 15]. Per la determinazione della composizione elementare vennero studiati e quantificati i prodotti di decomposizione dell'oro fulminante in forma non esplosiva attraverso la miscelazione con solidi inerti. In particolare, *Jean Baptiste Dumas* (1800-1884), studiando la decomposizione termica dell'oro fulminante con ossido rameico, stabilì che il composto esplosivo era costituito da idrogeno e cloro, oltre che da oro e azoto come già noto. La composizione dell'oro fulminante mostrava però una certa variabilità in parte legata anche alle modalità di sintesi. Di fronte a queste evidenze sperimentali *Friedrich Rasching* (1863-1928) intuì che l'oro fulminante era una miscela di più composti. Secondo il chimico tedesco l'insolubilità dell'oro fulminante in acqua escludeva una sua forma come sale di ammonio, la logica imponeva quindi che l'azoto fosse coordinato all'oro. Concluse che il prodotto era una miscela di $\text{NH}=\text{Au}-\text{Cl}$ e $\text{NH}=\text{Au}-\text{NH}_2$ dove l'azoto è presente sia in forma di ammidica che immidica. Nel XX secolo la messa a punto di nuove vie di sintesi dell'oro fulminante, alternative a quelle classiche, ha portato alla luce come l'idrolisi di $[\text{Au}(\text{NH}_3)_4](\text{NO}_3)_3$ con cloruri porti alla formazione di un prodotto di composizione omogenea. Sulla base di questa osservazione *Ernst Weitz* (1886-1954) ha erroneamente concluso che la formula molecolare del composto fosse $[\text{Cl}(\text{NH}_2)\text{Au}]_2\text{-NH}$. La completa insolubilità dell'oro fulminante in qualsiasi solvente e la sua bassa temperatura di decomposizione rappresentano le due principali aggravanti che non hanno permesso una cristallizzazione, a valle della sintesi, in favore di una risoluzione strutturale. In questi contesti sperimentali un valido modo per tentare di ottenere un cristallo singolo è quello di condurre la reazione di formazione all'interfaccia o attraverso la lenta diffusione di due solventi in cui sono solubilizzati i reagenti. Sfortunatamente questa tecnica non ha portato ai risultati sperati, nonostante la grande evoluzione delle tecniche di

diffrazione a raggi X, registrata negli ultimi cinquant'anni, permetta oggi una completa caratterizzazione strutturale di cristalli singoli di modeste dimensioni e qualità. Nuove informazioni strutturali sono invece emerse dalle caratterizzazioni spettroscopiche. Si è concluso che l'oro fulminante è una miscela amorfa di composti polimerici contenenti catione tetraamminico (III) planare quadrato collegati tramite ponti $\mu\text{-NH}_2$ e $\mu_3\text{-NH}$ [14].

Applicazione meteore

L'interesse per l'oro fulminante, risiedeva nel concepirlo come una tappa di sintesi per ottenere potenziali prodotti di interesse. Alcuni di questi tentativi hanno aperto la strada alla scoperta di nuovi trattamenti successivamente scomparsi o che si sono evoluti utilizzando derivati alternativi a base di oro che ne miglioravano la gestione e le prestazioni. Per gli alchimisti l'oro fulminante rappresentava un valido precursore sia per la produzione di *aurum potabile*, utilizzato come medicina in iatrochimica, che per quella inerente all'*aurum volatile* richiesto per ottenere la pietra filosofale. In aggiunta, come è stato discusso nel precedente paragrafo, un altro elemento di fascino era legato alle sue peculiari proprietà chimico-fisiche prima fra tutte l'elevato potere bruciante per cui, di fatto, rappresenta il primo composto esplosivo conosciuto dall'umanità. Come osservato da *Croll* l'esplosione dell'oro fulminante provoca la formazione di una nube corpuscolare di colore rosso-viola che oggi sappiamo associare alla formazione di un aerosol di nanoparticelle di oro. Tale fenomeno, caratteristico di una esplosione, è il risultato cinetico della scarsa velocità di accrescimento in favore dell'elevata velocità di nucleazione dei cluster di oro formati allo stato gassoso. Nel caso in cui l'esplosione venga condotta in uno spazio confinato o in prossimità di un oggetto di natura metallica questi nanoaggregati, termodinamicamente instabili, coagulano in favore di una deposizione superficiale di oro allo stato massivo. Il chimico tedesco *Johann Rudolf Glauber* (1604-1670) ne intravide un'applicazione per la doratura di oggetti secondo quanto descritto nel suo lavoro *Operum Chymicorum* [8]. Il trattamento consisteva nell'immettere dai 100 a 200 mg di oro fulminante all'interno di un primo contenitore connesso, attraverso un tubo, ad un secondo compartimento in cui invece era presente l'oggetto da dorare (figura 1). A seguito dell'esplosione indotta per riscaldamento nel primo vano la nube rossa si propagava anche nel secondo scompartimento. Come è facile immaginare, la deposi-



Fig. 1. Apparato proposto da Glauber per la placcatura di oggetti mediante detonazione di oro fulminante.

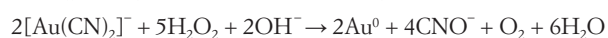
zione dell'oro era tutt'altro che quantitativa poiché oltre all'oggetto anche le pareti dei contenitori erano inevitabilmente coinvolte⁶.

Come precedentemente visto, l'opportuna miscelazione dell'oro fulminante con altre sostanze permette di controllare la sua riduzione allo stato metallico senza il manifestarsi di una esplosione. Il pittore *Johann Gregorius Höroldt* (1696-1775), direttore della fabbrica di porcellana di Meissen ne intravide una valenza applicativa che portò alla creazione di un nuovo smalto decorativo rosso porpora. Nel capitolo XI del suo ricettario, *Höroldt* riporta la sintesi dell'oro fulminante, praticamente identica a quella proposta da *Valantine* [17]. Il colore

del lustro di Meissen è dovuto alla presenza di nanoparticelle di oro (diffusione di Mie) come nel caso della porpora di Cassio ma, a differenza di quest'ultimo è iridescente, caratteristica che lo rendeva unico. Recentemente è stato dimostrato che la differenza risiede nella dimensione delle nanoparticelle [2]. Infatti, nello strato di sovrasmalto di *Meissen*, la presenza di grandi nanoparticelle d'oro sulla superficie favorisce il fenomeno della diffrazione il quale, dipendendo dall'angolo di incidenza, ne crea un effetto iridescente. Poiché le nanoparticelle d'oro negli smalti con porpora di Cassio sono piccole e di dimensioni uniformi, queste variazioni di diffrazione non esistono e lo smalto ha un aspetto opaco.

È curioso osservare come la prima elettrodeposizione dell'oro, avvenuta per opera di *Luigi Brugnatelli* (1761-1818), utilizzava un bagno elettrolitico derivante dalla neutralizzazione di una soluzione di acqua regia d'oro con eccesso di ammoniaca [10]. La specie chimica realmente coinvolta nell'elettrodeposizione è una miscela di composti cloro-sostituiti di formula $[\text{Au}(\text{NH}_3)_m\text{Cl}_n]^{(3-n)+}$ ($m+n = 4$) mentre l'oro fulminante costituisce solo un sottoprodotto di reazione che ha contribuito ad ostaco-

⁶ La placcatura a seguito della riduzione istantanea dell'oro fulminante è un trattamento peculiare ma non esclusivo. Infatti, anche altri composti a base di oro possono, in condizioni differenti, essere utilizzati per tale scopo. Un esempio su tutti è il trattamento "bombing", ancora oggi utilizzato in oreficeria, in cui la decomposizione dell'oro cianuro presente in soluzione viene indotta per reazione con acqua ossigenata in accordo con la seguente stechiometria:



larne lo sviluppo [16]. Nel 1840 *John Wright* (1808-1844) ripropose l'esperimento di *Brugnatelli* utilizzando un bagno elettrolitico a base di oro cianuro con risultati nettamente superiori sia in termini di qualità che affidabilità. Tale trattamento è ancora oggi utilizzato.

Incidenti storici e mancati infortuni

L'analisi storica degli incidenti annessi alla manipolazione dell'oro fulminante può essere divisa in due fasi temporali con caratteristiche contrastanti. La prima fase, come è stato discusso, trova l'oro fulminante spesso al centro dell'interesse di una sintesi, caratterizzazione o funzione applicativa dove il rischio di un'esplosione accidentale era noto agli addetti ai lavori [12]. Nonostante questa consapevolezza del pericolo inerente alla manipolazione dell'oro fulminante, specialmente in forma "pura" ed anidra, gli incidenti non sono mancati. Nel 1809 *Jöns Jakob Berzelius* (1779-1848), nell'intenzione di recuperare il metallo prezioso, rimase coinvolto nell'esplosione di 9 g di oro fulminante ferendolo in molteplici parti del suo corpo, tra cui gli occhi, per cui fu costretto a rimanere per mesi bendato in completa assenza di luce. Analizzando questi aspetti in un contesto di più ampio respiro, è opportuno sottolineare come, nel periodo alchemico e in quello pionieristico chimico dei secoli XVIII e XIX, gli incidenti in fase di laboratorio non rappresentarono di certo un'esclusiva dell'oro fulminante. Il profondo desiderio di comprendere la composizione della materia nonché le leggi fisiche che la regolavano, è alla base della diffusa accettazione del rischio che si assumevano gli sperimentatori dell'epoca. Come conseguenza, durante gli innumerevoli esperimenti condotti in questi secoli di grandissimo fermento intellettuale, tanti furono gli incidenti ad essi annessi, alcuni dei quali coinvolsero anche illustri chimici come *Scheele*, *Faraday*, *Liebig* e *Gay-Lussac* [1]. Per l'oro fulminante, l'aggravante aggiuntiva risiedeva nell'intima relazione che intercorre tra la sua purezza e le sue proprietà chimico-fisiche per cui una variabile di sintesi, a priori considerata trascurabile, poteva avere un effetto ingente sul suo potere bruciante. Sebbene tali cambiamenti sperimentali richiesero che la gestione del rischio passasse da un approccio

dettato dalle logiche dell'esperienza ad uno prudenziale, la conoscenza della chimica e la cultura della sicurezza ad essa correlata non erano ancora mature per indurre gli sperimentatori a queste tipologie di considerazioni.

Come è stato analizzato nel testo, nel XX secolo l'interesse per l'oro fulminante si va ad esaurire sia dal punto di vista pratico, vista la sostituzione delle sue applicazioni con composti o tecniche più performanti, che di ricerca accademica salvo limitate eccezioni [11, 14]. Oggi (seconda fase), l'elefantiasi quantità di informazioni che gravitano intorno al mondo della chimica non lascia spazio, neanche a livello di formazione universitaria, a composti dimenticati come l'oro fulminante nonostante la sua indubbia valenza didattica. Per quest'ultimo, tale mancanza alimenta l'inconsapevolezza del rischio di incidenti chimici che, a causa della sua facilità di sintesi, sono tutt'altro che improbabili. Infatti, come è stato discusso, l'utilizzo di reagenti di uso comune (e.g. ammoniaca) unito alle blande condizioni di reazione e agli innumerevoli percorsi di sintesi rappresentano i principali fattori che alimentano la probabilità che si verifichi un incidente. Un ulteriore aggravante che grava intorno all'oro fulminante è dovuta alla sua natura polimerica eterogenea che ne impedisce la classificazione come sostanza chimica. Come conseguenza, la mancata associazione con il numero CAS (Chemical Abstracts Service) non ne permette una identificazione univoca ed immediata.

Recentemente, un timido grido di allarme è stato lanciato da tecnici di settore a seguito di mancati infortuni registrati nell'ambito dell'affinazione chimica nonché della sintesi di nanoparticelle e di catalizzatori a base di oro [7, 4]. Nonostante ciò, ancora oggi nella letteratura scientifica non è una rarità imbattersi in articoli e brevetti che argomentano riguardo a percorsi di sintesi in cui vi è utilizzo di un sale di Au(III) e ammoniaca senza un richiamo che allarmi della possibilità di sintetizzare l'oro fulminante. A conclusione di questo percorso sull'oro fulminante, possiamo sicuramente affermare come la corretta analisi del rischio chimico di una generica reazione, anche la più semplice, non possa non prescindere dalla rigorosa consultazione di manuali specifici dedicati specificamente alla sicurezza.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CARDILLO Paolo, 2001. Some historical accidental explosions. *Journal of Loss Prevention in the process industries*, 14, 69-76.
- [2] CHARI Celia S. *et al.*, 2022. Nanoscale engineering of gold particles in 18th century Böttger lusters and glazes. *PNAS*, 119(18), 1-9.
- [3] CROLL Oswald, *Basilicum Chymicum*, edizione postuma di Michaelis J. and Hartmanno G.E., Chouet C., Ginevra, 1658.
- [4] CUSUMANO J.A., 1974. Safety in the preparation of multi-metallic catalysts, *Nature*, 247, 456.
- [5] FABRIZZI Luigi, 2019. Strange Case of signor Volta and Mister Nicholson: How Electrochemistry Developed as a Consequence of an Editorial Misconduct. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(18), 2-11.
- [6] FINKELSTEIN N.P. *et al.*, 1974. A New Approach to the Chemistry of Gold, *Gold Bulletin*, 7, 72-77.
- [7] FISCHER Janet M., 2003. Letter to the Editor, Fulminating Gold, *Gold Bulletin*, 34(4), 155.
- [8] GLAUBER Johann Rudolf, *Operum Chymicorum*, Bucher und... Francoforte, 1659.
- [9] HARTMANN Johannes, *Praxis Chymiatricae*, edizione postuma di Michaelis J. and Hartmanno G.E., Grossi G., Lipsia, 1633.
- [10] HUNT L.B., 1973. The early history of gold plating. *Gold Bulletin*, 6(1), 16-27.
- [11] MACASKIE L.E. *et al.*, 2007. A New Approach for the Recovery of Precious Metals from Solution and From Leachates Derived from Electronic Scrap. *Biotechnology and Bioengineering*, 96(4), 631-639.
- [12] POZZI Giovanni, *Dizionario di fisica e chimica applicata alle arti*, 1827 Milano editore Fanfani, Tomo VII, 289-294.
- [13] SCHWAERTZER Sebal, *Chrysopoeia Schwaertzeriana*, 1585. Copia pubblicata da Samuel Heil, Amburgo, 1718: https://reader.digitale-sammlungen.de/de/fs1/object/display/bsb10253002_00014.html.
- [14] STEINHAUSER Georg *et al.*, 2008. A review on fulminating gold (Knallgold). *Gold Bulletin*, 41(4), 305-317.
- [15] WENTRUP Curt, 2019. Fulminating Gold and Silver. *Angewandte Chemie International Edition*, 58, 2-11.
- [16] WENTRUP Curt, 2019. Nitrogen- and Sulfur-Containing Energetic Compounds. 64 Years of Fascinating Chemistry. *Australian Journal of Chemistry* 72, 585-594.
- [17] ZUMBULYADIS Nicholas, 2014. Decorating with explosives: the use of aurum fulminans as a purple pigment. *Bulletin for the History of Chemistry*, 39(1), 7-17.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 105-111
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

I “forni svaporatorj” di Giovanni Arduino

ANGELO BASSANI

E.mail: angbassa@libero.it

Abstract – The reverberatory furnace for the concentration of solutions has been introduced in the alum manufacture in Hystria, then under Venice rule, between the summer and fall 1790.

This innovation, devised by Giovanni Arduino and realized by Francesco Tavelli, was soon after applied also in the Agordo mines for the extraction of copper and iron sulfate.

Keywords: Giovanni Arduino, Francesco Tavelli, Pietro Turini, alun

Riassunto – Tra l'estate e l'autunno del 1790 nell'impianto per l'estrazione dell'allume in Istria, allora parte della Repubblica di Venezia, vennero introdotti i forni a riverbero per la concentrazione delle soluzioni. Tale innovazione, progettata da Giovanni Arduino e messa in opera da Francesco Tavelli, venne subito applicata nella produzione del rame e del solfato di ferro nelle miniere di Agordo.

Parole chiave: Giovanni Arduino, Francesco Tavelli, Pietro Turini, allume

Gli impianti più noti per l'estrazione dell'allume in Italia nel '700 sono quelli della Tolfa nel Lazio e di Monterotondo in Toscana. In ambedue i siti il minerale di partenza era l'alunite ($KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$) che, dopo l'estrazione dalle cave, veniva sottoposto ai processi di arrostitimento, macerazione, lisciviazione/cottura e cristallizzazione [8].

Nella località di Sovignacco in Istria, Pietro Turini, formatosi nel Collegio militare di Verona diretto da Anton Maria Lorgna e dimessosi dal corpo degli ingegneri della Repubblica veneta dopo un servizio di oltre 7 anni,¹ aveva fin dal 1781 dato vita, con la consulenza di Giovanni Arduino, ad una impresa industriale analoga [11].

Qui peraltro la materia prima era diversa: si trattava di una bauxite piritica, costituita in prevalenza da idrossidi di alluminio ($AlO(OH)$ e $Al(OH)_3$), nonché da pirite (FeS_2) e altre componenti minori [18]. Con l'esposizione agli

¹ ASV (= Archivio di Stato di Venezia), *Senato militar. Deliberazioni*, f. 67, decr. 5/10/1771, terminazione di Marco Antonio Priuli, 6/9/1771; f. 93, decr. 20/5/1779, attestato allegato, 1/11/1777, supplica Turini, s. d., relazione di Antonio Zen, 18/5/1779.

agenti atmosferici lo zolfo piritico si ossida producendo i solfati di alluminio e di ferro (II), il cosiddetto vetriolo verde, che vengono lisciviati e opportunamente separati.

Pertanto, come spiegava Arduino a Turini, rispetto a quanto avveniva nell'Italia centrale, le tecniche di estrazione dovevano essere differenti:

Ma v'ha somma differenza dal trattamento delle pietre alluminose d'essa Tolfa, e d'altre analoghe, che punto di vetriolo non partecipano, e quelle che conviene a codesta sua sì di vetriolo abbondante. Quelle, come le è ben noto, calcinate e fatte cadere in faticenza all'aria col mezzo di frequenti e lungamente ripetute irrorazioni, vansi getando nell'acqua bollente dentro la grande caldaja; e di mano in mano che trovansi da essa acqua spogliate del loro allume, ne vengono estratte per rimettervene delle nuove: locché si continua a fare si continua fino a tanto che l'acqua trovisi tanto saturata di allume da essere disposta alla cristallizzazione.

Lo spesso strato di fanghiglia che viene a coprire il fondo, sia esso di rame o di ferro, lo protegge dalla corrosione esercitata dalla soluzione.

Così non segue nel trattamento delle minere vetriolico-alluminose, per le quali è necessario far svaporare a forza di fuoco, nelle caldaje, il loro liscivio preventivamente ben chiarificato. Se in questo caso le caldaje fossero di rame, oppure di ferro, questi in breve verrebbero corrosi dalla forza combinata del vetriolo e dell'allume, alla quale sarebbero nudamente esposti: quindi si è sempre conosciuto necessario di servirsi del piombo il quale elude l'azione corrosiva de' medesimi sali.

Non conviene dunque uscire dalla tradizione e neppure importare da lontano grandi caldaie di piombo.

Egli è d'uopo di avere maestri capaci, non solo della confezione del vetriolo e dell'allume, ma ancora di gettare e modificare le caldaje in qualunque caso che il farlo abbisogni: l'aversele sempre a procacciare d'altronde sarebbe un intrigo insopportabile.²

L'affidamento di tali mansioni ad un tecnico proveniente da Agordo, nel Bellunese, ritenuto pratico del processo idrometallurgico che vi si praticava per l'estrazione del rame, fu un insuccesso: la formazione di depositi sul fondo delle caldaie di piombo nel corso dell'evaporazione delle liscivie con il vetriolo, solfato di alluminio e notevolmente acide, portava troppo spesso alla fusione delle caldaie stesse.³

Un ulteriore inconveniente era il consumo eccessivo di potassa, indispensabile, come ora si sa, per ottenere l'allume dalla bauxite, ma che allora era impiegata nel-

l'erronea opinione che occorresse neutralizzare l'acidità delle acque madri, nonché per precipitare il ferro. Al fine di minorare l'impiego di tale costoso ingrediente, Arduino suggerì «di ridurre concreto, per svaporazione, il misto salino contenuto nelle sue acque madri, e di disseccarlo poi, e calcinarlo in forno a riverbero a forza di fiamma», per poi estrarne «con appropriata enchiereisi, il suo allume bene cristallizzato e puro, senza dovervi impiegare tanta quantità dell'alcali dianzi nominato».

Dopo un test di prova, Turini incaricò un secondo capomastro, Francesco Tavelli, originario del Trentino, che già aveva collaborato con Arduino [5], di costruire un forno sulla base delle indicazioni di quest'ultimo. Quando gli venne riferito dell'«utile riuscita del suddetto forno da disseccare e calcinare il misto salino delle sue acque madri col riverbero sopra il medesimo di viva fiamma», lo studioso veronese così rappresentò all'imprenditore il passo successivo, nel quale non era più previsto di portare a secchezza il contenuto delle soluzioni:

Signore, Con un simile forno di riverbero, costruito di pietre o di mattoni, di qualità all'uopo confacenti, con la di lui area piana contornata di sponde di conveniente altezza, sicché formi un recipiente atto a contenere le di lei acque, senza che ne possano trapelare, ella potrà farle ristignere e concentrarsi, secondo il bisogno col mezzo della fiamma vibrata dalla stufa e scorrente sopra la loro superficie; il qual modo di farle cuocere e svaporare le sarà molto profittevole, sì per la confezione del vetriolo, che dell'allume, e potrà così liberarsi dalla grave spesa, dall'imbarazzo e dai pericoli delle caldaje di piombo.⁴

L'efficacia delle nuove installazioni così costruite è così rappresentata in una lettera a lui diretta nell'ottobre 1790:

S'acquista molto nel tempo e nel risparmio della materia combustibile, le acque concentrate passano limpidissime nei vasi a cristallizzare, perché non v'essendo moto di ebullizione di sotto in sù, le acque svaporando lascian calare lentamente al fondo dei recipienti le pesanti impurità che contengono; quindi molto più belli e puri risultano i sali cristallizzati. Si risparmia non solo il riflessibil dispendio delle caldaje di piombo, ma si rende molto più agevole l'impiego delle persone destinate alli forni, che usar devono molta diligenza e fatica onde evitar che si abbruccino, come accade ben spesso malgrado tutta l'attenzione che vi pongono; e non mai senza gravissimi incomodi e danni [19].

L'innovazione di processo messa a punto in Istria trovò una quasi immediata applicazione in un'altro insediamento minerario della Repubblica veneta, cioè in valle Imperina nell'Agordino, dove si estraeva il rame da miniere e impianti di proprietà statale. Data la disomogeneità e la po-

² BCVR (= Biblioteca civica di Verona, *Fondo Giovanni Arduino*), b. 757, l.f.6, Arduino a Turini, 10/7/1782.

³ ASV, *Senato Terra*, f. 2786, decr. 16/8/1783, testimonianza di Giorgio Furlanicchio, 7/1/1782 mv.

⁴ BCVR, b. 757, l.h.19-21, minuta di lettera di Arduino per Carlo Amoretti, compilatore degli *Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti* di Milano.

vertà del materiale di partenza, qui si applicavano due processi che fornivano diverse qualità di metallo: quello di vena, il più pregiato, e quello di estrazione.

Nel primo si seguiva la cosiddetta “via secca”: dopo lo scavo si selezionava a mano il minerale più ricco, appunto di vena, che veniva ammonticchiato in cumuli detti roste opportunamente sagomati per favorire l’arrostimento che avveniva con l’apporto di combustibile e altresì con il contributo dello zolfo contenuto nel minerale (si tratta infatti di piriti cuprifere). Terminata questa fase la crosta esterna (terre vergini) dei pezzi arrostiti veniva rimossa a martellate e la parte interna, contenente la maggior parte del rame, era sottoposta a altri processi di fusione e raffinazione fino ad ottenere il metallo.

Più attenzione merita, nel nostro contesto, il processo per via umida sopra accennato. Dopo un preliminare arrostitimento, il minerale meno ricco veniva unito alle terre vergini e successivamente lisciviato. A partire dal 1670 circa, la soluzione risultante, che conteneva solfato di ferro e piccole quantità di solfato di rame, era dapprima ridotta in volume per prolungata evaporazione in caldaie di piombo e poi, raggiunta la concentrazione opportuna, addizionata di rottami ferrosi: in tali condizioni si produceva un’ossido-riduzione tra il ferro metallico e il rame in soluzione, con passaggio di quest’ultimo allo stato di elemento sotto forma di una poltiglia scura detta “grassure”, prodotto che veniva poi fuso per separarlo dalle scorie e raffinato. Dalla soluzione residua si ricavava poi il vetriolo di ferro, anch’esso posto in commercio [12].

La conversione degli impianti di Sovignacco si era prodotta fra l’estate e l’autunno del 1790 e nel giro di pochi mesi, la stessa cosa avvenne, per iniziativa di Arduino, in quelli di Agordo. Questi, trascurando di segnalare il suo ritrovato alle autorità preposte, «non pens[ò] che a consigliar l’uso di detto nuovo metodo in quella pubblica vitrioleria al sig. Domenico Zanchi pubblico saggiaiore delle minere, che col sig. Nicolò suo fratello soprintendono alla direzione di quella importantissima minerale impresa». ⁵ Agli inizi di ottobre il Deputato alle miniere responsabile poté osservare la costruzione del nuovo forno nel bellunese e, ignaro del precedente istriano, nel suo rapporto al Consiglio dei Dieci da cui dipendeva si espresse nei seguenti termini:

L’incessante attività de’ nostri soprintendenti per aumentare la fabbrica de’ vetrioli, e rame di estrazione aveva intrapreso la fabbrica di certa piccola caldaja di pietra, o sia forno di evaporazione, tutto nuovo, né mai descritto, o praticato da alcuno da sostituire alle caldaje di piombo, nelle quali succede la

precipitazione delle parti metalliche, e la concentrazione delle acque vitrioliche sempre usate in Agord per tali lavori.

Immaginata dal Sig. Giovanni Arduino uomo noto, assai illuminato, ed esperto non solo nelle materie agrarie, ma nelle cognizioni naturali e chimiche, e proposta in amichevole discorso con uno delli Soprintendenti stessi la possibilità di concentrar l’acque alluminose, e vetrioliche con un fuoco a riverbero [n’è] nata quindi nel soprintendente l’idea di costruire il detto forno o sia vasca di pietra nella lusinga di poter fare a meno delle caldaje medesime, e particolarmente dei dispendiosissimi arpesi di ferro, che le sostengono. ⁶

La qualificazione di «immaginata» conferita alla nuova tecnologia era un riconoscimento piuttosto riduttivo del ruolo di Arduino, così come poco gratificante era una considerazione formulata da Turini, nella lettera sopra citata, peraltro molto elogiativa; quest’ultimo infatti, rifacendosi alla serie di tentativi ed errori del percorso inventivo, aveva così presentato tale innovazione: «questa idea di costruirli [i forni] era figlia del caso» [19].

L’apprezzamento espressogli, con qualche ritardo, dal Consiglio dei Dieci, uno dei più alti organi di governo della Repubblica, ⁷ attenuò solo in parte il rammarico per gli angusti ambiti cui veniva confinato il suo contributo. Decise dapprima di illustrarlo pubblicando sul *Nuovo Giornale d’Italia* la lettera inviatagli da Turini, quindi la trasmise ad Amoretti corredandola in particolare della seguente postilla: «Tutta l’influenza che in ciò ebbe il caso si fu che il Sign. tenente Turini, come avea già fatto in tant’altre occasioni, mi ricercò cosa potess’io mai pensare, e suggerirgli di atto a facilitare la confezione dell’allume della di lui minerale»; successivamente inviò una seconda lettera esponendo in modo più circostanziato il nuovo impianto e il proprio apporto. ⁸ Di tale corrispondenza il collega milanese diede un estratto nel fascicolo conclusivo degli *Opuscoli scelti* per l’anno 1790, sottolineando alcune osservazioni dell’autore («il caso, e più ancora i consigli del dottissimo Sig. Giovanni Arduino...», ecc.) [1].

Una scorrettezza più grave dell’infelice espressione di Turini venne però da Agordo. Pochi giorni dopo l’approvazione del Consiglio dei Dieci, su un foglio settimanale veneziano, il «Nuovo Postiglione», veniva dato un resoconto dell’inizio delle operazioni con il nuovo forno:

⁶ *Relazione dell’Ecc.mo Barbon Vincenzo Morosini 4° deputato ritornato dalla vista delle pubbliche miniere di Agord*, 20/1/1790 mv; ASV, *Deputati alle Miniere, Relazioni 1765-1790*. Arpese (talvolta arpice) = grappa, graffa.

⁷ ASV, *Consiglio dei Dieci, Comuni*, f. 1298, decr. 16/2/1790 mv.

⁸ BCVR, b. 757, I.h.5, minuta di lettera di Arduino ad Amoretti, 21/1/1791.

⁵ *Ibidem*.

Animati dalla Sovrana Clemenza li minerali e metallurgici lavori nella valle Imperina di questo Serenissimo dominio, oltre varie innovazioni ed utili scoperte, che aumentarono di molto quei nazionali prodotti; fu immaginato ed eseguito nello scorso settembre un forno evaporatorio, per concentrare le acque vetrioliche, e raccogliere il rame detto di cemento [13].

Tale resoconto non solo ometteva ogni riferimento ai precedenti di Sovignacco, ma ignorava completamente il contributo di Arduino, nonostante il decreto lo riconoscesse ufficialmente: di conseguenza, implicitamente, ma necessariamente, i dirigenti delle miniere bellunesi, pur non nominati, risultavano i veri e soli protagonisti dell'iniziativa.

L'occasione per reagire si presentò subito. Alla metà di marzo il suo corrispondente milanese gli aveva inviato il programma di una iniziativa della r. Società patriottica di Milano al fine di farla conoscere attraverso il *Nuovo Giornale d'Italia*. Nel pubblicare il documento egli rese nota anche la lettera accompagnatoria nella quale Amoretti lo metteva al corrente di aver segnalato le sue proposte tecniche a François Samuel Wild, capitano generale delle miniere di Berna. Questi, particolarmente interessato, aveva in corso la sperimentazione del nuovo metodo nelle saline svizzere, ed aveva richiesto un disegno dell'impianto.

Tale segnalazione bastava a giustificare la pubblicazione della lettera, ma, soprattutto, consentiva di correderla di una nota redazionale nella quale si spiegava che il forno a riverbero di cui si parlava era «quello ideato e suggerito dal prefato sig. Arduino» dapprima a Turini e «poi anche al valentissimo Signor Domenico Zanchi pubblico docimasta-minerale» ad Agordo. Si aggiungeva poi che «della sua costruzione, molto ingegnosamente eseguita dal detto signor Zanchi, e della rilevantissima sua utilità» era stata inserita una relazione sul *Nuovo Postiglione*, «ma con misteriosa avvedutezza di non nominarvi alcuno» [2].

Circa un mese più tardi, poi, forse sollecitata dalle autorità ma certamente in risposta a quest'ultimo intervento, sul medesimo periodico comparve la seguente precisazione:

Per rispettare alcune rispettabili ricerche ed a fine si possono cogliere i vantaggi de' quali è suscettibile l'invenzione del forno evaporatorio descritto [...], ne fu inciso in rame dal sig. Giovanni Antonio Pasquali. Nel «Nuovo giornale d'Italia» [...] apparisce una nota che ne attribuisce l'idea e suggerimento all'eruditissimo sig. Giovanni Arduino, quando questo celebre soggetto ha bensì il merito di aver veduto in astratto la possibilità di evaporare le acque saline a riverbero, ma non ebbe mai alcuna parte nell'invenzione del forno stesso; come è supponibile, neppure del forno descritto nel mentovato Giornale

[...], che per essere di differente costruzione dell'anzidetto, ricerca la continuazione di fuoco per sei, o sette giorni, affinché segua l'evaporazione di una ristretta quantità d'acque [...]. Le sole economiche utilità costituiscono il preggio di simili ritrovati, ed ha la compiacenza il suo inventore di poter essere utile alla Nazione senza alcuna pretesa alla celebrità del suo nome [14].

Nonostante la falsa modestia della conclusione, tale nota rivela una non banale malizia: oltre a sottolineare le diverse caratteristiche dei forni di Sovignacco e la loro presunta minore efficacia, descrive il contributo di Arduino con la formulazione del decreto del Consiglio dei Dieci.

Al silenzio della prima pubblicazione subentrava dunque nella seconda il diniego esplicito che il nuovo forno risalisse ad Arduino, accreditato soltanto di «averne veduto in astratto la possibilità». Ma non solo. La tavola incisa a Venezia,⁹ priva di ogni riferimento autoriale, faceva risalire l'esecuzione dell'impianto al settembre del 1790, praticamente contemporanea a quella di Sovignacco. Ciò, unitamente all'asserzione relativa alla sua «differente costruzione», confermava l'esclusione di Arduino da ogni paternità dell'innovazione introdotta negli stabilimenti agordini.

Il commento allegato alla seconda notizia riportata sul «Nuovo Postiglione» testimonia dell'irritazione che tale vicenda gli suscitò:

Il mistero di non nominarvi alcuno si è poi manifestamente svelato. Il sig. Zanchi nel foglio delli 13 aprile 1791 di detto «Nuovo Postiglione», pag. 240, e nell'iscrizione impressa nel disegno del forno predetto stampato in rame, non contento d'aversi fatto molto onore nella costruzione ed uso del forno medesimo, e d'averne avuto pubblico premio, ha voluto far credere di non averne avuto l'idea ed il suggerimento dal sig. Arduino, ma di aver immaginato siffatto modo di far svaporare le acque vetrioliche ec. onde carpire con detestabile ingratitudine e falsità ad esso Arduino l'onore di questa nuovissima ed utilissima invenzione, di cui era stato riconosciuto autore anche col Sovrano decreto [...] alli sig.ri fratelli Zanchi, ministri del magistrato eccellentissimo delle miniere ben noto.¹⁰

Su ordine di Morosini una copia del disegno venne subito inviata ad Amoretti, cui Arduino fece seguire una seconda lettera con ulteriori delucidazioni, probabilmente corredata dell'estratto del «Nuovo Postiglione» e della annotazione aggiunta. Aveva notato infatti che il

⁹ *Disegno di un nuovo forno evaporatorio, contenente 1200 piedi cubi d'acqua, immaginato ed eseguito nel mese di settembre 1790 nelle vetriolerie della valle Imperina d'Agordo per commissione dell'Ecc.mo Sig.r Barbon Vicenzo Morosini 4° deputato dall'Ecc.sso Consiglio di Dieci [...]*, BCVR, b. 758, II.e.8-9.

¹⁰ BCVR, b. 758, II.e.18, nota allegata all'estratto del «Il Nuovo Postiglione», p. 240.

disegno non corrispondeva all'impianto in esercizio: in particolare la lunghezza della vasca risultava di 40 piedi, anziché di 20, e rappresentava piuttosto il progetto dei nuovi bacini evaporatori previsti dal decreto dei Dieci.

La parte più interessante della lettera riguarda però l'intestazione del disegno:

Vi sta scritto che il rappresentato forno fu immaginato ed eseguito nel settembre 1790: bugia detestabile espressa con malizioso artificio; quando è certo che Sua Eccellenza arrivò in Agordo li 9 di ottobre, ed allora gli Zanchi stavano fabbricando il picciolo forno di prova. Se ne partì S. E. il giorno dei 15 ottobre, ed esso picciol forno non era ancora terminato. Questo lo so da S. E. che m'ha letto il suo giornale itinerario, e dal Sig. Abate Toffoli che colà trovavasi e ne partì con lo stesso Ecc.mo Morosini. Il forno grande della lunghezza di 20 piedi, mi dice il Sr. A. Toffoli che non fu edificato e posto in lavoro che nel susseguito novembre.¹¹

Una particolarità del disegno consisteva nell'assenza di indicazioni e nel perfezionare la sua controffensiva egli corredò la copia dell'incisione di una completa legenda esplicativa con la seguente premessa:

L'imperfezione misteriosa, con cui il Sig.r Domenico Zanchi ha figurato senza veruna spiegazione, questo Forno svaporatorio delle acque vetrioliche a fiamma di riverbero, esige ch'io ne dia qualche dichiarazione, essendo tal modo nuovissimo di così operare da me stato inventato e suggerito.

A ciò seguiva una «Nota da porsi alle figure in rame del forno svaporatorio fatto in Agordo»:

Questo nuovo modo di svaporar le acque vetrioliche, le aluminose e le salse, senza servirsi di caldaje, ma con fiamma di riverbero scorrente sopra la superficie d'esse acque, fu ideato e suggerito al chiarissimo sig.^r tenente Pietro Turini dal sig.^r Giovanni Arduino, Pubblico Professor ec., e posto in pratica da esso sig.^r Turini con felice successo nella grande sua miniera di allume e vetriuolo di Sovignacco nell'Istria nella state del 1790; indi fatto noto e suggerito dal medesimo Arduino al pubblico saggior minerale sig.r Domenico Zanchi nel'autunno dello stesso anno pel vetriuolo della grandissima miniera pubblica di Agordo, dove fu costruito, e posto in opera, non già in settembre, ma in novembre susseguente, e non della lunghezza di piedi 40, com'è qui figurato, ma di soli piedi 20, come costa dal modello che ne fu presentato.¹²

Amoretti pubblicò prontamente nel suo periodico tutte le messe a punto inviategli omettendo però quest'ultima nota: lette assieme esse divenivano una esplicita accusa di plagio nei riguardi di Zanchi ed erano inoltre in dissonanza rispetto alle espressioni usate dai Dieci nel loro decreto. Al curatore del periodico, peraltro del

tutto solidale con il collega veneziano, la prudenza suggeriva di non affondare eccessivamente il colpo nei confronti di un funzionario capace, apprezzato e protetto dalle magistrature della Repubblica [3].

Non risultano repliche alla pubblicazione, ma Arduino continuò egualmente nella sua rivendicazione. Mentre, è da credere, accolse con soddisfazione la ripresa su un altro periodico dei resoconti pubblicati da Amoretti [4], alcuni mesi più tardi cercò la collaborazione di Marco Lastri, segretario perpetuo dell'Accademia dei Georgofili di Firenze e compilatore delle *Novelle letterarie*, facendogli pervenire la documentazione relativa.

Questi riassunse in un articolo tutta la vicenda esprimendosi in modo molto meno neutro di Amoretti: «l'idea di far bollire una gran massa di acque col fuoco che riverberi sopra la superficie di esse, è affatto nuova, e si deve totalmente al sig. Giovanni Arduino». Dopo una esposizione breve, ma con plauso, dei vantaggi dei nuovi impianti, ampio spazio è riservato a sostenere la primogenitura del suo corrispondente veneziano. Ricorda la genesi del processo, la resistenza iniziale di Zanchi che sosteneva «non poter convenir un tal metodo alle circostanze di quella vetrioleria» e le diverse notizie pubblicate sul *Nuovo Postiglione*, in merito alle quali esprime severa riprovazione per la «manifesta usurpazione». Conclude osservando che «simili forni, egli scrisse ultimamente al sig. proposto Lastri, furono anche da lui suggeriti come di grandissima utilità nelle saline dove fassi svaporare le acque salse a forza di fuoco, come il Volterrano ec.» [15].

L'articolo rispondeva pienamente alle esigenze di Arduino e, proseguendo la tattica diretta a presentare commenti a lui favorevoli da parte di studiosi estranei all'ambiente veneziano, egli fece uscire, come aveva già fatto con Amoretti, la nota suddetta nel suo periodico, con due accorte correzioni. Per un verso tolse un accenno ai tempi dell'invenzione, fissati con troppo zelo da Lastri a più anni addietro, e per l'altro sopresse il riferimento alla lettera da lui scritta al corrispondente fiorentino, evitando così di apparire come l'ispiratore dell'intervento pubblicato [16].

A distanza di circa un anno dalle nuove installazioni tale vicenda si concluse con il conferimento di una medaglia del valore di 12 zecchini in relazione «alla singolar capacità ed esperta cognizione» con cui lo studioso veronese aveva «contribuito al pubblico vantaggio rapporto alli forni di evaporazione».¹³

¹¹ BCVR, b. 757 [Ibidem], 30/4/1791, I.h.6-7. Su Toffoli, che aveva messo a punto una pompa per prosciugare l'acqua, si veda [17].

¹² BCVR, b. 758, II.e.8-9, stampa impianto con annotazioni e commento.

¹³ BCVR, b. 759, III.e.22, copia terminazione Deputati alle miniere, 28/9/1791.

Risale ad alcuni anni più tardi l'ultimo contributo di Amoretti alla rivendicazione di Arduino, allorché pubblicò un estratto dell'intervento del funzionario e scienziato aretino Vittorio Fossombroni. Ricordate le precedenti segnalazioni, venne esposto il tentativo praticato nelle saline continentali di Volterra dove ad un forno a riverbero realizzato secondo le note indicazioni era applicata la seguente modifica: sostituire alla volta in muratura degli impianti di Sovignacco ed Agordo una caldaia con il fondo di piombo in modo «che il fuoco obliquo lambisca inferiormente la superficie dell'acqua, come prescrive Arduino, e dalla parte superiore il fondo [dell']altra caldaia», concludendo, in base ai risultati: «sembra pertanto che l'idea di questo nuovo forno, che riunisce nel tempo istesso il principio adottato dall'autore dei nuovi forni volterrani e quello di Arduino meriti d'essere con ulteriori esami illustrata» [10].

L'impiego del forno a riverbero nella concentrazione dei liquidi era una invenzione ormai matura: lo stesso volume degli *Opuscoli* che illustrava l'esperienza di Volterra, riferiva di un progetto analogo, ma più complesso, ripreso dal periodico londinese della Società d'incorag-

giamento e più tardi inserito anche nelle *Annales des arts et manufactures* [6].

Il fenomeno in sé era noto da tempo; il redattore della voce *Évaporation* nella *Encyclopédie* aveva osservato: «Le vent naturel ou artificiel accélère aussi l'évaporation; ce qui paroît dépendre principalement du renouvellement continuel de l'air qui environne les corps» [9]. Non ho tuttavia incontrato precedenti della soluzione tecnica proposta da Arduino e realizzata da Tavelli. Una simile applicazione venne praticata nell'impianto di Hurlet presso Glasgow, dove la produzione di allume era avviata dal 1797, per iniziativa, intorno al 1808, di Charles Macintosh, protagonista con Charles Tennant della fabbricazione del cloruro di calce: «At the alum works he invented a surface-evaporating reverberatory furnace for fluids which was later adopted by the manufacturers of synthetic alkali» [7]. Per quanto finora risulta, tale innovazione divenne di comune conoscenza tramite la prima edizione del *Dictionary* di Andrew Ure (1821) che riferisce di un «method of evaporating liquors lately introduced (corsivo mio, ndr) into large manufactories. [20].

BIBLIOGRAFIA

- [1] AMORETTI Carlo, 1790. *De' nuovi forni d'evaporazione. Trattato di una lettera del Sig. Pietro Turini al Sig. Giovanni Arduino*, «Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti», 13, pp. 417-420.
- [2] –, 1791. *Lettera del Celebre Sig. Ab. C. A. [...] al Signor Giovanni Arduino [...]*, «Nuovo Giornale d'Italia», 2, fasc. XLIX (2/4/1791), pp. 385-386.
- [3] –, 1791, *Descrizione del forno di svaporazione eseguito in Agordo, comunicataci dal Cel. Sig. Giovanni Arduino*, «Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti», 14 (1791), pp. 232-234. L'incisione, pubblicata alla fine del fascicolo (p. 288), è priva di intestazione e di scala.
- [4] «Antologia romana», 1791. *Arti utili*, 17, fasc. XLIV, aprile, pp. 345-349.
- [5] ARDUINO Giovanni, 1786. *Di varie minere di metalli, e d'altre specie di fossili delle montane provincie Venete di Feltre, di Belluno, del Cadore, e della Carnia, e del Friuli e specialmente del sale catartico amaro a base di magnesia scoperto recentemente in quelle montagne*, «Memorie di matematica e fisica della Società italiana dei XL», 3, pp. 297-330.
- [6] BROWNE Enrico, 1795. *Lettera del sig. E. B. al Sig. Moore sopra un nuovo svaporatojo*, «Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti», 18, pp. 316-318, 360 (tavola); *Description d'un fourneau d'évaporation pour les sels, etc.*, «Annales des arts et manufactures», 11 (30 Vendémiaire an XI = 22/10/1802), pp. 49-53.
- [7] CLOW Archibald, CLOW Nan L., 1992. *The chemical revolution*, London, Batchworth Press Ltd, 1952; reprint Philadelphia et al., Gordon & Breach Science Publishers, pp. 191-193, 239, 255.
- [8] DELUMEAU Jean, 2003. *L'allume di Roma XV-XIX secolo*, traduzione e cura di Luciano Poggi, Civitavecchia, Comunità montana "Monti della Tolfa"; DALLAI Luisa, 2014. *L'allumiera di Monteleo nel territorio di Monterotondo Marittimo*, «Mélanges de l'École française de Rome - Moyen Âge [En ligne]», 126-1 |, mis en ligne le 09 avril 2014. URL: <http://journals.openedition.org/mefrm/1962>.
- [9] *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, Paris, Briasson et al., (1756), *Évaporation*, VI, pp. 123-132, ivi, pp. 129-130.
- [10] FOSSOMBRONE Vittorio [rectius FOSSOMBRONI], 1795. *Sui forni di svaporazione del Sig. Giovanni Arduino applicati alla salinazione artificiale*, «Opuscoli scelti sulle scienze e sulle arti», 18, pp. 182-184.
- [11] GALIZI Deodato, 1783. *Memoria epistolare [...]. Al sig. Abate D. Gio. Girolamo Carli*, «Nuovo Giornale d'Italia», 8, fasc. I (19/7/1783), pp. 1-6; SCUSSA Vincenzo, 1863. *Storia cronografica di Trieste dalla sua origine sino all'anno 1695 [...] cogli annali dal 1695 al 1849 [...]*, Trieste, C. Coen, p. 169.
- [12] GIORMANI Virgilio, 1993. *La produzione del rame e del vetriolo nell'Agordino* (con schede di Raffaello Vergani), in *La via del fiume dalle Dolomiti a Venezia*, a cura di Giovanni Caniato, Verona, Cierre ediz., pp. 251-254. SODERINI Agostino, 1717. *Lettera II del Sig. A. S., gentiluomo veneziano, ad un suo Amico, intorno all'Arte metallica. Della sramazione, o sia, secondo il comune parere, trasmutazione del ferro in rame, per*

- mezzo del vetriuolo*, «Giornale de' letterati d'Italia», 27, pp. 186-214.
- [13] «Il Nuovo Postiglione», n. 9, 26/2/1791, p. 136.
- [14] –, n. 16 (9/4/1791), p. 240.
- [15] [LASTRI Marco], 1791. *Ci è pervenuto da Venezia il disegno di un nuovo forno evaporatorio [...]*, «Novelle letterarie», 22, fasc. 27, colonne 420-428.
- [16] –, 1792. *Articolo estratto dal num. 27 della continuazione delle Novelle letterarie di Firenze [...]*, «Nuovo Giornale d'Italia», 3, fasc. XIII (23/7/1791), pp. 97-99.
- [17] ROSINA Marcello, 1984. *L'abate Bartolomeo Toffoli*, Musile di Piave (VE), Tipolitografia Adriatica, pp. 42-44, 158-159.
- [18] ŠINKOVEC Boris, SAKA Krešimir, DURN Goran, 1994. *Pyritized bauxites from Minjera, Istria, Croatia*, «Natura croatica», 3, pp. 41-65.
- [19] TURINI Pietro, 1790. *Lettera [...] al signor Giovanni Arduino [...] circa la grande miniera di vetriolo e di allume dell'Istria*, «Nuovo Giornale d'Italia», 2, fasc. XXXII (4/12/1790), pp. 249-253.
- [20] URE Andrew 1821. *A dictionary of chemistry*, London, printed for Thomas & George Underwood *et al.*, *Evaporation*, alla voce.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 113-119
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Molecole e interazioni molecolari nella teoria della capillarità di Laplace

VINCENZO VILLANI

Dipartimento di Scienze, Università della Basilicata, Campus Macchia Romana, Potenza
E.mail: vincenzo.villani@unibas.it

Abstract – Laplace’s Newtonian thought develops in the Age of Enlightenment and atomistic hypothesis of the 1700s and early 1800s, in which the atomic-molecular structure of matter is the basis of the experimental macroscopic laws. In this way, assuming short-range molecular interactions, Laplace deduces the main empirical laws of capillarity. In truth, his ambitious interest is a *Theory of everything* that goes from the structure of matter and chemical reactivity to the dynamics of the Universe: then, the capillary phenomena become the compass to be able to demonstrate *a posteriori*, based on the agreement between the results of the theory and observations, the truth of the molecular hypotheses adopted. This epistemological vision produces a unitary theory of the *System of the world* based on Newtonian mechanics and gravitational interactions. Finally, Laplace speculatively proposes a planetary atomic model and a stereochemical vision at the basis of short-range molecular interactions.

Keywords: Pierre-Simon Laplace; capillarity theory; molecular interactions; surface tension; chemical affinity

Riassunto – Il pensiero newtoniano di Laplace si sviluppa nella visione illuministica e nell’ipotesi atomistica del ’700 e primo ’800, in cui la struttura atomico-molecolare della materia è posta alla base delle leggi macroscopiche sperimentali. In questo modo, ipotizzando interazioni molecolari *short-range*, Laplace deduce le principali leggi empiriche della capillarità. In verità, il suo ambizioso interesse è una *Teoria del tutto* che vada dalla struttura della materia e dalla reattività chimica alla dinamica dell’Universo: allora, i fenomeni capillari diventano la bussola per poter dimostrare *a posteriori*, in base all’accordo tra i risultati della teoria e le osservazioni, la *verità* delle ipotesi molecolari adottate. Questa visione epistemologica, produce una teoria unitaria del *Sistema del mondo* basata sulla meccanica newtoniana e le interazioni gravitazionali. Infine, Laplace propone in via speculativa, un modello atomico planetario e una visione stereochemica alla base delle interazioni molecolari *short-range*.

Parole chiave: Pierre-Simon Laplace; teoria della capillarità; interazioni molecolari; tensione superficiale; affinità chimica

Pierre-Simon Laplace (1749-1827) si forma nell'Età dei Lumi, attraverso l'Ancien Régime, la Rivoluzione, l'epopea napoleonica e la Restaurazione, restando fedele agli ideali universali, sociali e politici del progresso scientifico [8].

Pierre-Simon nasce a Beaumont-en-Auge, un villaggio della Normandia, in una famiglia di piccola borghesia rurale, quel ceto imprenditoriale che andava formandosi nelle campagne alla vigilia della Rivoluzione [4]. Scoperto da d'Alembert, è professore di Matematica della Regia Scuola Militare di Parigi nel 1771. Da quel momento, la sua vita è un susseguirsi di successi scientifici e politici. Consideriamo alcuni punti rilevanti di nostro interesse. Tra il 1780-1784 collabora con Lavoisier e nella *Mémoire sur la chaleur* (1780) sviluppa il calorimetro e la teoria del calorico [19]. Tra il 1796-1825 scrive il monumentale *Traité de Mécanique Céleste* e la corrispondente opera didattico-filosofica *Exposition du système du Monde*. I saggi sulla capillarità, di cui ci occupiamo, risalgono alla piena maturità e sono svolti tra il 1806-1819 [9-15]. Tra il 1812-1814 porta a compimento la *Théorie analytique des probabilités* e il corrispondente saggio filosofico *Essai philosophique sur les probabilités*. Nel 1817 è fatto marchese da Luigi XVIII. Muore a Parigi famoso e carico di onori.

Nei due supplementi al *livre X* del *tome IV* della *Mécanique* (1806) [10] svolge in modo fortemente matematico la teoria della capillarità, a partire dalle interazioni tra le particelle fondamentali che costituiscono la materia: *molécules* (gli *atomi*) e *molécules intégrantes* (le *molecole*) [23]. Sono dedotte, in modo inequagliato, la celebre equazione di Young-Laplace della tensione superficiale, le equazioni fondamentali dell'innalzamento o abbassamento del fluido in un capillare o in uno spazio capillare tra lastre piane e parallele. Inoltre, nelle *mémoires* sul *Journal de Physique* tra il 1806-1819 semplifica ed estende la teoria a una molteplicità di casi, come l'adesione di un disco solido su una superficie liquida e l'attrazione o la repulsione apparente tra piccoli corpi galleggianti.

Già nella *Théorie de l'anneau de Saturne* [7], Laplace si interessa alle forze capillari, in questo caso per giustificare lo stato d'aggregazione della materia. Riportiamo in corsivo, stralci dell'insuperata traduzione di Pesenti-Cambursano [8]:

Supporrò che uno strato infinitamente sottile di fluido sparso sulla superficie dell'anello, vi resti in equilibrio in virtù delle forze da cui è animato. [...] Pertanto, la figura dell'anello dev'essere determinata dalle condizioni d'equilibrio di quel fluido.

In *Sulla teoria dei tubi capillari* (1806) e *Considerazioni sulla teoria dei fenomeni capillari* (1819), ricostruisce in breve la storia della capillarità. Isaac Newton (1642-1727) nell'ultimo capitolo dell'*Opticks* (1704) lascia ai posteri trentuno problemi aperti, posti in chiave ipotetica: le *quaestiones* (o *queries*). L'ultimo dei problemi riguarda la chimica, posta su basi atomico-molecolare e regolata da forze attrattive a corto raggio d'azione, nulle a distanze sensibili:

Già Newton nella questione molto ampia con cui termina l'Ottica aveva attribuito alle attrazioni tra le molecole dei corpi, che cessano di essere sensibili a distanze sensibili, i fenomeni capillari e tutti i fenomeni chimici. Aveva posto in tal modo i veri fondamenti della chimica. [...] Tuttavia, egli non sottopose al calcolo, come invece aveva fatto per le leggi di Kepler, la legge fondamentale dei fenomeni capillari: l'innalzarsi o l'abbassarsi dei liquidi in un tubo capillare e cilindrico, in ragione inversa del suo diametro.

Laplace condivide il punto di vista newtoniano: la teoria della capillarità basata sulle forze intermolecolari *short-range*, risulta il naturale sviluppo della XXXI *quaestione*, e a partire da questa ipotesi dimostra le leggi fondamentali della capillarità.

Nella *Théorie de la figure de la Terre* (1743), Claude Clairaut (1713-1765) assume che l'attrazione intermolecolare sia *short-range*, tuttavia, ipotizza che si annulli a una distanza finita sensibile, dell'ordine di quella tra la superficie interna e l'asse del capillare:

Clairaut suppone che l'azione del tubo capillare sia sensibile sulla stretta colonna che passa per l'asse del tubo. Io non accetto quest'opinione e penso che l'azione capillare, la forza rifrattiva e tutte le affinità chimiche non siano sensibili che a distanze impercettibili. [...] La distanza sensibile a cui l'attrazione molecolare si annulla sarebbe maggiore della distanza tra la superficie interna del tubo e il suo asse.

Laplace osserva che sotto questa ipotesi non è stato possibile dedurre le leggi della capillarità:

Clairaut [...] si limita a osservare senza dimostrare che si deve formulare per l'attrazione molecolare una legge da cui risulti che l'innalzamento dell'acqua in un tubo sia in ragione inversa del diametro come si vede dall'esperienza. Tuttavia, la difficoltà del problema consiste proprio nel dimostrare l'esistenza di tale legge e nel determinarla.

Sono i *Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects* (1709) di Francis Hawksbee (1660-1713) a con-

vincere in modo sicuro Laplace dell'esistenza delle *short-range interactions*:

Hawskbée osserva che lo spessore più o meno notevole delle pareti del tubo capillare non ha nessuna influenza sull'innalzarsi del liquido e ne conclude che l'attrazione del tubo è insensibile a una distanza sensibile.

Nelle mani di Laplace questo risultato, diventa la bussola della teoria: le forze intermolecolari alla base della capillarità sono *short-range*, insensibili a distanza sensibile, infatti gli strati cilindrici di materia dietro quello superficiale non hanno alcuna azione sul liquido, sebbene presi separatamente, sarebbero causa del fenomeno capillare. Altresì:

Se si ricopre con uno strato sottilissimo di materia grassa la superficie interna di un tubo di vetro, l'effetto capillare sparisce in modo sensibile. Eppure il tubo agisce sempre allo stesso modo sulla colonna fluida poiché le attrazioni capillari devono trasmettersi attraverso i corpi così come si osserva nella gravità e nelle forze magnetiche ed elettriche.

Laplace e il chimico conte Claude Berthollet (1748-1822) sono i fondatori della *Société d'Arcueil*, una *société savante* che annovera illustri scienziati illuministi, accumulati dall'ideale di ricercare i principi universali della chimica e della fisica a partire dall'ipotesi atomico-molecolare [7]. Scrive:

Si debbono ricercare le leggi dell'attrazione molecolare, considerando i loro effetti nei fenomeni della statica chimica e in quelli offerti dall'equilibrio dei liquidi contenuti negli spazi capillari. Questi fenomeni non lasciano alcun dubbio sul fatto che le attrazioni molecolari siano insensibili a distanze sensibili [...] provano l'influenza della massa nelle affinità chimiche, influenza di cui Berthollet ha messo così bene in luce gli effetti.

Siméon-Denis Poisson (1781-1840), allievo di Laplace, nel *Traité de Mécanique* (1811) ipotizza un'espressione analitica della forza intermolecolare:

$$F(r) = A \cdot \exp\left(-\frac{r}{\alpha}\right)$$

dove r è la distanza tra i centri delle molecole interagenti, il parametro A rappresenta l'intensità della forza alla distanza di contatto e α è la distanza d'interazione finita ma insensibile: il *rayon d'activité moléculaire* [1]. Laplace è in disaccordo con questo punto di vista: preclusa la conoscenza sperimentale o *a priori* (indipendente dall'esperienza) della realtà atomico-molecolare (in modo analogo al noumeno kantiano), ritiene tuttavia che le cause prime

microscopiche siano ipotizzabili e possano essere dimostrate *a posteriori* per via deduttiva mediante la corrispondenza dei risultati teorici con l'osservazione sperimentale, dunque corroborate in senso popperiano [22], mostrando un'epistemologia decisamente moderna.

Il punto di vista laplaciano è fortemente ambizioso: i fenomeni capillari sono la via privilegiata per arrivare a una *Teoria del tutto* basata sulla forza d'attrazione gravitazionale: questa forza agisce nel cosmo in modo *long-range* secondo la legge dell'inverso del quadrato della distanza dei corpi interagenti, e altresì tra le molecole dei corpi, ma in modo *short-range*, e sarebbe alla base dei fenomeni chimici, di aggregazione della materia e di interazione della materia con la luce.

Partendo dal principio dell'attrazione molecolare insensibile a distanza sensibile, determino la pressione della massa liquida che termina con una superficie concava o convessa, sulla colonna liquida interna, racchiusa in un canale molto stretto. [...] Passo qui a presentare i risultati di quest'analisi, e completare così la teoria matematica di tutte le forze attrattive della natura.

La teoria matematica della capillarità dedotta nei *Supplementi* è di eccezionale difficoltà. Tuttavia, ebbe un successo immediato e fu adottata nei trattati dell'epoca [3, 6]. In seguito, analizzo le ipotesi fondamentali e i risultati essenziali di nostro interesse. Laplace esordisce:

Bisogna escludere tutte le leggi d'attrazione sensibili a distanze sensibili e diverse dalla gravitazione universale.

Questa è l'ipotesi fondamentale: la legge d'attrazione molecolare *short-range* e la sua natura gravitazionale (proporzionale al prodotto delle masse interagenti) sono il fondamento della teoria e la *verità* è giudicata *a posteriori* dal confronto coi dati sperimentali. Come Newton verifica la legge della gravitazione universale deducendo le tre leggi di Kepler, così Laplace verifica l'ipotesi, deducendo le leggi fondamentali della capillarità: la legge di Jurin per il tubo capillare, la legge di Newton per lastre piane e parallele ravvicinate, la legge di Young della tensione superficiale del menisco [24].

Dunque, in accordo con Newton e Berthollet, la forza d'attrazione molecolare $F(r)$ è del tipo:

$$F(r) \propto m \cdot m' \cdot f(r)$$

Dove m e m' sono le masse molecolari interagenti ed $f(r)$ la dipendenza *short-range* dalla distanza d'interazione. Tuttavia, la dipendenza dalla distanza non è data in modo esplicito, ma deve essere *tale che* (:) il suo integrale soddisfi il seguente criterio:

$$\phi(r) = \int_r^{\infty} f(r) \cdot dr : \phi(\alpha) = \int_{\alpha}^{\infty} f(r) \cdot dr \cong 0$$

Dove α è il raggio d'azione molecolare, di valore finito ma insensibile. Questo modo *implicito* di trattare il carattere *short-range* dell'interazione è geniale e rappresenta il pilastro della teoria.

Allora, il potenziale (ovvero, l'energia potenziale) esercitato da un volume di molecole in un punto $P(x, y, z)$ è dato da:

$$V(x, y, z) = \iiint \rho \cdot \phi(r) \cdot d\tau$$

Quindi, è introdotta la seconda ipotesi: la densità del fluido è costante in tutto il volume considerato, la stessa all'interno del fluido (*in bulk*) e all'interfaccia. Assumendo la densità costante e ponendo $\rho = 1$, risulta:

$$V(x, y, z) = \rho \cdot \iiint \phi(r) \cdot d\tau = \iiint \phi(r) \cdot d\tau$$

L'ipotesi sarà contestata da Poisson che pone la rapida variazione della densità del liquido vicino alla superficie libera e alla parete, alla base della *Nouvelle théorie de l'action capillaire* [21]. Tuttavia, Poisson è smentito dalla teoria della capillarità di Gauss [5] che mediante un approccio indipendente di tipo energetico, conferma la teoria di Laplace. Fatto interessante, assumendo costante la densità del liquido capillare, la trattazione diventa indipendente dalla *fisica dell'interazione* e dipende unicamente dal requisito geometrico *short-range*: è questo a rendere l'equazione della tensione superficiale di Laplace tutt'oggi valida, sebbene dovuta alle forze intermolecolari di London di natura dipolare [20].

Il potenziale esercitato da un insieme sferico di molecole nel punto P a distanza ε molto vicina alla superficie, minore o eguale al raggio d'interazione molecolare, $\varepsilon \leq \alpha$, risulta:

$$V(x, y, z) = \theta(\varepsilon) - \frac{1}{R} \theta_1(\varepsilon)$$

Dove, R è il raggio della sfera e $\theta \gg \frac{\theta_1}{R}$: il primo potenziale è riferito alle interazioni tra le molecole del liquido nella colonna capillare: esso è responsabile dell'affinità chimica, quindi delle reazioni chimiche; il secondo termine è riferito all'interfaccia liquido-solido, e corrisponde alla tensione superficiale operata dal menisco. Il calcolo mostra quanto più intensa sia l'attrazione molecolare alla base della reattività chimica rispetto alla tensione superficiale dipendente dalla curvatura dell'interfaccia.

Il potenziale esercitato alla distanza ε da uno *sferoide* (ellissoide) di molecole, risulta:

$$V(x, y, z) = \theta - \frac{\theta_1}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dove, $\frac{1}{R_1}$ e $\frac{1}{R_2}$ sono le curvature principali della superficie.

Ricavato il potenziale d'interazione della colonna liquida, per dedurre le leggi della capillarità, Laplace applica i principi generali dell'idrostatica. Indicando con p la pressione nel punto (x, y, z) e con (X, Y, Z) le componenti della forza esterna applicata in quel punto, data dal gradiente del potenziale, scrive le equazioni fondamentali dell'equilibrio meccanico:

$$\frac{dp}{dx} = X, \quad \frac{dp}{dy} = Y, \quad \frac{dp}{dz} = Z$$

Nel nostro caso, le forze esterne sono di due tipi: le forze capillari *short-range* e le forze gravitazionali, elettriche e magnetiche *long-range*. Le prime ammettono un potenziale V , le seconde il potenziale W .

Infine, risulta:

$$p = K + \frac{H}{2} \cdot \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right)$$

Dove la pressione in un punto della colonna liquida capillare sottostante al menisco è data dalla pressione K costante, molto grande, perpendicolare alla parete del tubo, pertanto ininfluenza sui fenomeni capillari; e la pressione associata alla tensione superficiale liquido-solido del menisco, dipende da H , la tensione superficiale tangente alla parete, e da R e R' , i raggi di curvatura principali della superficie del menisco: è questa l'equazione della tensione superficiale detta oggi di Young-Laplace.

L'equazione della superficie libera del fluido $z = z(x, y)$, quando le forze esterne sono la capillarità e il peso della colonna liquida, è data da:

$$g \cdot z(x, y) = \frac{\theta_1(0)}{2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Dove g è l'accelerazione gravitazionale.

Per un capillare cilindrico con menisco sferico $R_1 = R_2$, abbiamo:

$$g \cdot z(x, y) = \theta_1(0) \cdot \frac{1}{R_1}$$

Da cui risulta l'Equazione di Jurin per un capillare cilindrico:

$$b = \frac{4 \cdot k}{g \cdot d}$$

Dove d è il diametro del tubo e h l'altezza del punto più basso del menisco sul piano orizzontale della superficie libera del liquido nel serbatoio; la costante k tiene conto della tensione superficiale del menisco in equilibrio con il peso della colonna di liquido sottostante. Dunque, la teoria di Laplace arriva al risultato fondamentale che l'altezza del liquido sollevato (o abbassato) è inversamente proporzionale al diametro del capillare: legge enunciata prima da Geminiano Montinari nel 1667, poi da Giovanni Alfonso Borrelli nel 1670, da Newton nel 1704 e infine da Jurin (di cui oggi porta il nome) nel 1708.

Posto che la sezione del capillare sia rettangolare di lati a e b , abbiamo:

$$b = \frac{2k}{g} \cdot \frac{a+b}{ab}$$

Se il lato $b \rightarrow \infty$, quello che praticamente avviene quando consideriamo l'ascesa del liquido tra due lastre piane e parallele ravvicinate, dal passaggio al limite, risulta:

$$b = \frac{2 \cdot k}{g \cdot a}$$

In accordo con l'esperienza, il liquido nel capillare è sollevato a un'altezza doppia rispetto a quello tra le lamine ravvicinate poste a una distanza pari al diametro del tubo: è la legge di Laplace-Jurin, la cui dimostrazione sperimentale è dovuta a Newton (1704). In questo modo, la teoria di Laplace spiega le due leggi più antiche e fondamentali dei fenomeni capillari.

Infine, Laplace dimostra che l'angolo di contatto medio del menisco sulla parete del capillare è costante e dipende unicamente dal liquido e dal solido:

$$\cos < \varphi > = \frac{2\eta_1 - \theta_1}{\theta_1}$$

Dove η_1 è il potenziale liquido-liquido e θ_1 il potenziale liquido-solido. Per ragioni di simmetria, è evidente che l'angolo è costante lungo tutta la linea di attacco del liquido in un cilindro o tra due lamine parallele, tuttavia Laplace avanza una terza ipotesi e ammette che l'angolo abbia lo stesso valore lungo tutti i punti di contatto, indipendentemente dalla sezione del capillare.

Laplace fa uso della statistica in modo pionieristico, come già nella teoria del calore, e la correttezza del passaggio dal valore medio al valore effettivo è dimostrata nella teoria di Gauss.

Nell'epistemologia di Laplace è l'accordo tra le previsioni teoriche e le osservazioni macroscopiche a verifica-

re le ipotesi microscopiche, in particolare l'ipotesi fondamentale della struttura molecolare della materia e delle *short-range interactions*. La struttura atomica della materia non è assunta *a priori* come auto-evidente, ma ipotizzata e verificata *a posteriori* dal confronto con le leggi empiriche. In questo senso, le ipotesi corroborate possono essere considerate vere: è questo il tratto fondamentale della scienza dei *savant* che domina la scena francese fino alla prima parte dell'800.

Per delineare la visione di Laplace sulla struttura atomica della materia, facciamo ricorso al testo dell'*Exposition du système du Monde*. Gli stralci in corsivo sono tratti dalla traduzione di Baracca e Rossi [2].

Tra le molecole operano tre tipi di forze:

Ogni molecola di un corpo è sottoposta all'azione delle seguenti tre forze: attrazione delle molecole circostanti; attrazione del calorico delle molecole di cui sopra e attrazione delle stesse sul suo; repulsione del suo calorico dal calorico delle molecole.

Ovvero, abbiamo l'attrazione massa-massa; l'attrazione massa-calorico; la repulsione calorico-calorico. Pertanto, nella teoria della capillarità, si tiene conto anche della forza repulsiva: la forza attrattiva *short-range* è la risultante delle diverse forze intermolecolari:

Nei liquidi le forze d'attrazione e di repulsione si fanno equilibrio; se seguissero la stessa legge di variazione rispetto alla distanza, l'integrale che esprime l'effetto capillare sarebbe nullo; ma se le leggi sono diverse, così come è necessario per la stabilità dell'equilibrio, la forza repulsiva del calore decresce più rapidamente della forza attrattiva allora l'espressione integrale degli effetti capillari è diverso da zero: la teoria che ho dato comprende l'azione delle due forze dando per l'espressione integrale dell'effetto capillare, la differenza degli integrali relativi all'attrazione molecolare e alla forza di repulsione del calore.

È una visione decisamente moderna: l'interazione intermolecolare è analoga all'interazione di van der Waals descritta dal potenziale di Lennard-Jones, dove il termine attrattivo dipende dall'inverso della sesta potenza della distanza e il termine repulsivo dall'inverso della dodicesima potenza. Il punto di minimo, risultante dalla composizione delle forze, corrisponde alla posizione d'equilibrio e definisce il volume molecolare delle particelle interagenti, aggregate in modo compatto.

Dalla legge della rifrazione della luce [18], Laplace avanza delle ipotesi sulla dimensione e struttura dell'atomo:

Una molecola sferica di raggio uguale a 10^{-6} m dovrebbe avere una densità di $6 \cdot 10^9$ volte la densità media della Terra per esercitare alla sua superficie un'attrazione uguale alla gravità terrestre: ora le forze attrattive dei corpi superano considerevolmente questa gravità, poiché esse flettono visibilmente la luce, la cui direzione non è mutata affatto sensibilmente dall'attrazione terrestre. Dunque, la densità delle molecole supererebbe senza paragone quella dei corpi, se la loro affinità fosse una modificazione della gravitazione universale. Nulla impedisce di adottare questo modo di esaminare i corpi: molti fenomeni, e tra gli altri la facilità con cui la luce attraversa i corpi trasparenti, gli sono assai favorevoli.

La massa molecolare ha una densità molto alta, tale da deviare la luce; al contrario, il guscio di calorico è rarefatto per poter essere attraversato dalla luce, nei corpi diafani. Tenendo conto che la dimensione dell'atomo è definita dall'equilibrio tra le forze attrattive e repulsive, considerando il limite superiore del raggio della massa atomica di raggio r e il rapporto tra la densità molecolare ρ e la densità macroscopica $\langle \rho \rangle$, la massa atomica risulta confinata in una regione ristretta del volume atomico di raggio R .

Esplicitando la visione di Laplace, consideriamo l'impacchettamento compatto (ad esempio cubico a facce centrate) dello stato condensato, derivante dall'equilibrio delle forze attrattive e repulsive, scriviamo:

$$\langle \rho \rangle = \frac{M}{V_{\text{cell}}} = \frac{4 \cdot \rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot r^3}{(2 \cdot \sqrt{2})^3 \cdot R^3}$$

Da cui:

$$\frac{R^3}{r^3} = \frac{16\pi}{(24\sqrt{2})^3} \cdot \frac{\rho}{\langle \rho \rangle}$$

Ovvero:

$$\frac{R}{r} = \left(\frac{4\pi}{\sqrt{2}}\right)^{\frac{1}{3}} \cdot 10^3 \cong 2 \cdot 10^3$$

La dimensione dell'atomo risulta essere almeno 2000 volte più grande della dimensione della massa atomica, in accordo con la densità media macroscopica relativamente bassa. Ne risulta un modello di atomo planetario: l'*atomo di Laplace* è una sfera con la massa essenzialmente confinata in una ristretta regione centrale, circondata da un guscio molto ampio di calorico di massa finita ma imponderabile. Altresì, significativa è l'analogia quantitativa tra la struttura dell'atomo e quella del sistema so-

lare noto ai tempi di Laplace; infatti, il rapporto tra il raggio dell'orbita di Urano e il raggio del Sole, risulta:

$$\frac{R_{\text{Urano}}}{r_{\text{Sole}}} \cong 8 \cdot 10^3$$

Nella visione di Laplace, le interazioni molecolari sono di natura gravitazionale, ma in che modo si passa dalle interazioni *long-range* cosmiche alle *short-range* molecolari?

Vedendo tutte le parti della materia sottomesse all'azione delle forze attrattive, di cui una si estende indefinitamente nello spazio, mentre le altre cessano di essere sensibili a distanze impercettibili ci domandiamo se queste ultime non siano la prima, modificata dalla figura e dalle distanze reciproche delle molecole nei corpi.

In modo visionario, Laplace suggerisce il ruolo svolto dalla forma tridimensionale della molecola, infatti le forze di London sono dovute alla polarizzazione della densità elettronica molecolare. Laplace altrove [16] ha determinato che per un corpo celeste rappresentato da uno sferoide piuttosto che da una massa puntiforme, la forza gravitazionale esercitata in un punto, varia con l'inverso del cubo della distanza piuttosto che col quadrato. In modo analogo, ipotizza che tenendo conto della stereochimica della molecola, la forza d'attrazione intermolecolare possa dipendere dall'inverso della distanza elevata ad un esponente maggiore di due, e diventare, in questo modo, *short-range*:

Le affinità dipenderebbero dalla forma delle molecole integranti e dalle loro rispettive posizioni, e si potrebbe con la varietà di queste forme, spiegare tutte le varietà delle forze attrattive, e ricondurre così a una sola legge generale tutti i fenomeni della fisica e dell'astronomia. Tuttavia, l'impossibilità di conoscere le figure delle molecole e le loro distanze mutue, rende queste spiegazioni vaghe e inutili al progresso delle scienze.

Con la teoria della capillarità, la meccanica newtoniana e la forza gravitazionale vengono estese a livello molecolare, e in questo modo, la teoria unificante della Natura è compiuta. Il celebre determinismo laplaciano è una conseguenza necessaria della Realtà newtoniana, concatenata in una successione coerente di cause ed effetti dal micro al macro in modo rigorosamente matematico. In senso kantiano, la Realtà è completamente intellegibile, ma ahimè, solo agli occhi di un'entità onnisciente intesa come Demone o Dio [17], all'Uomo, invece, compete la conoscenza fenomenica e la sola possibilità di concepire l'unità del tutto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Avogadro Amedeo, *Trattato delle costituzione generale de' corpi*, tomo I, Torino, 1837.
- [2] BARACCA Alessandro, Angelo ROSSI, *Materia e Energia*, Milano, Feltrinelli, 1978.
- [3] Biot Jean-Baptiste, *Traité de physique expérimentale et mathématique*, Paris, Deterville, 1816.
- [4] Capra Carlo, *Storia Moderna 1492-1848*, Terza edizione, Le Monnier Università, 2016.
- [5] Gauss Friedrich Carl, *Principia generalia Theoriae Figurae Fluidorum in statu Aequilibrii*, Göttingen, 1830.
- [6] Haüy René Just, *Traité Élémentaire De Physique*, Seconde Edition, tomes I, II. Paris, Courcier, 1806.
- [7] Laplace Pierre-Simon, *Mémoire sur la théorie de l'anneau de Saturne*, Mémoires de l'Académie royale des sciences de Paris année 1787, pp. 275-292, 1789.
- [8] Laplace Pierre-Simon, *Opere*, a cura di Orietta Pesenti-Cambursano, Classici della Scienza, Torino, UTET, 1967.
- [9] Laplace Pierre-Simon, *Sur la théorie des tubes capillaires*, Journal de Physique, tome LXII, pp. 217-227, 1806.
- [10] Laplace Pierre-Simon, *Sur l'action capillaire* 349-417 ; *Théorie de l'action capillaire* 358-401; *Comparaison de la théorie précédente avec l'expérience* 402-417; *Supplément à la théorie de l'action capillaire* 419-498, *Traité de mécanique céleste*, tome IV, Suppléments au livre X, 1806.
- [11] Laplace Pierre-Simon, *Sur l'attraction et la répulsion apparente des petits corps qui nagent à la surface des fluides*, Journal de Physique, tome LXIII, pp. 228-232, 1806.
- [12] Laplace Pierre-Simon, *Sur l'action capillaire*, Journal de Physique, tome LXIII, pp. 233-246, 1806.
- [13] Laplace Pierre-Simon, *De l'adhésion des corps à la surface des fluides*, Journal de Physique, tome LXIII, pp. 247-253, 1806.
- [14] Laplace Pierre-Simon, *Considérations sur la théorie des phénomènes capillaires*, Journal de Physique, tome LXXXIX, pp. 259-264, 1819.
- [15] Laplace Pierre-Simon, *Œuvres complètes* <http://sites.math-doc.fr/OEUVRES/>
- [16] Laplace Pierre-Simon, *Théorie des attractions des sphéroïdes et de la figure des planètes* Mémoires de l'Académie royale des sciences de Paris année 1782, pp. 341-419, 1785.
- [17] Laplace Pierre-Simon, *Essai philosophiques sur les probabilités*, Paris, Courcier, 1814.
- [18] Laplace Pierre-Simon, *Sur la loi de la réfraction extraordinaire de la lumière dans les cristaux diaphanes*, Journal de physique, tome LXVIII, pp. 254-258, 1809.
- [19] LAVOISIER Antoine Laurent, Pierre-Simon LAPLACE, *Memoira sul calore*, a cura di Antonio Di Meo, Roma, Edizioni Teknos, 1995.
- [20] London Fritz, *The general theory of molecular forces*, Transactions of the Faraday Society, **33**, 8-26, 1937.
- [21] Poisson Siméon-Denis, *Nouvelle théorie de l'action capillaire*, Paris, 1831.
- [22] Popper Karl, *Logica della scoperta scientifica [Logik der Forschung, 1934]*, Einaudi, Torino, 1970.
- [23] Villani Vincenzo, *La geniale teoria delle combinazioni chimiche di André-Marie Ampère*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali, 137° (2019), serie V, vol. XLIII, parte II, tomo II, pp. 197-213.
- [24] Young Thomas, *An Essay on the Cohesion of Fluids*, Philosophical Transactions of the Royal Society, **95**, 65-87, 1805.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 121-129
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Storia e valutazione della applicazione della teoria dei gruppi alla tabella periodica degli elementi

ANTONINO DRAGO

Università “Federico II” di Napoli (Italia)
E.mail: drago@unina.it

Abstract – Since almost a century some scholars attempted to formalize the periodic table of elements by means of symmetries. First, the present paper reviews the specific literature. The two main methods are illustrated: the Atomic Physics Approach and the Elementary Particle Approach. However, the various results are still unsatisfactory because twelve symmetry groups are possible. The comments in the literature on the subject are reviewed. Further considerations are added by intending symmetries not only as a mathematical technique, but also as an introduction to a new conception of the foundations of a scientific theory. This conception is based on two mutually independent dichotomies, one on the kind of infinity and another on the kind of theoretical organization. They suggest that classical chemistry, and hence periodic table, has to be reformulated just through group theory and moreover non-classical logic, which plays an essential role even in the notion of symmetry. A program for achieving this reformulation is presented.

Keywords: Periodic table, Group theory, Atomic Physics Approach, Elementary Particle Approach, Baruton, Critical remarks, New suggestions, Non-classical logic

Riassunto – Da quasi un secolo alcuni studiosi hanno tentato di formalizzare la tavola periodica degli elementi mediante le simmetrie. Per prima parte il presente lavoro passa in rassegna la letteratura specifica. Vengono illustrati i due metodi principali: l'Approccio di Fisica Atomica e l'Approccio delle Particelle Elementari. Tuttavia, i vari risultati sono ancora insoddisfacenti perché sono possibili dodici gruppi di simmetria. Si esaminano i commenti in letteratura sull'argomento. Si aggiungono considerazioni sulle simmetrie intendendole non solo come tecnica matematica, ma anche come introduzione a una nuova concezione dei fondamenti di una teoria scientifica. Questa concezione si basa su due dicotomie indipendenti, una sul tipo di infinito e l'altra sul tipo della organizzazione teorica. Esse suggeriscono che la chimica classica, e quindi la tavola periodica, deve essere riformulata proprio con la teoria dei gruppi e inoltre con la logica non classica, che gioca un ruolo essenziale anche nella nozione di simmetria. Viene presentato un programma per realizzare questa riformulazione.

Parole chiave: Tavola periodica, Teoria dei Gruppi, Approccio di Fisica Atomica, Approccio delle Particelle Elementari, Baruton, Osservazioni critiche, Nuove suggerimenti, Logica non classica

1. Introduzione all'uso dei gruppi in Chimica¹

La teoria generale dei gruppi è una branca della matematica. Tra i vari sistemi matematici quello di un gruppo ha la struttura più semplice. La sua applicazione a un dominio scientifico specifico di (fisica o) chimica richiede l'uso di teorie e/o modelli fisico-chimici. Nel seguito la teoria dei gruppi continui sarà applicata al fine di interpretare la tabella periodica degli elementi (TP); lo si farà in collegamento con specifici aspetti fisici e chimici; per es. gli studiosi hanno ottenuto il risultato che vedremo poi, il gruppo $SO(4,2) \times SU(2)$, utilizzando la meccanica quantistica insieme a metodi perturbativi e variazionali. Occorre avvertire subito che i risultati ottenuti sono solo approssimativi, perché si cerca di rappresentare il complesso delle tantissime caratteristiche della TP mediante la teoria dei gruppi, che invece è basata su pochi parametri. È infine da notare che finora i contributi maggiori a questo campo di ricerca sono venuti solamente da fisici.

Per introdurci in questo tipo di ricerca consideriamo i gruppi potenzialmente utili per un atomo simile a H. Ad esempio, si potrebbe pensare di caratterizzarlo con il gruppo delle simmetrie spaziali in tre dimensioni $O(3)$,² o al meglio con quello delle simmetrie ortogonali speciali³ $SO(3)$, che è isomorfo al gruppo delle rotazioni di un punto in R^3 . Essendo un gruppo di simmetria geometrica, esso lascia invariate sia la parte cinetica della Hamiltoniana H , sia la parte del potenziale; ovvero, i generatori del momento angolare orbitale (L_1 , L_2 e L_3) di $SO(3)$ commutano con H . Poiché per l'atomo di idrogeno la soluzione della equazione agli autovalori della Hamiltoniana $H\psi = E\psi$ riguarda solo il numero atomico n ,⁴ allo-

ra esistono multipletti (o molteplicità, o degenerazioni) che sono distinti dai diversi valori dei numeri quantici successivi: l , m e spin. Quindi il gruppo $SO(3)$ è incompleto già per l'atomo di idrogeno, perché le sue rappresentazioni irriducibili⁵ non spiegano i multipletti, a incominciare da quelli dei livelli di energia del momento orbitale $\ell = 0, 1, 2, 3, \dots$ del campo di Coulomb (cioè il fatto che le subshell ns , np , nd , ecc. hanno la stessa energia). Questa degenerazione potrebbe essere considerata come additiva o, come si è detto, "accidentale"; oppure si può pensare che questo gruppo di simmetria sia incompleto; il che spinge a cercare un gruppo di simmetria più grande. Ciò è quello che appunto ha fatto Fock nel 1935; che ha pensato ad un gruppo di rotazioni nello spazio-tempo a quattro dimensioni di Minkowsky, $SO(4)$; con esso ha ottenuto una spiegazione delle suddette "degenerazioni accidentali" dell'atomo di idrogeno (salvo quelle dello spin).

Questo gruppo include più simmetrie di quelle geometriche; in questo senso è di "invarianza dinamica". Nel seguito poi si useranno gruppi detti (malamente)⁶ di "non invarianza"; in ciascuno non tutti i generatori commutano con l'Hamiltoniana, cioè non tutti sono invarianti del moto; essi servono a collegare stati a differenti livelli di energia, in modo da dare l'intero spettro energetico (o mass energy) del sistema. In tal caso il lavoro si complica. Ovviamente, occorre che i generatori del gruppo commutante con l'Hamiltoniana sia rappresentato da un sottogruppo dei generatori; ma il gruppo generale è da trovare in maniera induttiva.

2. La introduzione delle simmetrie per l'atomo di idrogeno: Vladimir Fock

I lavori pionieristici sull'atomo di idrogeno sono stati compiuti da Niels Bohr, Werner Heisenberg, Wolfgang Pauli e Erwin Schroedinger. Nel 1926 Pauli ha adottato un approccio locale: in analogia alle trattazioni del siste-

$2l+1$), il numero quantico di spin, o momento magnetico intrinseco, che ha solo due valori: $\frac{1}{2}$ e $-\frac{1}{2}$.

⁵ La rappresentazione di un gruppo è data da matrici complesse quadrate (cioè $m \times m$). Un rappresentazione è unitaria se $MM^\dagger = M^\dagger M = I$, quindi $M^\dagger = M^{-1}$ (dove M^\dagger è la trasposta coniugata di M). È irriducibile se, grosso modo, non è riducibile ad una matrice composta da una serie di sottomatrici sulla diagonale e il resto 0.

⁶ Purtroppo le dizioni "dinamico" e "non invariante" vengono usate senza un accordo comune. Si veda [9 pp. 276-279]. Nel seguito adotterò le definizioni date da questo libro.

¹ Per brevità debbo dare per noti i seguenti concetti: gruppo di trasformazioni, generatori del gruppo, moltiplicazione di gruppi e catena di gruppi, rappresentazione, rappresentazioni irriducibili, multipletto, degenerazione dei livelli energetici. Per una ottima introduzione all'argomento vedasi [9 parte I]. Alla sua bibliografia rimando il lettore che voglia le referenze precise degli scritti qui indicati con solo l'autore e l'anno.

² $O(3)$ è il gruppo delle simmetrie ortogonali, cioè tali che la matrice rappresentativa di una trasformazione A gode la proprietà $AA^T = A^T A = I$ e quindi $A^T = A^{-1}$ (dove A^T è la trasposta di A); il suo determinante è ± 1 .

³ Speciali perché la matrice di ogni trasformazione ha determinante 1; cioè, esse comprendono le sole rotazioni, senza le inversioni, le riflessioni e le riflessioni-rotazioni.

⁴ Ricordo i numeri quantici di un elettrone: n , il numero atomico dell'atomo a cui appartiene; l , il momento angolare orbitale (che prende i valori $0, 1, 2, \dots, n$); m , il numero quantico magnetico (che prende i valori: $-l, -l+1, \dots, 0, \dots, l-1, l$; quindi di dimensione

ma planetario ha usato il vettore di Runge-Lenz A^7 ; ha ottenuto tutte le degenerazioni (salvo quelle dello spin). Pochi giorni dopo Schroedinger ha pubblicato la sua equazione quantistica con la quale tutto il mondo chimico è apparso potenzialmente calcolabile; in particolare egli ha spiegato gli spettri dell'atomo di idrogeno. Sembrava che non fosse rimasto nulla da aggiungere. Invece nel 1935 Fock sviluppò ancora di più l'approccio di Schroedinger.

La premessa fisica di Fock è la equazione di Schroedinger dell'atomo di idrogeno (o qualche altro atomo simile) in R^3 , o più in generale la Hamiltoniana del detto sistema. Egli ha applicato all'equazione una trasformata di Fourier, cioè è passato ad una equazione integrale espressa nelle quantità di moto (quindi egli ha assunto un approccio globale e di matematica che non usa l'infinito in atto). Poi con una proiezione stereografica l'ha tradotta nella equazione integrale per un punto ruotante sulla superficie di una sfera quadridimensionale (rotore libero in R^4).

Un anno dopo Valentine Bargmann ha riconosciuto nel suo lavoro, che è di natura analitica, una natura grupppale: ha indicato il gruppo ortogonale speciale quadridimensionale, $SO(4)$, che fornisce una simmetria esatta di tutti gli orbitali dell'atomo di idrogeno. Elaborando i risultati di Fock, egli ha dimostrato che la simmetria del gruppo $O(4)$ dell'atomo di idrogeno nasce dalla conservazione di due costanti del moto: la quantità di moto angolare in tre dimensioni L e il vettore A ; e questi due sono proprio i generatori del gruppo suddetto⁸. È quindi dal vettore A che nascono le trasformazioni nascoste del problema, quelle oltre le geometriche. Alle rappresentazioni irriducibili del gruppo $SO(4)$ corrispondono i numeri di occupazione a guscio chiuso per modelli di molte particelle non interagenti, catturate in un potenziale coulombiano attrattivo. Questi sono i co-

siddetti «numeri magici» corrispondenti ai periodi dell'atomo di H: 2, 8, 18, 32, 50⁹.

Questa è stata la prima spiegazione teorica grupppale (che non tiene conto degli effetti relativistici) dello spettro dell'atomo di H quantistico con la sua struttura a guscio, le degenerazioni e i «numeri magici».¹⁰

3. Due diversi approcci: APA ed EPA e i loro risultati

Un chimico può incontrare i gruppi nello studio delle simmetrie della Hamiltoniana; esse danno le soluzioni di quella equazione con un semplice calcolo algebrico. Però è chiaro che questo metodo si complica terribilmente quando dalla Hamiltoniana dell'atomo di H si passa a quelle degli atomi più grandi; nonostante i progressi della meccanica quantistica e della chimica computazionale, la dinamica interna dei sistemi a molti elettroni è ancora avvolta nella nebbia. Perciò è utopico cercare di ricavare il gruppo di simmetria del sistema operando matematicamente sulla Hamiltoniana, così come ha fatto Fock in un caso semplice. Quindi il suo metodo non può essere ampliato ad interpretare la intera TP.

L'approccio di Fock è stato chiamato da Valentin N. Ostrovsky "Atom Physical Approach" (APA). Ma esiste un altro approccio per applicare la teoria dei gruppi alla TP: è stato chiamato, sempre da Ostrovsky, "Elementary Particle Approach" (EPA), perché opera similmente all'applicazione della teoria dei gruppi alla pletora di particelle elementari in Fisica. Esso è indipendente dalla Hamiltoniana, ma si collega ad altri aspetti fisici e chimici del sistema; ed utilizza gruppi più complicati, quelli detti non invarianti.

Per indirizzare il lettore indico subito con una tabella i due metodi con i quali sono state date soluzioni al problema, più i relativi risultati.

⁷ Il vettore di Runge-Lenz è definito da: $A = p \times L - mk\check{r}$, dove m è la massa del punto materiale, p è il vettore quantità di moto, v la velocità, $L = r \times p$ è il vettore momento angolare, k è il parametro che descrive l'intensità della forza centrale, r è il vettore posizione della particella e $\check{r} = r/r$ è il corrispondente vettore unitario, dove r è il modulo di r .

⁸ Il gruppo $O(4)$ ha un gruppo localmente isomorfo: $SU(2) \times SU(2)$ (dove SU è il gruppo speciale delle trasformazioni unitarie; esso algebricamente coincide con $O(3) \times O(3)$); i due gruppi corrispondono ai due unici potenziali che danno traiettorie chiuse, quelli di Coulomb e di Hooke; perciò, ci sono solo due possibili gruppi per descrivere l'atomo di H.

⁹ Però il risultato grupppale di Fock per l'atomo di idrogeno $O(4)$ è eccessivo, perché applica solo quella parte delle sue rappresentazioni irriducibili per le quali vale $j_1 = j_2$ (questa è una relazione tra gli auto valori degli operatori vettoriali L ed A).

¹⁰ Novaro [7] sostiene che la comprensione teorica di un sistema o di un fenomeno è più profonda quando è ricondotta a geometria. Partendo da una Hamiltoniana opportunamente modificata, e utilizzando la regola di Madelung $(n + l, n)$ costruisce, elettrone dopo elettrone, le shells. Ha ottenuto sia $O(4)$ sia lo stesso gruppo che nel seguito vedremo essere stato ottenuto con altro metodo da Barut: $SO(4,2) \times SU(2)$.

Tabella 1 – I due tipi di applicazione della teoria dei gruppi alla tabella periodica.

Autore principale	Metodo	Gruppo	Risultato
W. Pauli (1926) V. Fock (1935) V. Bargman (1936)	Atomic Physics Approach (APA)	SO(4) Gruppo dinamico delle trasformazioni ortogonali speciali in quattro dimensioni per l'atomo di idrogeno.	Tre numeri quantici Degenerazioni dei livelli energetici Numeri magici
A.O. Barut (1972) + vari altri	Elementary Particle Approach (EPA)	SO(4,2)×SU(2) Gruppo delle trasformazioni speciali ortogonali in quattro dimensioni (è incluso nel gruppo delle trasformazioni conformi a cui appartiene il gruppo di Lorentz), moltiplicato per il gruppo delle trasformazioni speciali unitarie in due dimensioni al fine di rappresentare anche lo spin.	Quattro numeri caratteristici, Raddoppio della periodicità ($n+l$ pari o dispari) Regola di Madelung (?)

N.B. Il gruppo di Barut include un gruppo SU(2) che permette di raddoppiare il numero di stati descritto da SO(4, 2) e così tener conto dei due valori dello spin di ogni elettrone. Con più precisione, Barut ha proposto per la TP una catena di gruppi: $SO(4,2) \supset SO(3,2) \supset SO(3) \times O(2)$ (dove ricordo che il segno \supset indica inclusione, qui tra gruppi). Vicino alla regola di Madelung ho posto un (?) perché questo risultato è stato preteso da Barut ed altri, ma ancora non è assicurato.

4. Il metodo EPA: il risultato dell'autore principale, O.A. Barut

Heisenberg ha iniziato questo approccio quando nel 1932 ha assimilato protone e neutrone ad un unico oggetto a due stati soggetti a simmetria. Poi, per risolvere il problema della struttura nucleare secondo il modello a guscio del nucleo altri fisici hanno postulato il gruppo SU(3) come simmetria delle particelle. Nei decenni successivi sono state scoperte svariate particelle elementari. Negli anni '60 esse sono state considerate come un multipletto di un gruppo di simmetria secondo la famosa strategia dell' "ottuplice via" sulle rappresentazioni irriducibili del gruppo SU(3); esse hanno consentito di prevedere particelle elementari ignote perché solo con esse si completava l'ottetto delle rappresentazioni irriducibili del gruppo. Quindi, i fisici della teoria più avanzata in Fisica si sono comportati rispetto alle particelle elementari così come un secolo prima il chimico Dmitri Mendeleev si comportò rispetto agli atomi nella TP!

Nel 1970 Neubert ha auspicato in termini generali che si applicasse questo nuovo tipo di studio alla Chimica. Esso è stato iniziato nel 1971-72 con i lavori indipendenti di Asim O. Barut, Yuri B. Rumer e Abram I. Fet; poi Otavio Novaro, Yury N. Demkov e Valentin N. Ostrovsky.

I lavori più importanti sono quelli di Barut e in sottordine Fet. Il loro metodo è stato di considerare sia il caso di atomi neutri sia quello di atomi fortemente ionizzati. Essi hanno formalizzato matematicamente i diversi «stati» di "materia atomica", o di una "superparticella" come multipletti di un qualche gruppo di simmetria dina-

mica. D'altronde anche Mendeleev considerava gli elementi chimici senza riferirsi alla loro struttura interna, allora ignota, ma solo alla loro periodicità: "Fet e Barut non hanno trattato gli elementi chimici come oggetti distinti, ma come stati differenti di una superparticella, che poi fu chiamata *barutone*, in onore di Barut per i suoi molti contributi alla scoperta delle simmetrie della TP. In altre parole, gli elementi chimici non sono stati trattati come particelle fisiche concrete con una sottostruttura interna... Questo [loro] approccio aveva almeno due vantaggi cruciali. Primo, trattando gli elementi chimici come stati di *un unico* sistema quantistico, la TP veniva studiata come un intero; invece con l'APA, ogni elemento chimico era trattato come sistema quantistico *separato*. In secondo luogo, togliendo agli atomi il loro contenuto fisico, il legame [problematico della Chimica] con la meccanica quantistica è stato completamente abbandonato... Un altro vantaggio [dell'EPA è stato che]... Fet e Barut poterono tentare di comprendere la sottostruttura degli elementi e dare maggiore luce sulla dinamica quantistica interna ad un sistema di molti elettroni". [10, pp. 16-17].

In questo approccio la Hamiltoniana non viene presupposta; può anche non esserci nel senso usuale. La scelta del gruppo tra gli infiniti gruppi matematici non è ricavata da ipotesi superiori; piuttosto, secondo un approccio fenomenologico ed euristico, essa viene indirizzata da: ipotesi plausibili, informazioni empiriche, ipotesi *ad hoc* e anche il procedere per tentativi. In definitiva, il gruppo di simmetria viene semplicemente postulato. Una volta ipotizzato un dato gruppo non invariante, occorre trovare uno dei suoi sottogruppi in cui tutti i gene-

ratori commutano con H ; esso è il gruppo di simmetria cercato. A causa anche di questa ricerca, il gruppo non è determinato a priori e quindi l'approccio EPA non dà una soluzione unica.

Dopo i risultati dell'APA, già sappiamo che l'atomo di H è invariante alle simmetrie rotazionali non solo di R^3 ma di R^4 , cioè al gruppo $SO(4)$. Poiché gli elementi chimici possono essere etichettati con lo stesso insieme di quattro numeri quantici utilizzato per descrivere gli orbitali di H, il gruppo $SO(4)$ è la base ideale per descrivere la simmetria del barutone. Si tratta allora di generalizzare questo gruppo.

L'EPA applicato al barutone può essere presentato così. Il gruppo $SO(3)$ contiene gli operatori che cambiano il momento magnetico m . Il gruppo $SO(4)$ permette di shiftare il numero orbitale l in una data n -shell. Per avere operatori che spostano su è giù il numero principale n (quello dell'energia), occorre un gruppo $SO(2,1)$ (dove l'1 indica che la metrica del gruppo a tre dimensioni ne ha una negativa). Tutti assieme questi gruppi danno ($6+3 =$) nove operatori infinitesimi. Ma essi non commutano tra loro. Per avere questa proprietà occorre aggiungere altri sei operatori; si ottiene una struttura a sei dimensioni con la metrica che è negativa su due di esse, $SO(4,2)$ [9 p. 222].

Questo gruppo è del tutto naturale per descrivere il gruppo di simmetria della TP. Primo: la chimica è determinata, dentro e fuori l'atomo, dall'interazione elettromagnetica; e dall'inizio del Novecento sappiamo che le equazioni di Maxwell del campo elettromagnetico sono covarianti sotto il gruppo conforme nello spazio di Minkowski; questo gruppo è isomorfo a $SO(4,2)$. Secondo: come Barut ha dimostrato, $SO(4,2)$, che descrive le trasformazioni conformi dello spazio-tempo, è il massimo

gruppo di non invarianza per un atomo simile a H che tenga conto di tutti i soliti numeri quantici spettroscopici, con i quali si descrivono atomi complessi nell'approssimazione di un campo centrale. Terzo, ovviamente, $SO(4,2)$ contiene come sottogruppi $SO(4)$ e infine il gruppo di simmetria geometrica per qualsiasi atomo complesso, $SO(3)$ ¹¹.

Dal punto di vista della simmetria $SO(4,2)$, qualsiasi orbitale di H può essere trasformato in qualsiasi altro orbitale; quindi il gruppo $SO(4,2)$ può trasmutare qualsiasi elemento chimico in qualsiasi altro elemento. Lo si può paragonare alla capacità dell'antica pietra filosofale, benché le trasformazioni indotte dal gruppo conforme non sono ovviamente di natura fisica, ma semplicemente matematiche [10 p. 18].

Con più precisione, Barut ha proposto per la TP la catena di gruppi: $SO(4,2) \supset SO(3,2) \supset SO(3) \times O(2)$. Ma poiché esso non è contenuto in un più grande gruppo non compatto, esso contiene due rappresentazioni distinte di $SO(3,2)$; quindi bisogna distinguere due serie di atomi, con $n+l$ o pari o dispari (per alcuni autori esse corrispondono alle due curve dei potenziali di ionizzazione). Con quel gruppo Barut è riuscito per primo a dare una spiegazione della *Aufbau*, cioè a ripetere la regola di Madelung.

Tralascio la pur molto interessante soluzione di Tysen e Ceulemans [9 cap. 14] perché ricorre ad una algebra non lineare, un campo di studi così ampio da dare troppe possibilità.

¹¹ Un altro motivo di interesse per l'approccio $SO(4,2) \times SU(2)$ riguarda le molecole. Il punto di partenza è la descrizione di una molecola di N-atomi con il prodotto diretto $[SO(4,2) \times SU(2)] \times^N$.

5. Thyssen e Ceulemans: I molti risultati possibili

Per completezza, menziono tutti i risultati mediante una tabella.

Tabella 2 – Le interpretazioni della tavola periodica degli elementi mediante gruppi di simmetria (Tavola 13.7 di [9 p. 361]).

<i>Autore</i>	<i>Anni</i>	<i>Catena di sottogruppi</i>
Barut Odabasi	1972 1973, 2010	$SO(4,2) \supset SO(3,2) \supset SO(3) \times O(2)$ $SO(4,2) \supset SO(3,2) \supset SO(3) \times O(2)$
Ostrovsky	1980-2006	$O(4,2) \times SU(2)_s \times SU(2)_T \supset O(4,2) \times SU(2)_s \supset O(4,2) \times U(2)_s \supset O(3)$
Novaro e Berrondo Berrondo e Novaro	1972 1973-2010	$SU(2) \times SU(2) \times SU(2) \supset O(4) \supset SO(3)$ $E(4) \supset SU(2) \times SU(2) \times SU(2) \supset O(4) \supset SO(3)$
Rumer e Fet Konopel'chenko e Fet Byakov et al. Fet Fet	1971 1972 1974-1975 1976-1977 1979-1981 1989-2010	$Spin(4) \supset SU(2)_M, SU(2)_C$ $SO(2,4) + R \supset SO(2,4) \supset SO(4) \supset SO(3) \supset SO(2)$ $SO(4,2) \times SU(2) \supset Spin(4) \times SU(2) \supset SU(2)_C \supset SU(2)$ $SO(4,2) \times SU(2) \supset Spin(4) \times SU(2) \supset SU(2)_C \supset SU(2)$ $O(4,2) \times SU(2) \times Z_2$ $O(4,2) \times SU(2) \times SU(2)$
Kibler and Negadi	1989-2007	$SO(4,2) \times SU(2) \supset SO(4) \times SU(2) \supset SO(3) \times SU(2) \supset SU(2)$
Thyssen e Ceulemans	2013	$SO(4,2) \times SU(2) \supset SO(3,2) \times SU(2) \supset SO^*(4) \times SU(2)$

Tra le 12 proposte elencate quella del gruppo $SO(4,2) \times SU(2)$ è maggioritaria (5 su 12).

6. Note critiche

Occorre sottolineare che il primo problema che incontrano ambedue gli approcci è che non è chiara la TP (anche a causa della incertezza della posizione di alcuni elementi: ad es. quella di He). Quindi, a causa delle ambiguità della TP da formalizzare le simmetrie debbono scegliere come e che cosa rappresentare.

Vediamo i risultati. Essi sono parziali, limitati e anche approssimativi. La teoria dei gruppi è inevitabilmente basata su pochi parametri, mentre invece la TP ha tantissime caratteristiche. È chiaro allora che la interpretazione della TP con le simmetrie è solo un tentativo di ridurre a poche caratteristiche la enorme complessità della tabella. Quindi i risultati sono necessariamente astratti rispetto alla TP quale è nella pratica chimica.

I risultati dell'APA riguardano poco più dell'atomo di H. L'EPA dà i pochi aspetti della TP che abbiamo visto in precedenza. A prima vista ambedue danno una *classificazione* degli elementi della TP; essa è anche una *spiegazione*, ma solo parziale.

Eric Scerri ha criticato l'EPA perché cerca dati fenomenologici della TP per inserirci le simmetrie più adatte, senza fare così una “vera” applicazione dei gruppi (che cioè discenda da dei principi). Un'altra critica è che ogni soluzione non ha alcuna connessione con la dinamica in-

terna degli elementi chimici; in particolare, il baruton è senza neutroni. Inoltre Condon e Odobasi non accettano la doppia serie di elementi della soluzione di Barut e con ciò mettono in discussione la validità di tutta la sua catena di gruppi. Più in generale Ostrovsky sostiene che

i principi metodologici più generali non sono ancora sufficientemente sviluppati. Gli schemi formali sono talvolta elaborati a spese della chiarezza delle relazioni tra fisica e chimica. Gli sviluppi di teoria dei gruppi spesso sono fondati non su una base *ab initio*... [Gli] aspetti come la non unicità degli schemi della teoria dei gruppi o i vantaggi relativi degli approcci alternativi non hanno ricevuto una appropriata attenzione. Stranamente, in alcuni casi resta oscura anche la questione basilare di come la struttura della Tabella periodica è rappresentata dagli schemi matematici. [9, p. 265]¹²

La critica ai risultati dell'EPA può essere estremizzata dicendo che essa porta solo ad un semplice artefatto che appare attraente solo perché traduce una realtà chimica in linguaggio matematico. Il chimico quantistico Pekka Pyykkoe giunge alla conclusione che questa lunga ricerca mostra che “non esiste un vero [deep] principio grupale” per la TP.

¹² Questa sua critica sintetizza due pagine e mezzo di considerazioni critiche dettagliate, poste alla fine del suo lavoro [8 pp. 304-306].

Però, occorre notare che mentre Mendeleev, basandosi su dati empirici, ha indicato nella TP un solo parametro (poi identificato col numero atomico), le simmetrie indicano quattro parametri, che coincidono con quelli tipici di ogni elemento secondo la spettroscopia e la meccanica quantistica (benché l'EPA, essendo molto astratta, non sa identificarli con quelli quantistici). Quindi i risultati dell'EPA si avvicinano ad indicare la *struttura* della TP, benché per ora la proposta più interessante, quella di Barut, porti ad una serie di numeri magici (2, 2, 8, 8, 18, 18,...) con un 2 di troppo¹³.

Ma dal punto di vista teorico la mancanza più grave è che non c'è una soluzione unica (occorrerebbero casomai delle condizioni aggiuntive; ad es. la analiticità degli operatori, benché non tutti possano esserlo)¹⁴.

7. Nuova prospettiva di tipo fondazionale

Gli autori precedenti hanno applicato la teoria dei gruppi in senso tecnico. Ma, prima avrebbero dovuto porre con chiarezza il problema di fondo, anche se esso non è affatto facile: come stabilire il rapporto matematica-chimica. Nel 1971 Eugene Wigner scrisse un famoso articolo: "La irragionevole efficacia della matematica nella fisica teorica": oggi il suo uso sembra miracoloso: va bene troppo spesso. Ma in effetti questo miracolo avviene dopo che Galilei ha speso la sua vita scientifica a discutere e prestabilire il legame tra matematica (del continuo) e realtà; e dopo che Newton scelse il legame con la neonata analisi infinitesimale, il quale poi ha imperato gloriosamente per due secoli.

La Chimica classica è nata senza questo legame newtoniano; piuttosto la sua matematica è elementare e appare di tipo strumentale. Ma da quasi un secolo è stata introdotta la matematica della teoria dei gruppi nella Chimica; i suoi risultati non sono affatto di minore rilevanza di quelli delle teorie fisiche avanzate (ad es. quella delle particelle elementari). Perciò questa novità oggi pone alla teoria chimica il problema di come passare da un *uso strumentale* della matematica (tipico del positivismo ottocentesco) ad un *uso legato alla struttura fondazionale* della teoria.

È da notare che le simmetrie sono in contrasto con l'analisi infinitesimale. Mentre gli infinitesimi rappresen-

tano una ricerca matematica sull'infinito, compiuta con variabili date a priori come continue, le simmetrie rappresentano lo studio di una globalità, in quanto un intero sistema può essere visto da diversi punti di vista; il che significa introdurre tutte le trasformazioni dell'intero sistema; le quali possono essere in numero finito o infinito, discrete o continue. Esse possono essere tradotte nel concetto matematico di gruppo; la cui teoria appartiene all'atteggiamento *algebrico* della matematica, in contrasto con l'atteggiamento *analitico* a cui appartiene l'analisi infinitesimale.

Nel paragrafo precedente sono state riportate critiche alla applicazione della teoria dei gruppi; in particolare quella che i suoi risultati sono astratti rispetto alla tradizionale conoscenza dei chimici. In effetti, implicitamente si prende come riferimento il rapporto della teoria newtoniana con la analisi infinitesimale come il più "avanzato" possibile, o addirittura come inevitabile per arrivare ad una teoria ben formulata. Ma questo paragone è fuorviante, perchè quella teoria è nata basandosi su una matematica (geometria analitica e analisi infinitesimale) che per una fortunata coincidenza è stata data a priori come l'unica possibile. Invece in Fisica la Termodinamica non fa uso essenziale di quella matematica. Perciò la Chimica può ben formularsi con una matematica diversa da quella newtoniana senza scadere come teoria scientifica. Piuttosto è da tenere in conto che tutta la fisica teorica è astratta rispetto ai dati sperimentali: i risultati delle misurazioni sono sempre numeri approssimati, quindi numeri razionali, ma la teoria li formalizza con numeri reali, il cui insieme è enormemente più ampio dei numeri razionali. Quindi una teoria sperimentale non può sfuggire alla astrazione matematica; e non c'è problema se il risultato della teoria dei gruppi risulta astratto rispetto alla TP. Casomai, il paragone corretto con la fisica teorica è con la prima legge che ha stabilito il legame tra fisica e matematica: la legge galileiana della caduta dei gravi. La sua applicazione più rilevante è quella del moto dei proiettili. Sono passati più di due secoli prima che le "tavole di tiro", ricavate dalla pratica degli artiglieri, fossero sostituite da tavole calcolate matematicamente con quella legge, perchè in particolare è stato molto difficile schematizzare le correzioni dovute all'attrito dell'aria. Allora nulla di strano se al momento la teoria dei gruppi coglie pochi aspetti ed astratti della TP. Anche qui il distacco attuale tra questa matematica e la pratica della TP potrà essere colmato col proseguire della ricerca.

Solo Barut si è elevato, vari anni dopo i suoi lavori in Chimica, a considerazioni generali di questo tipo. Un

¹³ Si ricordi che i numeri magici dell'atomo di H (2, 8, 16, 32,...) sono diversi da quelli della TP (2, 8, 8, 16, 16, 32, 32, 50,...).

¹⁴ Una rappresentazione irriducibile del gruppo $SO(4,2)$ rimane irriducibile per il gruppo $SO(4,1)$. Questa è un'altra ambiguità dell'approccio EPA.

precedente lavoro [5] ha illustrato e generalizzato il suo studio e ne ha ricavato queste conclusioni: 1) la tecnica matematica delle simmetrie è tipica di una teoria basata sulle due scelte: la matematica del solo infinito potenziale (IP) e la organizzazione teorica rivolta a risolvere un problema specifico (OP); 2) poiché la Chimica è basata su queste stesse scelte, deve essere rifondata sulle simmetrie; 3) in particolare, occorre riformulare la TP con le simmetrie.

8. Suggestioni per una riformulazione della applicazione della tecnica delle simmetrie

Allora questo scritto vuole proporre un programma di lavoro che, partendo dall'aver riconosciuto le due scelte fondamentali della tradizionale teoria chimica, IP e OP, vuole chiarire come deve essere formulato il rapporto della sua parte centrale, la TP, con la matematica delle simmetrie. A questo scopo per prima cosa occorre riformulare con precisione la teoria chimica secondo queste due scelte. La scelta IP è molto chiara nella Chimica tradizionale ed è sostanzialmente la stessa scelta della teoria dei gruppi. Mentre invece occorre precisare la organizzazione della Chimica secondo il modello della OP, che è stato estratto dallo studio comparato delle varie teorie fisiche IP e OP [4], così da capire come le si possa applicare la teoria dei gruppi.

Nella EPA, la TP è, come dicono Tyssen e Ceuleman [10, p. 17], "il dato empirico di ingresso" alla teoria. Ciò è in accordo con la OP, la quale inizia presupponendo la conoscenza comune del campo in esame. Poi la OP pone il problema cruciale della teoria. Non è difficile trovarlo ricordando che il problema cruciale della Chimica di Mendeleev riguardava la regolarità degli elementi. Questo problema può essere espresso da una proposizione doppiamente negata: "Non è vero che non ci sia regolarità nella moltitudine degli elementi". Si noti che questa frase è inadatta a introdurre l'uso delle equazioni differenziali.

Poi la teoria deve trovare un nuovo metodo per risolvere il suddetto problema. Ma con quale tipo di logica? Come dimostrato in un precedente lavoro [3], la logica della Chimica classica è di fatto quella intuizionista. Invece tutti gli studiosi precedenti hanno studiato le simmetrie in Chimica secondo la logica classica. Eppure, la stessa parola "simmetria", proveniente dal greco "sunmetron" = "misurare insieme", significa misurare secondo una modalità; quindi, questa parola appartiene alla logica modale. A sua volta la logica modale è equivalente, attraverso il suo modello S4, alla logica intuizionista

[6 pp. 224 ss.], dove non vale la legge della doppia negazione. Questa legge rappresenta la principale linea di confine tra la logica classica (dove due negazioni affermano) e la logica intuizionista (dove due negazioni non affermano; ad es.: "Tutti i nemici del mio nemico sono miei amici" \neq "Tutti gli amici del mio amico sono miei amici"; sentenza del Tribunale: "Assolto per insufficienza di prove di colpevolezza" \neq "Comportamento corretto") Ne concludo che le simmetrie debbono essere ripensate nella logica intuizionista, dove $\neg\neg A \neq A$.

Quale è allora la maniera di ragionare per risolvere il problema dato? Seguendo le indicazioni di metodo che si possono trovare in altre teorie con le stesse scelte IP e OP, occorre pensare il sistema originario come modificato da una *aggiunta*(-trasformazione) che fa passare ad un sistema ausiliario, nel quale è più facile ottenere la soluzione del problema posto, perché "generalizzare è semplificare" [2 Appendice]. Questa indicazione di metodo è molto pregnante al metodo EPA, dove si passa dal caso di H al caso di atomi più complessi mediante aggiunte, date dalle trasformazioni conformi applicate al baruton. Nella meccanica di L. Carnot le aggiunte sono i moti del sistema che rispettano i vincoli del sistema [1]; esse svolgono il ruolo di variabili ausiliarie a quelle del sistema, ma ristrette ad essere "moti geometrici", cioè invertibili rispetto ai vincoli del sistema, o anche debbono essere ristretti dal vincolo della non interazione; parimenti nell'EPA l'aggiunta delle trasformazioni conformi, che fanno passare da una configurazione elettronica ad un'altra devono soddisfare dei vincoli: il principio di esclusione di Pauli e la regola di Madelung.

In una OP si tratta poi di ricavare l'invariante che risulta da queste aggiunte, cioè la regolarità che deve risolvere il problema centrale; il che in EPA è equivalente a ricavare dal gruppo di non invarianza il sottogruppo di simmetria di tutti i generatori che commutano con l'Hamiltoniana: L, A, ecc.

Lo studio del gruppo di invarianza pone il problema se le rappresentazioni siano irriducibili o no. Si noti che l'aggettivo ir-riducibile è una parola a doppia negazione che non ha una parola equivalente affermativa (\neq semplice; unitaria). In più la parola in-variante è anche essa a doppia negazione; quindi il risultato dello sviluppo algebrico della teoria matematica dei gruppi (qui da me non esplicitato) conduce ad una conclusione doppiamente negata di logica intuizionista, così come avviene in ogni teoria OP. Questo fatto indica che l'uso della logica intuizionista persevera per tutto la applicazione della teoria dei gruppi.

In realtà il segno preciso che la applicazione si sviluppa con un *ragionamento* di logica intuizionista è che contenga dei ragionamenti per assurdo (RA). A prima vista è complicato trovare dei RA negli sviluppi algebrici della trattazione delle simmetrie. Ma se il teorema matematico cruciale per la teoria dei gruppi non fosse dimostrabile senza usare l'infinito in atto (as es., l'assioma di Zermelo) allora esso deve essere sostituito da un teorema di sola logica applicata direttamente alle circostanze del caso specifico; questo teorema essendo in logica intuizionista non può che essere un RA (così come è in Termodinamica il ben noto RA di Sadi Carnot sostituisce un teorema idealistico di massimo sulla funzione input/output di

una macchina termica). Questo RA per la periodicità della TP ottiene un predicato a doppia negazione che esprime una ipotetica risoluzione del problema.

Nella OP poi viene applicato il principio di ragion sufficiente per tradurre questa conclusione nella corrispondente proposizione affermativa di logica classica. (Ricordo che questo principio è applicabile quando il predicato soddisfa i due vincoli indicati da Markov: essere derivato da un RA ed essere decidibile). Solo essa può essere testata con precisione con i dati disponibili. Perciò alla fine si confronta questa conclusione del RA diventata affermativa con la TP per verificare se in effetti essa soddisfa gran parte della sua periodicità.

BIBLIOGRAFIA

- [1] CARNOT Lazare (1803), *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, Paris, Deterville.
- [2] CARNOT Lazare (1813), *Réflexions sur la métaphysique du calcul différentiel*, Paris, Courcier.
- [3] DRAGO Antonino (2007), La maniera di ragionare di Lavoisier, Dalton ed Avogadro durante la nascita della teoria chimica, *Rend. Acc. Naz. delle Scienze detta dei XL*, Memorie di Sci. Fisiche e Nat., ser. V, 31, pt. II, tomo II, pp. 189-201.
- [4] DRAGO Antonino (2012), Pluralism in Logic. The Square of opposition, Leibniz's principle and Markov's principle, in *Around and Beyond the Square of Opposition*. BÉZIAU Jean-Yves e Daniel JACQUETTE (edd.), Basel, Birkhauser, pp. 175-189.
- [5] DRAGO Antonino e Antonio PIROLO (1994), Simmetrie in chimica: una rifondazione?, in Giovan Battista Marino (ed.), *Atti V Conv. Storia Fond. Chimica*. Atti Accademia delle Scienze detta dei XL, Roma, pp. 359-369.
- [6] HUGHES George E., e Max J. CRESSWELL (1996), *A New Introduction to Modal Logic*, London: Routledge.
- [7] NOVARO Otavio (2006), Group theory and the periodic table, in ROUVRAY Denis H. and R. Bruce KING (edd.), *The Mathematics of Periodic Table*. Nova Science Publishers, pp. 217-235.
- [8] OSTROVSKY Valentin N. (2006), Group theory applied to the periodic table of the elements, in Rouvray Denis H. and King R. Bruce (edd.), *The Mathematics of Periodic Table*. Nova Science Publishers, pp. 265-311.
- [9] THYSSEN Pieter e Arnout CEULEMANS (2017), *Shattered Symmetries: Group Theory From the Eightfold Way to the Periodic Table*. Oxford, Oxford University Press.
- [10] THYSSEN Pieter e CEULEMANS Arnout (2020), Particular Symmetries: Group Theory of the Periodic System. *Substantia*; 4, pp. 7-22.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 131-136
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La lettura chimica del vivente. Un approccio sistemico

GIOVANNI VILLANI

Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici, (UOS Pisa) – CNR
Orcid: 0000-0001-8030-0799 • E.mail: villani@pi.iccom.cnr.it

Abstract – Chemistry plays an important role in the study of the living. The achievements of biochemistry and molecular biology of the 20th century amply demonstrate this and they have changed our image of the living. From an epistemological point of view, however, the chemical approach to the living is often seen as an attempt to reduce the living organism to a device and framed in a reductionist perspective. What there is to add to the chemical approach remains, however, always hazy. This paper shows a systemic and non-reductionist chemical approach to the living. This approach allows us to explain why chemistry is so “efficient” in describing and interpreting the processes that occur in living organisms, avoiding reducing life to “just chemistry”.

Keywords: life; organism; chemistry vs biology; reductionism; systemics; living's image

Riassunto – La Chimica svolge un ruolo importante nello studio del vivente. I successi della biochimica e della biologia molecolare del XX secolo lo stanno ampiamente a dimostrare ed essi hanno modificato la nostra immagine del vivente. Dal punto di vista epistemologico, tuttavia, l'approccio chimico al vivente viene spesso visto come un tentativo di ridurre l'organismo vivente a un dispositivo e inquadrato in un'ottica riduzionista. Cosa vi sia da aggiungere all'approccio chimico resta, tuttavia, sempre nebuloso. In questo lavoro si mostrerà un approccio chimico di tipo sistemico e non-riduzionista al vivente. Questo approccio consente di spiegare perché la chimica è così “efficiente” nel descrivere e interpretare i processi che avvengono negli organismi viventi, evitando di ridurre la vita a “solo chimica”.

Parole chiave: vita; organismo; chimica vs biologia; riduzionismo; sistemica; immagine del vivente

Leggendo il titolo di questo lavoro, molti avranno pensato “ecco un altro riduzionista che ha l'intenzione di ridurre la vita alla chimica”. Il sottotitolo, tuttavia, fa sorgere qualche dubbio. Che cosa si vuole intendere con “approccio sistemico”? È questa un'indicazione che la prima impressione del titolo non è corretta? In che modo questo sottotitolo potrebbe modificare l'idea corrente che “leggere” il vivente con un approccio chimico sia ridurre la vita “a chimica applicata”? Sono queste le risposte che cercherò di dare in questo lavoro.

Per dare queste risposte bisogna partire dal concetto di “sistema” [6-9]. Questo termine oggi ha molteplici definizioni, ma non è questo il luogo in cui ci

si pone il compito di specificarle e analizzarle. Qui si propone che il termine “sistema” (e in questo caso anche il termine “organismo”, non operando in questo contesto una particolare distinzione tra i due) sia riservato esclusivamente a indicare *un insieme di elementi in interrelazione specifiche e non lineari tali da poter configurare un ente come “strutturato/organizzato”* e dove per “struttura/organizzazione” s’intende *la configurazione delle relazioni tra le parti del sistema, tra il sistema nel suo insieme e le parti e, infine, tra le parti e il tutto*. Definizione piuttosto articolata e complessa da richiedere ulteriori precisazioni.

Una prima precisazione riguarda il termine “insieme”. In letteratura, esiste un’idea che per avere un sistema occorrono “molte” unità costitutive. Per esempio, uno stormo di uccelli, che volteggia nel cielo come un “tutto”, non può essere costituito da 5-10 uccelli. Nell’idea chimica di sistema cui io accennerò, invece, tale limitazione non esiste. Una molecola è per me un sistema [7] sebbene costituita da pochi atomi. L’importante è che le interazioni tra i costituenti siano “non lineari”; è questo tipo d’interazione a creare un sistema, a creare un ente in cui emergono delle proprietà collettive non riducibili e neppure riproiettabili (assegnabili) in maniera univoca sui costituenti. Una seconda precisazione riguarda “interrelazioni specifiche”. Questo significa che le relazioni (che sono sempre in ambedue le direzioni e, quindi, interrelazioni) tra tutte le parti non sono uguali tra i costituenti dell’insieme [2]. Il caso dei legami chimici, specifici per alcune coppie di atomi, ne è un esempio. Il termine chiave nella definizione di sistema è “struttura/organizzazione” che connette non solo gli elementi tra loro, ma anche gli elementi con la totalità e la totalità con gli elementi. Intesa come la configurazione delle relazioni, se stabile o regolare nel tempo, essa trasforma un aggregato non strutturato di enti in un sistema. È la struttura/organizzazione, infatti, che dà forma nello spazio e nel tempo a una realtà nuova: il sistema.

Il concetto di sistema, nel senso di un ente globale strutturato/organizzato, entra in tanti campi particolari del mondo materiale, di quello concettuale e di quello sociale, ed è difficile sopravvalutarne l’importanza. Solamente l’ottica riduzionista, imperante per secoli, ha, di fatto, occultato questa evidenza. La sottovalutazione nell’ambito delle scienze naturali del concetto di sistema ha contribuito in maniera non piccola alla separazione netta, al limite dell’antinomia, che si è creata nella scienza moderna tra le scienze naturali e quelle umane/sociali. Il concetto di struttura/organizzazione e il conseguente concetto di sistema possono e devono aiutarci a superare, o almeno a ridurre, questa barriera.

Il concetto di sistema, così come è stato appena definito, è relativamente nuovo in fisica. In meccanica e in termodinamica classica, il concetto di “sistema”, largamente utilizzato “depurato” del concetto di struttura/organizzazione, è un’altra cosa. Solo con la meccanica quantistica e con la termodinamica di non-equilibrio tale termine assume in fisica il significato usato in questo contributo.

Il concetto di sistema è considerato poco importante dai chimici sebbene, come ci dice Luisi, in filosofia sia spesso usata propria la chimica per spiegare l’emergere di proprietà nuove tipiche del sistema [3]: «La possibile rilevanza della chimica per la nozione di emergenza è stata realizzata presto. Mill aveva usato le reazioni chimiche come esempi di emergenza già nel secolo precedente (Mill, 1843) – e nel 1925, come citato di McLaughlin, Broad (1923) aveva detto “la situazione che ci troviamo di fronte in chimica sembra offrire l’esempio più plausibile del comportamento emergente”. Esempi derivati dalla chimica possono essere trovati nella letteratura moderna sull’emergenza [...]. Comunque tutti questi lavori, sebbene molto interessanti nel contesto generale della filosofia dell’emergenza, non hanno avuto molto impatto sulla chimica contemporanea e sulle scienze molecolari in genere».

Nel caso delle molecole, la strutturazione/organizzazione è specificata dal concetto globale di *struttura molecolare* che non può in nessun caso, essere ridotto “alla disposizione spaziale degli atomi costituenti”, come qualche volta è fatto nei manuali di chimica. In casi chimici più complessi, come nelle molecole “giganti” chiamate macromolecole, la sola struttura molecolare non è sufficiente per caratterizzare il sistema e occorre fare riferimento anche alla “forma” che assume la macromolecola. Per esempio, affinché una proteina sia attiva in una cellula, essa deve avere una forma specifica, deve essere in quella che è chiamata *forma nativa*. Nel caso delle macromolecole viene fuori la differenza tra i concetti di struttura e di organizzazione.

Il concetto di sistema come ente organizzato è stato, invece, sempre ben presente in biologia: il concetto di organismo ne è la chiara evidenza, sebbene nell’attuale biologia non sia certamente il solo ambito in cui i concetti di strutturazione e di organizzazione siano essenziali. Sono stati proprio questi due concetti a creare frequenti “frizioni” nelle scienze naturali. Per esempio, la problematica della riducibilità della chimica alla fisica nasce dal considerare la molecola come un “aggregato di atomi” e non un sistema; allo stesso modo, considerando un organismo un “aggregato di composti e processi chi-

mici”, ne è seguita la pretesa di “ridurre” la biologia a chimica. A ben guardare, la generale pretesa di ridurre, passo dopo passo, tutto alla fisica, sia le scienze naturali sia quelle umano/sociali, è figlia del mancato riconoscimento del ruolo del concetto di sistema nelle varie discipline. La speranza di questi riduzionisti era che le scienze umane e sociali si potessero ridurre a puri epifenomeni biologici, la biologia si riducesse ai suoi costituenti/processi chimici e la chimica alla fisica. Per fare questo si è cercato di sminuire il concetto di organismo biologico, quello dove il concetto di sistema appare evidente, per riportare la biologia nell’alveo delle scienze naturali hard come la fisica e la chimica. Al contrario, la presunta mancanza di “organizzazione” in chimica e fisica e la sua presenza in biologia è stata anche utilizzata per creare una “separazione assoluta”, una dicotomia, tra gli enti naturali e contrapporre in maniera assoluta il vivente al non-vivente. Io, invece, ho cercato di mostrare [6, 7, 9] che i concetti di struttura e di organizzazione sono presenti anche in chimica (e in parte anche in fisica) e che l’assolutezza di tale separazione vada superata, riconoscendo l’ampiezza del concetto di sistema.

Tre sono le asserzioni chiave intorno a cui si articola l’idea di sistema, asserzioni che possono sembrare contraddittorie, ma che sono necessarie e complementari nel concetto di sistema.

- *Il sistema è più della somma delle sue parti considerate in isolamento.* Il sistema possiede, infatti, molto di più delle sue componenti considerate isolatamente: la sua organizzazione, la sua unità globale e le nuove qualità e proprietà *emergenti* da queste, sono i fattori che lo differenziano dal mero aggregato di parti. Queste nuove caratteristiche del tutto non si manifestano, però, soltanto al livello della globalità, al livello del sistema inteso come un “tutto”, ma anche al livello delle singole parti.

Il fatto veramente notevole che si rivela dall’analisi sistemica è la presenza di una retroazione delle macroemergenze sugli elementi componenti il sistema, retroazione che produce delle microemergenze. Si tratta di un principio chiave sistemico: il legame tra formazione e trasformazione. *Tutto ciò che forma, si trasforma.*

- *Il sistema è meno della somma delle sue parti considerate in isolamento.* Se, da un lato, è stato spessissimo notato (da Aristotele in giù) che il sistema è più della somma delle parti, raramente è stata riconosciuta l’idea contraria. Eppure è deducibile dall’idea di organizzazione e si lascia comprendere in maniera più semplice di quanto non sia l’emergenza. La presenza

di un’organizzazione equivale, infatti, all’esistenza di vincoli, di restrizioni sugli stati che possono assumere gli elementi che compongono il sistema.

- *Il sistema è un ente intrinsecamente dinamico.* Un’altra caratteristica fondamentale del concetto di sistema è la sua duplice natura di ente e di processo: il sistema è un ente dinamico. La classica divisione di “ente” e “processo” utilizzata in scienza va, quindi, rivista in un’ottica in cui ambedue questi aspetti confluiscono nel sistema. Nella chiusura identitaria del sistema, quella che lo separa concettualmente dall’ambiente, alcuni suoi processi dinamici entrano a costituire la dinamica interna del sistema, altri costituiscono l’interazione dinamica del sistema come un tutto con l’ambiente. I tempi caratteristici di questi due set di processi sono spesso differenti e questo semplifica la separazione e la modellizzazione tra “l’interno” e “l’esterno” del sistema. Vi sono dei casi, tuttavia, in cui questa separazione non è facilmente identificabile e l’accoppiamento tra i processi interni ed esterni negli esseri viventi può essere un buon esempio e le problematiche umane e sociali, degli esempi ancora migliori.

La teoria dei sistemi c’insegna che, quando si studiano i sistemi ai diversi gradi di complessità, non bisogna spingere l’analisi fino all’ultimo livello di complessità, all’elemento primo che, secondo i riduzionisti, racchiuderebbe in sé il “tutto” perché fonte iniziale della spiegazione, ma soltanto fino a un certo numero di livelli di complessità maggiormente interconnessi. Più le connessioni interne ed esterne di un sistema sono sviluppate e più complesse sono le interrelazioni che sono alla base di questa associazione, più la dinamica del sistema va esplicitata su più livelli di complessità.

Almeno tre sono i livelli di complessità che in un modo o nell’altro vanno considerati nello studio della dinamica di un sistema. I processi che avvengono nel nostro sistema, la sua dinamica, si esplica nel suo livello di complessità con interazioni “alla pari” tra sistemi. Nel caso molecolare, le molecole interagiscono tra di loro e *idem* tra le cellule nel livello cellulare di complessità. Anche le interazioni tra individui biologici o tra le specie biologiche avvengono nei loro livelli di complessità. Per esempio, i rapporti familiari o quelli predatore/preda sono rapporti tra organismi viventi che restano e possono essere spiegati nel loro livello di complessità. È questo tipo d’interazione che consente quella che potremmo chiamare una “causalità in orizzontale” e che permette di studiare i sistemi nella loro totalità senza considerarli formati di parti.

La dinamica di un sistema dipende dalla dinamica dai suoi componenti. Abbiamo detto che un sistema è un ente dinamico, un ente con una sua dinamica interna. Per fare un esempio, la dinamica interna alla molecola (le vibrazioni o altri moti interni) influenza quello che il sistema fa o può fare. Allo stesso modo, lo stato cellulare influenza l'organismo nella sua totalità, come le malattie possono mettere in evidenza. È questa una dinamica tra due livelli di complessità e, essendo noi interessati a ciò che avviene al nostro sistema, è una causalità bottom-up (dal basso in alto) perché si utilizza quello che avviene nel livello dei componenti (livello inferiore) per capire quello che avviene al nostro sistema.

La dinamica di un sistema dipende dall'ecosistema, dall'ambiente in cui il sistema è posizionato. La dipendenza temporale dall'ambiente (livello di maggiore complessità) è ovvia in molti casi e più "occultata" in altri. Per esempio, spesso i chimici teorici studiano la singola molecola per capire come essa si comporterà in differenti ambienti. È, tuttavia evidente a tutti i chimici che quello che una molecola o una macromolecola fa e può fare dipende sia dalle sue caratteristiche sia dall'ambiente in cui è situata. Una molecola o una macromolecola in una cellula può svolgere un "ruolo" in virtù delle sue caratteristiche, ma anche di quelle dell'ambiente. Un animale in una nicchia ecologica, una pianta in una foresta o un pesce in una barriera corallina, oltre a dipendere dagli altri sistemi presenti (gli altri organismi viventi), dipende anche dall'ambiente generale in cui si trova, dalle condizioni fisiche a quelle globali biologiche presenti. Questo tipo d'interazioni permette una causalità top-down (o downward causation), spesso negata dai filosofi della scienza che, a volte, sono più riduzionisti degli stessi scienziati.

Infine, questi tre livelli di complessità possono essere attraversati da cicli di processi che li coinvolgono direttamente e in maniera così integrata da operare sul nostro sistema in maniera complessiva. Questo genera una "causalità circolare" che "chiude" le causalità dal basso, in orizzontale e dall'alto.

Questi sono i tre livelli minimi da tenere in conto, ma a volte i sistemi sono così integrati verso l'interno e verso l'esterno, che la profondità di analisi deve essere spinta anche in altri livelli di complessità. In pratica, più il nostro sistema d'interesse è integrato nel tutto, più alto è il numero di livelli di complessità che si devono considerare per studiarne la dinamica. È, ovviamente, sempre possibile ridurre la complessità della sua dinamica riducendo i piani di complessità implicati ma, in questo caso, si deve sempre tenere presente che si stanno semplifi-

cando le causalità e si ottiene una dinamica semplificata per il nostro sistema.

Per il riduzionista convinto, a ogni livello di complessità c'è un "perché", rivolto sempre nella stessa direzione, verso l'interno, verso dimensioni più piccole. Steven Weinberg, premio Nobel per la fisica nel 1979, espresse chiaramente questo punto di vista quando perorò stanziamenti per un futuro acceleratore di particelle, di fronte alle critiche provenienti da altri fisici [10]: «Iniziando da qualche parte nella scienza e, come un bambino sgradevole, continuando a chiedere "Perché?" Alla fine scenderai al livello del molto piccolo [...] Ho notato che le frecce della spiegazione sembrano convergere verso una fonte comune, e nel nostro lavoro sulla fisica delle particelle elementari pensiamo di starci avvicinando a quella fonte. C'è un indizio nella fisica delle particelle elementari odierna che non solo siamo al livello più profondo a cui possiamo arrivare in questo momento, ma che siamo a un livello che in realtà è in termini assoluti abbastanza profondo, forse vicino alla fonte finale».

Notiamo, per fortuna, che non tutti i fisici importanti la pensano allo stesso modo. Al fisico Weinberg possiamo contrapporre il fisico Philip W. Anderson, anch'esso premio Nobel per la fisica, ma nel 1977. Partendo da quando aveva detto Paul Dirac (da lui indicato come "lo scopritore del positrone") che, dopo che le leggi della Meccanica Quantistica erano state stabilite, "il resto è chimica", cioè fisica applicata, Anderson dice [1]: «L'arroganza del fisico delle particelle e la sua ricerca intensiva possono essere alle nostre spalle (lo scopritore del positrone ha detto "il resto è chimica"), ma dobbiamo ancora riprenderci da quella di alcuni biologi molecolari, che sembrano determinati a cercare di ridurre tutto ciò che riguarda l'organismo umano alla "sola" chimica, dal comune raffreddore, a tutte le malattie mentali fino all'istinto religioso. Sicuramente ci sono più livelli di organizzazione tra l'etologia umana e il DNA di quanti ce ne siano tra il DNA e l'elettrodinamica, e ogni livello può richiedere una struttura concettuale completamente nuova».

L'approccio sistemico della chimica ha delle caratteristiche generali comuni a tutti gli approcci sistemici e alcune peculiarità. Sulle prime non credo sia il caso di aggiungere altro rispetto a quanto detto sul concetto generale di sistema e sulle sue interrelazioni. Sulla peculiarità dell'approccio chimico sistemico voglio, invece, qui sottolineare alcuni aspetti. Per prima cosa, un aspetto scientifico ricollegabile all'uso che tale disciplina fa dei termini concettuali di ente e processo. Come ho mostrato altrove [9], la Chimica è la disciplina scientifica che usa in maniera più "equilibrata e simmetrica" questi due

concetti, ambedue essenziali: tanto la preponderanza dell'aspetto sostanziale quanto di quello processuale, infatti, crea sempre delle distorsioni da evitare. È questo il punto essenziale che spiega l'efficacia della Chimica per studiare gli organismi viventi.

La spiegazione di tipo chimico, infatti, non ricerca, come quella fisica, delle leggi universali cui assoggettare processi ed enti naturali specifici, ma tramite le proprietà statiche e dinamiche dei costituenti (molecole e macromolecole nel mondo microscopico, sostanze chimiche in quello macroscopico) e quelle dell'ambiente determina le proprietà e il comportamento di un "pezzo strutturato/organizzato" di realtà studiato. Per la Chimica esiste un momento di "analisi" (bottom-up) in cui individuare i componenti e un momento di "sintesi" (in orizzontale e top-down) in cui i componenti sono messi insieme per creare un nuovo sistema in un ambiente. È questa la pratica chimica a tutti i livelli, dalla ricerca all'industria chimica.

Il mondo microscopico della chimica, il livello di complessità molecolare, composto di una miriade di "enti strutturati/organizzati", è una risorsa sia scientifica sia culturale per la Chimica, in particolare, e per la scienza, in generale. Sull'importanza scientifica del binomio molecola/composto e sue reazioni non mi soffermerò ulteriormente. Basterà dire che tramite questo binomio passa la quasi totalità della Chimica. Sull'importanza "culturale", invece, spenderò qualche parola perché è un aspetto sottovalutato, persino in ambito chimico e scientifico, in generale. Chiediamoci che cosa ha il mondo molecolare di tanto importante da meritare di trascendere il puro ambito scientifico e diventare, quindi, un aspetto culturale. Io credo, infatti, che il concetto di molecola, come ente strutturato/organizzato dinamico, sia una conquista culturale, oltre che scientifica. Un qualcosa da proporre alle altre discipline come esempio, come modello di spiegazione [6, 7].

Dal punto di vista strettamente scientifico, il livello di complessità delle molecole presenta delle peculiarità. In una possibile lista dei livelli di complessità della realtà, quella che dalle particelle elementari porta al macroscopico, il livello molecolare si situa immediatamente prima della biforcazione tra il mondo inanimato e quello animato. Rispetto al mondo vivente, le molecole sono il livello di studio immediatamente precedente (basti pensare al binomio cellula/costituenti cellulari) e le molecole sono, quindi, fondamentali nello studio del vivente, come la Biochimica sta a evidenziare. Il livello molecolare è, tuttavia, anche il livello immediatamente precedente agli oggetti inanimati macroscopici che ci circondano e anche per essi il mondo molecolare diventa il referente

di spiegazione. In quest'ultimo caso, basti pensare ai minerali, alle rocce, ecc. e al ruolo che svolge la Geochimica nel loro studio.

Ecco una prima ed essenziale caratteristica culturale del mondo microscopico della Chimica: esso rappresenta un linguaggio unico e specifico con cui studiare tutto il mondo materiale. È questo un aspetto essenziale da evidenziare. La scienza moderna non ne può fare più a meno. Lo possiamo mettere in evidenza dicendo, parafrasando Galileo: "il mondo materiale scientifico odierno è scritto in linguaggio chimico e i suoi caratteri sono atomi, molecole e macromolecole nel mondo microscopico e sostanze chimiche in quello macroscopico. Senza questi è un aggirarsi vanamente per un oscuro labirinto".

Non è, tuttavia, solo questa la peculiarità del mondo molecolare. Esso è un mondo ricco qualitativamente, cioè i suoi enti, milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri a tal punto da meritare ognuno un nome individuale. È questa sua caratteristica che lo rende particolarmente utile nello spiegare tanto il complesso mondo macroscopico quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente. Questa sua varietà è una diretta conseguenza della strutturazione/organizzazione a livello microscopico e su quest'aspetto scientifico, fondamentale per la Chimica e per tutta la scienza, va posta la giusta attenzione.

Per concludere riprendiamo i rapporti tra le varie discipline scientifiche considerate, la fisica, la chimica e la biologia, ripartendo da come spieghiamo che il mondo chimico molecolare si "adatta" così bene allo studio del vivente. Bisognerebbe chiarire, ovviamente, che cosa sia la "vita", che cosa caratterizza un sistema vivente. Su quali siano le proprietà/fenomeni definitorie del vivente non c'è accordo in letteratura [5], ma questo è, probabilmente, un problema minore. La vera difficoltà nell'ambito biologico risiede nel capire dove e come cercare/trovare una risposta scientifica alla domanda su che cosa sia la vita.

Alcuni credono che la risposta vada cercata in un approccio chimico, riducendola ai costituenti e ai loro processi, nella speranza che questi possano essere poi ridotti alla fisica. Io sono lontano dalla tesi fiscalista che un grande filosofo del XX secolo, Willard Van Orman Quine, ha così stringatamente caratterizzato [4]: «La fisica indaga sulla natura essenziale del mondo e la biologia descrive una protuberanza locale. La psicologia, la psicologia umana, descrive una protuberanza su una protuberanza».

Altri ritengono che la chimica non sia in grado di dare una risposta sul significato di vita, sebbene essa, tramite il "paradigma molecolare" che riduce tutto ai suoi costituenti, possa fornire una risposta a molti (forse, tutti) i

processi che avvengono nel vivente. Questo è ben chiaro in quello che dice Carl Richard Woese, uno dei maggiori microbiologi americani del XX secolo [11]: «La biologia oggi è a un bivio. Il paradigma molecolare, che ha guidato con tanto successo la disciplina per gran parte del XX secolo, non è più una guida affidabile. La sua visione della biologia ora realizzata, il paradigma molecolare, ha fatto il suo corso. La biologia, quindi, ha una scelta da fare, tra il percorso comodo di continuare a seguire l'esempio della biologia molecolare o quello più corroborante di cercare una visione nuova e stimolante del mondo vivente, che affronti i principali problemi della biologia che la biologia del XX secolo, la biologia molecolare, non poteva gestire e, quindi, ha evitato. Il primo corso, sebbene altamente produttivo, trasformerà sicuramente la biologia in una disciplina ingegneristica. Il secondo, sostiene la promessa di fare della biologia una scienza ancora più fondamentale, che, insieme alla fisica, sonda e definisce la natura della realtà».

Io credo che ambedue le alternative proposte siano sbagliate. L'ottica in cui è stato scritto questo lavoro è quella sistemica. A mio avviso, è superata, soprattutto filosoficamente, l'idea di un pensiero scientifico unico, un'unica disciplina scientifica cui tutto riportare. L'idea riduzionista, fisicalista in questo caso, non mi sembra riscuota più tutto quel successo che aveva in passato. In un mondo dove il "pensiero unico" è stato messo in discussione in filosofia e persino in religione, vuole la scienza cercare di diventare il nuovo "pensiero unico"? Non mi sembra proprio il caso. Io ritengo, tuttavia, che anche la tesi di fondo di molte posizioni anti-riduzionistiche in ambito biologico sia sbagliata e dannosa alla stessa "causa anti-riduzionista". La tesi di fondo di questi anti-riduzionisti è, infatti, l'antinomia tra vivente e non-vivente. Non è casuale che questi anti-riduzionisti pongono l'accento sull'insufficienza dell'approccio fisico e chimico nello studio del vivente. Io, a questi anti-riduzionisti, dico che la loro soluzione al riduzionismo è peggiore del problema che voglio risolvere. Se al riduzionismo opponiamo una separazione assoluta, un'antinomia filosofica, tra il vivente e il non-vivente, creiamo una duplice area di riduzione. Se poi vi aggiungiamo la dicotomia dell'animato con l'umano, introduciamo un'ulteriore dicotomia, ma non risolviamo il problema. Questo è evidente sul problema dell'origine della vita e dell'uomo. Avrebbero gioco facile i riduzionisti se chiedessero a questi anti-riduzionisti come spiegano, allora, i passaggi tra queste aree dicotomiche. Se queste aree sono assolutamente separate, come possiamo poi scientificamente spiegare il "passaggio" tra il non-vivente e il vi-

vente e la nascita della vita? Se queste aree sono assolutamente separate, come possiamo poi scientificamente spiegare la nascita del genere *Homo*?

Quale possibilità allora ci resta? Io supporto quella sistemica. Una visione in cui tutte le discipline scientifiche sistemicamente sono parti di un tutto, con autonomia e reciproche interazioni. Posto in questi termini, in quest'ottica sistemica, ogni settore scientifico, ogni realtà disciplinare, ha una sua autonomia, con conseguente necessità di specificarla, ma ha anche una sua integrazione ad altre realtà o settori scientifici. Queste interazioni interdisciplinari sono parti fondamentali delle stesse discipline scientifiche, non vincoli filosofici esterni (come nelle opposte visioni filosofiche illustrate) e sono altrettanto importanti per ogni disciplina della propria autonomia. Il sistema scienza, come altri sistemi, è chiuso e aperto allo stesso tempo. Nello stesso momento, quindi, in cui io richiedo autonomia per la chimica dalla fisica e, conseguentemente, assegno un intrinseco valore culturale a questa disciplina, rigetto senza esitazione anche la richiesta di riduzione della biologia alla chimica o della psicologia alla biologia.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANDERSON Philip Warren, *More is different*, in «Science», 177 (1972), pp. 393-396.
- [2] GHIBAUDI Elena, Luigi CERRUTI, Giovanni VILLANI, *Structure, shape, topology: entangled concepts in molecular chemistry*, in «Foundations of Chemistry», 22 (2020), pp. 279-307.
- [3] LUISI Pier Luigi, *Emergence in chemistry: chemistry as the embodiment of emergence*, in «Foundations of Chemistry», 4 (2002), pp. 183-200.
- [4] QUINE Willard Van Orman, *Theories and Things*, Cambridge (Mass-USA), Cambridge University Press, 1981, p. 16.
- [5] TIRARD Stephane, Michel MORANGE, Antonio LAZCANO, *The Definition of Life: A Brief History of an Elusive Scientific Endeavor*, in «Astrobiology», 10 (2010), pp. 1003-1009.
- [6] VILLANI Giovanni, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Napoli, Cuen, 2001.
- [7] VILLANI Giovanni, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre*, Milano, FrancoAngeli, 2008.
- [8] VILLANI Giovanni, *La chimica: una scienza della complessità sistemica ante litteram*, in *Strutture di mondo. Il pensiero sistemico come specchio di una realtà complessa*, a cura di L. Urbani Ulivi, Bologna, Il Mulino, 2010, pp. 71-89.
- [9] VILLANI Giovanni, *Chemistry: A Systemic Complexity Science*, Pisa, Pisa University Press, 2017.
- [10] WEINBERG Steven, *Newtonianism, reductionism and the art of congressional testimony*, in «Nature», 330 (1987), pp. 433-443.
- [11] WOESE Carl Richard, *A new biology for a new century*, in «Microbiology and Molecular Biology Reviews», 68 (2004), pp. 173-186.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 137-147
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Luigi Cerruti: la chimica come impegno civile

ELENA GHIBAUDI^{1*} – FRANCESCA TURCO¹ – GIANMARCO IELUZZI²

¹ Dip.to Chimica, Università di Torino, Via Giuria 7 – 10125 Torino;

² Istituto Comprensivo “C. Alvaro - P. Gobetti”, Via Canonica 36 – 10137 Torino.

* E.mail: elena.ghibaudi@unito.it – orcid.org/0000-0002-1660-2482

Abstract – The distinctive feature of Luigi Cerruti’s work was undoubtedly its versatility, which translated into the ability to dive with passion into a multiplicity of endeavors with a various character. Cerruti was a historian of chemistry and an epistemologist who, as a firm supporter of the social role of scientists and science, has always combined his academic role with political passion, in the broadest sense of the term, supporting the link between being a scientist and being a citizen. His research career, which we recall here, testifies to an open and dialectical view of chemistry and science.

Keywords: History of chemistry; philosophy of chemistry; chemical education; historiography

Riassunto – La cifra distintiva dell’opera di Luigi Cerruti è stata senza dubbio la poliedricità, che si traduceva nella capacità di tuffarsi con passione in una molteplicità di imprese dal carattere diverso. Cerruti è stato uno storico della chimica e un epistemologo che, da fermo sostenitore del ruolo sociale degli scienziati e della scienza, ha sempre coniugato il proprio ruolo accademico alla passione politica, nel senso più ampio del termine, sostenendo il legame tra l’essere scienziato e l’essere cittadino. Il suo percorso di ricerca, che qui richiamiamo, testimonia una visione aperta e dialettica della chimica e della scienza.

Parole chiave: Storia della chimica; filosofia della chimica; didattica della chimica; storiografia

Ricordare la figura di Luigi Cerruti (19 febbraio 1941 – 25 settembre 2021) e delinearne un ritratto non è facile, per molteplici ragioni. C’è innanzi tutto la difficoltà di dare conto della complessità del suo percorso di ricerca e dell’ampiezza dei suoi interessi, che non esitiamo a definire *alluvionali*, prendendo a prestito la sua ironia ed un termine che usava volentieri. Ma, per noi che abbiamo lavorato con lui, c’è soprattutto la difficoltà – quasi psicanalitica – di prendere atto in modo definitivo della perdita di un maestro e di un amico, con tutta la fatica emotiva che ciò comporta.

Proveremo dunque a commentare le principali tappe del percorso professionale di Cerruti, cercando di mantenerci fedeli alla sua lezione: utilizzare le fonti primarie (in questo caso, i suoi scritti e le sue stesse parole); riesaminare il

passato con l'obiettivo di comprendere meglio il presente, puntando al futuro (molti problemi da lui affrontati sono ancora sul tappeto e meritano di essere ripresi); usare (moderatamente) la provocazione come strumento per sollevare questioni meritevoli di essere discusse.

Cerruti si laurea in chimica nel 1964, presso l'università di Torino, con una tesi sulla determinazione dei gruppi spaziali mediante tecniche diffrattometriche. Negli anni dal 1966 al 1973 è Assistente volontario di Strutturistica Chimica, per poi diventare assistente ordinario a partire dal 1973. Nell'A.A. 1967-68 riceve l'incarico di Esercitazioni di Chimica Fisica I per il corso di laurea in chimica industriale a Torino. Questo corso sarà importante per il suo successivo impegno sulla storia della chimica, il cui insegnamento comincerà in modo semiclandestino [5] nell'A.A. 1979-80 e diventerà ufficialmente parte del corso di laurea in Chimica di Torino solo nel 1985, dopo la positiva conclusione di dolorose vicende accademiche e la difficile conquista dell'associatura in Storia della Chimica [7]. Nel 1986 Cerruti è co-fondatore del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC), del quale sarà presidente negli anni 2005-2012. Negli anni 1987-88, compie un lungo soggiorno di studio a Londra, come Honorary Fellow del Science Museum. Tornerà a Londra più volte negli anni successivi, per portare avanti studi sui chimici inglesi del XIX secolo. Nel triennio 1998-2000 è Presidente della Divisione di Didattica della Società Chimica Italiana (DD-SCI), uno dei suoi milieu di riferimento insieme al GNFSC. Gli anni intorno al 2000 sono anche quelli dell'impegno nell'insegnamento di storia delle scienze sperimentali dapprima nella SSIS piemontese e poi all'interno del corso di laurea in Scienze dei Materiali a Torino.

Queste poche righe evidenziano un percorso professionale anomalo per le abitudini accademiche italiane: infatti, Cerruti nasce come chimico sperimentale, si sposta poi verso la chimica teorica e infine si dedica a tempo pieno alla ricerca storico-epistemologica, che mette a servizio della didattica chimica e della stessa ricerca chimica (malgrado la fatica dei colleghi sperimentali a comprendere i possibili riflessi di questi studi sulla loro pratica della ricerca e della politica della ricerca).

La non linearità e la ricchezza del percorso si rispecchiano nei temi di ricerca via via esplorati da Cerruti:¹

- Dagli studi di teoria politica connessa agli scenari economico-produttivi al più specifico rapporto tra scienze chimiche e produzione industriale.

- La chimica in relazione al contesto politico-economico (in particolare, nell'epoca risorgimentale e nel ventennio fascista) e il ruolo politico attivo di molti chimici lungo la storia d'Italia.

- Lo sviluppo delle teorie chimiche e l'evoluzione tecnologica e strumentale della chimica (a dimostrare la loro mutua interdipendenza e il ruolo spesso addirittura trainante giocato dalle tecnologie e dallo sviluppo strumentale per il progresso della conoscenza chimica).

- La biografia del maggior chimico italiano del 1800, S. Cannizzaro, indagata applicando varie tecniche storiografiche (quali, ad es., l'analisi linguistica).

- Indagini su figure di chimici e fisici italiani, inglesi e tedeschi del XIX e XX secolo, a segnalare la fertilità dei territori di confine nell'intreccio tra le due discipline e nel rapporto tra le due comunità.

- Analisi delle più rilevanti enciclopedie chimiche europee e dei lavori di Selmi, Guareschi e Giua, che evidenziano l'intenzione (messa in pratica con dispiego di forze della comunità chimica e di mezzi editoriali) di favorire lo sviluppo sociale ed economico della Nazione offrendo agli imprenditori un dettagliato panorama del pensiero e delle tecnologie chimiche più moderne.

- Indagine sulle possibilità offerte alla ricerca storica e a quella sperimentale dallo sviluppo della Rete, moderna enciclopedia universale.

- Analisi dell'iconografia scientifica e del suo utilizzo a fini didattici, comunicativi e propagandistici.

- Il tema della complessità, sempre intrinsecamente presente in una modalità di ricerca caleidoscopica che moltiplica punti di vista e intrecci fra temi, diviene oggetto stesso di ricerca sia in rapporto alla struttura concettuale della disciplina chimica sia in relazione al rapporto tra la chimica e le altre discipline, e infine nella chimica descritta come *macchina autopoietica*, ispirata all'approccio sistemico di Maturana e Varela.

- Epistemologia applicata, ossia la riflessione filosofica su processi e concetti fondanti della chimica (es. modelli atomici, struttura molecolare, concetto di mole, concetto di orbitale, ecc.), rivolta specificatamente alla comunità di coloro che praticano e insegnano la chimica.

Questo elenco, vasto ma incompleto, dà la misura dell'ampiezza dello sguardo del Cerruti storico, ma è anche segno della sua capacità di *risintonizzarsi* continuamente con l'ambiente circostante, cogliendo i nuovi orientamenti della comunità chimica e le istanze culturali che via via emergevano dalla società.

¹ Le varie fasi di questo percorso sono risultate molto evidenti nel lavoro di disamina della biblioteca di Cerruti, compiuto da due di noi, in vista della creazione di un 'Fondo Cerruti' presso la Biblioteca Ponzio del dip. Chimica dell'Università di Torino.

L'idea di chimica che permea questo percorso di ricerca è quella di una scienza che fa convivere la sfera industriale, tecnica, accademica e sociale: una chimica immersa in precisi contesti socio-economici, al cui sviluppo contribuisce attivamente e dai quali viene influenzata, modificandosi a sua volta. Una chimica che si intreccia con la politica, tanto da vedere molte sue figure professionali direttamente impegnate nel *far politica*, nel senso più ampio e significativo del termine. In una parola, una chimica *non neutra*, in antitesi con l'idea mitica di scienza oggettiva e neutrale. È precisamente questa visione della chimica che ritroviamo nel testo più famoso di Cerruti, *Bella e Potente* [9].

Ma cos'era la *storia della scienza* per colui che aveva deciso di farne l'oggetto delle proprie ricerche? «La storia è un'avventura spirituale in cui la personalità dello storico si trova interamente impegnata [...] Essa assume per lui *valore esistenziale*, donde la sua serietà, il suo significato, il suo valore» [16]. Qui Cerruti prende a prestito le parole di Marrou per illustrare la propria concezione del lavoro dello storico. L'aggettivo *esistenziale* ricorre spesso nei suoi scritti. La stessa scienza è concepita da lui come avventura esistenziale, accanto e forse ben prima di essere un'impresa intellettuale e un potente strumento di azione sulla realtà materiale.

Riguardo al *perché fare storia*, egli stesso ci dice: «Uno dei compiti più importanti della ricerca in storia della chimica è proprio quello di *far emergere la regione epistemologica delle scienze chimiche*, descrivendo i suoi mutevoli confini con la fisica e la biologia e rinnovando la sua esplorazione al seguito degli scienziati, maggiori e minori, del passato» [5].

Qui troviamo l'idea della chimica come forma di cultura, della quale era interessato a esplorare le *pratiche conoscitive* (un'espressione tipica dei suoi scritti), al fine di far emergere l'area d'azione e le modalità di conoscenza peculiari delle scienze chimiche. È solo attraverso questo tipo di indagine e di riflessione che una disciplina può *dire se stessa*, nel senso di definire la propria identità, ciò che la identifica e la distingue da altri approcci conoscitivi alla realtà.

Traspare da queste righe uno sguardo attento alle zone di confine interdisciplinari che lo attiravano per la loro intrinseca apertura: questa particolare sensibilità (ma forse, dovremmo parlare di vera e propria attrazione) è specialmente evidente nella parte finale della seconda edizione di *Bella e potente* [9].

La storia della chimica è, tuttavia, una disciplina dal doppio volto: «La disciplina stessa è *ambigua*, chiedendo essa ai suoi cultori una doppia vocazione: per gli stu-

di duri di chimica, e per le pratiche severe della storiografia. L'ambiguità si estende anche alla *valutazione degli esiti della ricerca*, i cui aspetti metodologici possono essere apprezzati a pieno solo da altri storici, e i cui contenuti epistemologici possono essere compresi in profondità solo da altri chimici» [7]. Queste righe sollevano un problema quanto mai attuale: quello del riconoscimento del lavoro dello storico della chimica, che rischia di essere sottovalutato o frainteso e che fatica a sopravvivere entro un sistema bibliometrico di valutazione della ricerca ridotto ad arido calcolo algoritmico, pura quantità.

Il prezzo dell'ambiguità della disciplina storica fu chiaro a Cerruti fin dagli inizi, quando si scontrò con l'impossibilità di tenere un corso ufficiale di storia della chimica: «L'insegnamento di storia della chimica *iniziò in modo semi-clandestino* nell'A.A. 1979-80 [...] Nei primi due anni la storia della chimica coabitò nel mio corso con la termodinamica dei processi irreversibili e, nei successivi quattro, con la fotochimica». Dovrà attendere 6 anni prima che il Corso di Storia della chimica diventi una realtà autonoma e sia *premiato* da un congruo numero di ore di docenza (60 ore) [5].

In questi 6 anni, Cerruti lotta per ottenere l'abilitazione e l'associatura in Storia della Chimica, scontrandosi con molte resistenze accademiche. La vicenda è stata raccontata nei dettagli da lui stesso [7]: qui ci limiteremo ad osservare che la gestione, a volte alquanto disinvoltata, delle cattedre e delle abilitazioni da parte dell'accademia non è un mero esercizio teorico di politica accademica; è un esercizio di potere con conseguenze dirette sulla vita e sul destino delle persone (Cerruti forse scomoderebbe l'aggettivo *esistenziale*). Prova ne siano le drammatiche parole da lui rivolte al prof. Marini-Bettòlo, in una lettera che gli indirizzò nel 1984, in disperata ricerca di un appoggio, nel pieno della tempesta concorsuale che rischiava di travolgerlo e di chiudergli ogni possibilità di riconoscimento professionale: «Un mio mancato inquadramento in storia della chimica mi dannerebbe per lunghi anni ad una *patente internazionale di dilettantismo*».²

La vicenda finì bene, proprio grazie all'intervento di Marini-Bettòlo, ma la considerazione delle ricerche storiche ed epistemologiche da parte della comunità chimica continuò (e ahimè continua) a essere scarsa. Prova ne sia una lettera del prof. Lamberto Malatesta, ordinario di chimica generale a Milano e figura di riferimento per la comunità chimica, che il 16 gennaio 1984 scriveva a

² Lettera inedita, trovata nell'archivio Cerruti da due di noi.

Cerruti: «La sua attività di storico della chimica è molto interessante e gli articoli che mi ha inviato sono ottimi da ogni punto di vista e coprono un settore che in Italia risulta assai trascurato. Mi auguro che Ella voglia procedere per questa via, anche se, purtroppo, *le pubblicazioni in campo storico e della filosofia della scienza sono male accolte e sottovalutate in sede concorsuale*. È una situazione ingiusta, ma bisogna che chi intende seguire quella via ne sia a conoscenza, evitando così gravi delusioni».³ Malatesta era persona di grande cultura e le sue parole testimoniano una sensibilità nei confronti di temi – per sua stessa ammissione – ingiustamente trascurati dalla comunità chimica. Tuttavia non possiamo fare a meno di notare che egli era tra le poche persone in Italia che sarebbero state in grado di influenzare le vicende concorsuali del Cerruti e, più in generale, di creare le condizioni affinché la comunità accademica dei chimici riconoscesse formalmente il valore delle ricerche storico-epistemologiche. Occorreva volerlo.

Vale la pena ricordare che, mentre Cerruti sperimentava l'isolamento accademico in patria («Avevo veramente un bisogno disperato di cultura, erudizione e solidarietà» [7]), la sua fama di storico cresceva oltreconfine, portandolo a diventare membro di varie istituzioni prestigiose.⁴

Tornando al Corso di Storia della chimica, ci pare rilevante dare conto della sua struttura, quale l'abbiamo ritrovata negli appunti dello stesso Cerruti (Tabella 1).

Il corso era strutturato in nove nodi e si configurava come una *storia delle procedure conoscitive* della chimica. La struttura è diacronica, ma non lineare (in accordo con le molte riflessioni dello stesso Cerruti sulla non linearità della evoluzione delle scienze e del lavoro di ricerca). Di fatto, si presenta come una *storia del pensiero chimico*: vi ritroviamo una chimica intesa non come mero sapere tecnico e prassi manipolativa della materia, ma come *contenuto di pensiero sulla realtà*; un pensiero caratterizzato da una propria struttura peculiare, che di-

stingue la chimica da altre discipline scientifiche. In quanto forma di pensiero, e dunque espressione culturale, era importante sottolineare la relazione della chimica con i contesti culturali e sociali nei quali questo pensiero si era andato sviluppando. Questa visione della disciplina come sistema di pensiero in costante evoluzione (da cui l'approccio ermeneutico alla storia) era largamente condivisa all'interno del GNFS e rispondeva agli obiettivi di questo gruppo.

Scriva infatti Eugenio Torracca: «L'idea originaria era di fornire una *versione più corretta dei concetti di base della Chimica, spesso distorti* e resi poco comprensibili per un accumulo di effetti di disturbo (o di omissioni) nel passaggio dalla letteratura chimica, al manuale universitario, fino al libro di testo per la scuola secondaria» [20]. Ed è ancora Cerruti a ribadire che l'obiettivo era «*ricostruire una storia dell'epistemologia della chimica*» al fine di pervenire ad una «*caratterizzazione culturale della nostra scienza*» in quanto, riprendendo le parole di Leonello Paoloni: «Resta ignorata la necessità che la chimica sia inserita nel contesto culturale comune della società» [7].⁵

Il Corso di Storia della Chimica di Torino puntava certamente a rendere gli studenti consapevoli della dimensione culturale della loro disciplina. Una battaglia più facile da vincere con i giovani che non con i colleghi, alcuni dei quali - lo possiamo testimoniare in qualità di ex-allievi - scoraggiavano esplicitamente gli studenti dall'inserire il corso di Storia della Chimica in piano di studi in quanto cosa poco rilevante, se non un'esplicita perdita di tempo. Le stesse vicende del corso testimoniano la chiusura culturale di una parte della comunità chimica: nei primi anni 2000 il corso di storia della chimica venne soppresso, con il pretesto che i corsi complementari erano troppi e mancavano aule per tenerli in piedi. Il corso sopravvisse in altre forme e luoghi: nella SSIS e poi, in formato ridotto (16 ore) come corso di storia delle scienze sperimentali, all'interno del corso di laurea in Scienza dei materiali, fino al pensionamento di Cerruti, evento che ne sancì la definitiva scomparsa.

Un'ultima nota di rilievo riguardo a questo insegnamento proviene dalla prolusione al corso, che Cerruti titolò: *Domande da porre: possibili risposte* [3]. In questi appunti inediti, il docente illustrava ai propri allievi il senso del percorso che stavano per intraprendere. Alla domanda «qual è il senso della storia delle scienze?», Cerruti dà una risposta che si sviluppa secondo due direttrici distinte, ma complementari: il senso come riman-

³ Lettera inedita, trovata nell'archivio Cerruti da due di noi.

⁴ Cerruti fu membro della British Society for the History of Science, della Society for the History of Alchemy and Chemistry, della Commission on the History of Modern Chemistry della International Union of History and Philosophy of Science, del Working Party on the History of Chemistry della European Association of Chemical and Molecular Science (EUCHEMS), della International Society for the Philosophy of Chemistry (ISPC) e del Comitato Editoriale di HYLE-International Journal for the Philosophy of Chemistry, a dimostrazione del fatto che, malgrado l'isolamento accademico sperimentato in patria (nemo propheta...), egli era ben inserito nel panorama internazionale.

⁵ Sottolineatura nell'originale

Tabella 1 – *Struttura del primo Corso di storia della chimica di L. Cerruti (AA. 1979-80) quale è descritta negli appunti dell'autore.*

Chimica pneumatica (ca. 1775)	Si mette in luce l'organizzazione di concetti fondamentali, quali quello di sostanza (pura), composizione, elemento, nonché l'uso diffuso di misure quantitative. Teorie del flogisto e dell'ossigeno a confronto
Leggi e congetture fondamentali (1790-1820)	Si discutono le leggi stechiometriche (fondamento dei fondamenti), l'orientamento verso le costanti fondamentali (pesi atomici), interrogativi sulla natura degli elementi, le leggi dei gas e dei solidi
Riforma cannizzariana e sistema periodico (1850-70)	Espressione della composizione, concetto di valenza, messa in ordine del sistema degli elementi
Valenza e struttura (1850-1875)	Diversa esigenza d'ordine (sulle sostanze organiche); elaborazione teorica delle procedure di trasformazione delle sostanze (organiche); stereochimica
Teoria dei complessi (1894 e segg.)	Nuova e diversa esigenza d'ordine (su certe sostanze inorganiche); elettrochimica; parziale negazione delle teorie precedenti e 'ritorno a Berzelius'
Modelli atomico-molecolari (1895-1920)	L'impostazione classica della chimica si confronta con i risultati della fisica fine-siècle
Chimica macromolecolare (1920-1940)	Gemmazione e negazione della chimica organica classica
Chimica biologica (1900-1950)	Incontro-confronto tra procedure chimiche e biologiche; le tecniche della chimica organica classica giungono a livelli di assoluta eccellenza, prima di essere (alcune!) completamente perdute
Chimica quantistica (1925-1940)	Incontro-confronto fra le teorie chimiche classiche e la fisica matematica

do (ossia possibilità di transcodifica tra linguaggi diversi) e il senso come direzione ed intenzionalità (Figura 1). La transcodifica di linguaggi va intesa come *nesso tra due modalità di conoscere* e si applica tanto alle teorie (fra loro) quanto al rapporto tra prassi scientifica e produzione industriale. A titolo esemplificativo, Cerruti propone questa analogia: «quando ad un esame, dopo una lunga serie di passaggi algebrici ed analitici, si chiede al candidato 'il significato fisico' delle assunzioni, del-

le approssimazioni e dei risultati, si impone esattamente un'operazione di significazione, di transcodifica tra due linguaggi distinti».

Quanto all'*intenzione*, si tratta di un termine molto significativo all'interno dell'opera di Cerruti: l'intenzione di ricerca è ciò che guida il ricercatore nella sua esplorazione e che ne giustifica gli sforzi, ne influenza le interpretazioni e talora ne fa comprendere gli errori. Sull'intenzionalità, Cerruti cita Husserl, un riferimento filoso-



Fig. 1. Schematizzazione proposta da Cerruti in relazione alla domanda «qual è il senso della storia delle scienze?» [3].

fico per lui fondamentale: «La fenomenologia... è l'esplicazione di senso realmente condotta su ogni tipo pensabile di essere per me, come ego, e specialmente sulla trascendenza (che mi si presenta realmente dall'esperienza) della natura, della cultura e del mondo in generale. Ma ciò val quanto dire: *rivelazione sistematica dell'intenzionalità costitutiva stessa*» [14]. È, secondo noi, verso questa "intenzionalità costitutiva" che deve procedere l'elaborazione di un metodo storiografico adeguato, capace di affrontare (con una adeguata epistemologia) il problema dello sviluppo scientifico in Occidente» [3]. I termini di intenzionalità, unici e specifici per ogni autore, sono chiaramente ricostruibili dall'analisi dei testi, adottata come metodo di indagine elettivo.

Cerruti conclude con una nota nella quale troviamo tre parole-chiave del corso - processo, sistema e intenzione: «Il senso dell'attività storiografica nel campo della storia della scienza consiste nel mettere in relazione la *scienza come processo*, da una parte, con la *scienza come sistema e come intenzione*, dall'altra. A questo punto, e solo a partire da questo punto, la scienza si aprirebbe davanti a noi come *impresa conoscitiva ed umana degna di essere vissuta*» [3]. Nell'insieme, emerge un'idea di scienza (e di chimica) tanto come *impresa conoscitiva* quanto come *impresa umana*, con un recupero di quella dimensione esistenziale che Cerruti riteneva centrale.

Se il GNFSFC rappresentò per Cerruti il luogo dove trovare quelle possibilità di interlocuzione che la comunità dei chimici sperimentali gli negava, una seconda comunità di riferimento (anch'essa sparuta, ma agguerrita) fu la DD-SCI, del quale sarà anche Presidente: «Nella comunità dei chimici non vi era nulla di paragonabile [*rispetto all'interesse dei fisici per la storia e la didattica*] e l'unica possibilità per un senza-terra come me era di *far riferimento all'area di ricerca in didattica della chimica*» [7].

Si trattava di un approdo piuttosto naturale, se si considera la sua concezione degli studi storici ed epistemologici come strumenti al servizio della comunità chimica. Cerruti ha sempre sostenuto la centralità della didattica, in quanto luogo nel quale la comunità si perpetua, trasmette il proprio *know how*, la cultura della quale è portatrice e le chiavi interpretative della realtà che essa stessa ha elaborato. Se la chimica è una cultura, la didattica delle scienze è una impresa culturale e, come tale, implica lo sviluppo di una ricerca didattica che la faccia maturare: «La *ricerca in didattica delle scienze rende disponibili gli strumenti per rendere costruttiva e intersoggettiva* la nostra esperienza di insegnanti di discipline scientifiche» [8]. Ma quale scienza insegnare? E come? La scienza è «un modo fondamentale per comprendere in

profondità il nostro mondo», dice Cerruti. Ha dunque un *significato esistenziale* che deve emergere nell'azione didattica in quanto esso «giustifica lo sforzo per acquisire una conoscenza reale, e non volatile, del contenuto e così conduce al possesso del contenuto stesso» [8]. Ma l'azione didattica deve fondarsi anche sulla consapevolezza epistemologica, che si costruisce solo coltivando la storia della disciplina: «Se la cultura scientifica è posta nei due contesti della società e della scuola senza *amore* per la conoscenza, senza *consapevolezza* epistemologica, senza *tensione* esistenziale, essa non può che *agonizzare*, o entrare in coma irreversibile. Anche di qui nasce l'attenzione rivolta *all'introduzione della storia e dell'epistemologia nell'insegnamento delle scienze*» [6].

Cerruti precisa anche ciò che la ricerca storica non è e non deve essere, ossia «la 'storia dei professori emeriti', che al termine della loro carriera celebravano i trionfi della propria disciplina, ricostruendone il divenire come un (lungo) cammino per giungere alla (loro) verità» [5], così come non può essere una ingenua e superficiale narrazione aneddotica da affiancare alla esposizione dei principi fondanti della disciplina.

Queste idee erano ampiamente condivise entro lo stesso GNFSFC se, come ricorda Torracca: «La convinzione che stava alla base delle scelte di noi tutti era che la *didattica delle materie scientifiche* e in particolare della Chimica fosse molto importante per lo *sviluppo culturale e materiale di qualsiasi Paese* e del nostro in particolare» [20]. Il valore formativo della chimica e delle scienze va ben oltre i contenuti tecnici: le discipline scientifiche sono sistemi di pensiero, formano al pensiero critico, alla logica e – oggi si direbbe – stimolano la cittadinanza attiva.

Molte di queste problematiche e domande continuano ad essere riproposte anche oggi, ad indicare che non sono state risolte, molte resistenze permangono e la visione culturale della chimica non è sufficientemente coltivata dalla stessa comunità dei chimici. Nel lontano 1983 Paoloni scriveva parole che si applicano perfettamente al contesto attuale, ad indicare che molta strada resta da percorrere: «Nel contesto legislativo che governa gli ordinamenti scolastici, e che esprime perciò la scala dei valori culturali comuni alla maggioranza dei cittadini, *la chimica è considerata unicamente sotto il profilo tecnico e viene rifiutata come scienza*, cioè come una manifestazione dell'attività cognitiva dell'uomo rispetto alla problematica della composizione dei corpi materiali. *Tale ruolo è invece riconosciuto alla fisica*» [17].

Questi temi (e in particolare il rapporto di subordinazione culturale nei confronti della fisica) sono spesso oggetto di lamentela da parte dei chimici: c'è da chiedersi

se un diverso atteggiamento dei chimici verso la ricerca didattica, storica ed epistemologica non contribuirebbe a modificare il posto che la chimica occupa nell'immaginario collettivo e nel bagaglio culturale del cittadino medio, oltre che in quello dei chimici stessi. Tuttavia, ciò comporterebbe un investimento nella formazione di ricercatori in didattica, storia ed epistemologia della chimica, che continua a non esistere e a non essere percepita come un'esigenza.

Resta dunque valido ciò che Cerruti scriveva nel lontano 1976, in un testo di sociologia della scienza che colpisce per la sua (triste) attualità: «*Lo stesso sforzo rivolto ad addestrare buoni ricercatori deve essere impiegato per ottenere, nelle stesse persone, dei buoni insegnanti*. Non solo per l'ampio significato sociale di questa seconda funzione, ma anche perché il momento di riflessione complessiva sull'insieme della disciplina insegnata, sul senso dei suoi scopi e delle sue tecniche, insito nella didattica è del tutto complementare ad una ricerca efficace» [2].

Uno scritto memoriale di Luigi Cerruti non può prescindere dal ricordare tre esiti fondamentali delle sue ricerche, che hanno contribuito a decretarne la fama di storico.

Ci riferiamo all'analisi critica del *Sunto di un corso di filosofia chimica* di Stanislao Cannizzaro, uscita nel 1991 a corredo della ripubblicazione del *Sunto* per i tipi di Sellerio [4], e alle due edizioni di *Bella e potente*, uscite rispettivamente nel 2003 e nel 2016 per Editori Riuniti [9].

Cannizzaro è «la figura più eminente della storia della chimica italiana». L'elaborazione del commento critico rappresenta per Cerruti l'occasione per mettere a punto un apparato storiografico che poi applicherà a tutti i suoi studi successivi. Questo *armamentario* di strumenti di analisi, questa *cassetta degli attrezzi* (usiamo termini che gli appartenevano) comprendeva l'analisi linguistica – una scelta influenzata dall'interesse di Cerruti per lo strutturalismo linguistico – e l'attenta ricostruzione storica del contesto e delle idee: «Cercai di collocare l'indagine storica nel nuovo orizzonte filosofico su cui mi ero affacciato in quegli anni, aperto intenzionalmente verso la *comprensione fenomenologica*. Di qui la necessità di una *minuta analisi del discorso*, della parola stessa degli scienziati» [7]. È così che, lavorando sul *Sunto*, Cerruti perviene a costruire un apparato di evidenze argomentative che gli consentono di dimostrare la crucialità del contributo di Cannizzaro nella messa a punto della teoria atomico-molecolare, che avrà un impatto essenziale sulla successiva elaborazione della tavola periodica. In particolare, egli utilizza l'analisi linguistica per evidenziare gli *impegni ontologici* dichiarati da Cannizzaro sul

livello microscopico e mostra come Cannizzaro sia riuscito a *mettere a posto* i concetti di atomo e molecola, ponendo fine ad una confusione concettuale che era ostacolo ad ulteriori progressi teorici della chimica: «Prima del *Sunto*, i concetti di atomo e di molecola, l'ipotesi di Avogadro e Ampère e la legge di Dulong e Petit, erano da lungo tempo 'oggetti' nell'universo di discorso della chimica, ma essi non 'erano a posto', stavano ancora subendo quel "*processo che scopre la semplice presenza comprendendo l'utilizzabilità*" [13]» ([4], p. 260).

Nella conclusione del suo commento al *Sunto*, Cerruti mette in evidenza due elementi fortemente originali del lavoro di Cannizzaro, in confronto a quello dei suoi contemporanei Dumas, Odling e Regnault: «*il massimo livello di astrazione*, cioè di scelta teorica: *l'assunzione rigida delle leggi fisiche*, che rendeva le 'eccezioni' trascurabili nell'argomentazione; e *l'assunzione della individualità atomica* degli elementi» ([4], p. 254-255). Come è noto, il lavoro di Cannizzaro aprirà la strada a quello di Mendeleev; notiamo qui una singolare affinità tra i due personaggi nel modo di affrontare le questioni teoriche. Anche Mendeleev pervenne ad elaborare il Sistema Periodico grazie alla sua capacità di generalizzare, che lo condusse ad elaborare un concetto *astratto* di elemento che gli evitò di cadere nelle trappole della casistica e diventò criterio fondante della classificazione chimica [19].

Sempre a proposito del commento al *Sunto*, è significativo ricordare la polemica che divise Cerruti e Alan Rocke, responsabile di un'interpretazione fortemente diminutiva del lavoro di Cannizzaro [18] la quale rischiava di propagare «un'immagine fortemente distorta del chimico palermitano» ([4], p. 83). In particolare, Cerruti contestò la riduzione del *Sunto* ad un «tentativo di mettere un po' di coerenza in un *programma didattico*» e fu proprio attraverso l'applicazione di un ricco apparato storiografico che pervenne a dimostrare che il *Sunto* era «un articolo di ricerca teorica che delineava un *programma di ricerca*» ([4], p. 83).

Nel commento al *Sunto*, Cerruti rivela tutta la sua capacità di analisi epistemologica, che poggia su un esteso patrimonio di conoscenze filosofiche e su un approccio ermeneutico che fa leva sull'analisi linguistica (lessicale, semantica, retorica). Egli ricorrerà a questo tipo di analisi più volte nei suoi studi successivi: basti ricordare il suo ampio lavoro sul concetto di mole, nel quale esaminò e comparò le definizioni di mole nelle diverse lingue, mettendo in evidenza le implicazioni epistemologiche delle diverse scelte lessicali (ad es. la scelta di definire la grandezza di riferimento della mole come *quantità de matière* piuttosto che *amount of substance* o *quantità di sostan-*

za). *L'analisi linguistica* è dunque, per Cerruti, sempre occasione per mettere a fuoco *questioni epistemologiche*.

L'impostazione socio-semiotica fu fecondamente applicata anche all'analisi dell'iconografia scientifica, un tema di ricerca originale destinato a divenire un *classico*. Mediante questo approccio, Cerruti e i suoi collaboratori esplorarono i messaggi scientifici veicolati dalle immagini prodotte dal mondo dei chimici in differenti periodi storici, dimostrando come l'analisi dell'uso di diagrammi, di schemi e di grafici, in aggiunta a immagini vere e proprie, rendesse possibile evidenziare i messaggi impliciti e espliciti del mondo di appartenenza dei chimici [15, 23]. Tale indagine evidenziò come lo studio d'insieme dell'iconografia scientifica dovesse tenere conto delle pratiche sociali e delle condizioni d'uso al fine di rendere ragione del senso generato dal sistema segnico: testo scritto e apparato iconografico si compenetrano, si alimentano e spalancano nuovi modi di trasmissione di sensi e significati.

L'altro grande esito della ricerca storica di Cerruti è il testo *Bella e potente*, uscito in prima edizione nel 2003 [9]. Come storia della Chimica del Novecento rappresenta un unicum. Il testo è organizzato in 4 sezioni principali, dedicate rispettivamente al compimento della chimica classica (1894-1918), alla scoperta di nuovi e promettenti territori (1918-1945), agli sviluppi di vari campi multidisciplinari della chimica, con sconfinamenti verso discipline attigue (1945-1975), ed infine alla chimica della complessità (1975-2000) con un lungimirante sguardo finale verso i temi ambientali e l'ecologia, attraverso il modello Gaia elaborato dal chimico Lovelock. L'ampiezza della visione storica espressa da questo testo è ben illustrata dalle parole di Ferdinando Abbri, che recensì il testo su *Isis*: «Cerruti has a truly general vision of the history of chemistry that encompasses its various linguistic and political contexts» [1]. Da questo testo emerge l'idea di Chimica che sottende tutta l'opera di Cerruti: una chimica inserita all'interno di un contesto culturale, sociale, produttivo che si modifica, anche grazie alla chimica, e che concorre a modificare la disciplina, estendendola e ramificandola. Uno dei temi-chiave, molto cari all'autore e variamente ripreso dai suoi studi, è la *non neutralità* della scienza (nel libro Cerruti discute il drammatico servizio prestato dai chimici alla guerra); ma altrettanto rilevante nella sua opera è la critica al *mito della oggettività della scienza*, ossia ad un'idea positiva di scienza che purtroppo pare ancora molto radicata nella comunità scientifica, malgrado il suo anacronismo. La riedizione del testo, tredici anni più tardi [9], è frutto di una sostanziale revisione e di un ampliamento della

parte finale, allo scopo di dare conto delle recenti aperture della chimica verso nuovi problemi e verso altre discipline. La sezione conclusiva della riedizione si proietta oltre il XX secolo e colpisce per l'ampiezza dello sguardo, ancora una volta non racchiuso nel recinto della chimica, ma attento a ciò che *succede nel mondo*. Particolare attenzione è prestata ai riflessi della rivoluzione biologica che ha preso forma in questi due decenni del XXI secolo, sul mondo della chimica. Cerruti mostra come la visione complessa, l'interazione sempre più marcata tra chimica e biologia associabile ad una lettura molecolare dei fenomeni vitali, l'apertura verso le problematiche ambientali ed energetiche abbiano contribuito ad ampliare il campo d'azione e di interesse della chimica. Secondo alcune voci critiche, ciò avrebbe determinato una *perdita di identità* disciplinare della chimica. Cerruti era convinto che, al contrario, tale ampliamento fosse un arricchimento e comportasse una sempre maggiore messa in evidenza dell'utilità e dell'efficacia della visione chimica della realtà materiale (la chimica *potente* del titolo), nel solco coerente del riconoscimento della fertilità delle *zone grigie* tra discipline, già analizzate e valorizzate in relazione agli sviluppi intrecciati di chimica e fisica nei *territori di confine* tra fine Ottocento e primi decenni del Novecento [21, 22]. Tuttavia, questa lettura non va intesa in chiave trionfalistica, in quanto è radicata nella consapevolezza storica degli errori e dei danni che un certo uso della chimica ha generato. Da qui un discorso etico che Cerruti ha raramente sviluppato in quanto tale, ma che permea tutto il suo lavoro.

Nella sua lunga carriera, Cerruti ha adottato un approccio di tipo epistemologico alla storia, ma nell'ultima parte della sua vita gli interessi di Cerruti si sono inclinati più decisamente verso la riflessione epistemologica, in una particolare accezione che – insieme a noi collaboratori – decise di designare come *epistemologia applicata*. L'intento era quello di *realizzare una ricerca filosofica che fosse specificamente indirizzata ai chimici sperimentali* e direttamente fruibile da essi. L'idea non era nuova: nella fase iniziale del suo percorso di storico, Cerruti racconta di aver voluto presentare un lavoro storico-epistemologico in un consesso sperimentale. Si era al convegno di chimica dello stato metallico e Cerruti propose uno studio sugli aspetti scientifici ed economici del processo di produzione del nichel messo a punto da Ludwig Mond dopo la sua scoperta del nichel tetracarbonile. L'intento era la partecipazione attiva ai lavori scientifici per portarvi «una maggiore consapevolezza storica ed epistemologica» [7]. L'accoglienza fu gelida. Eppure, quel proposito di sviluppare una riflessione epistemologica a

servizio dei *practitioners* non lo abbandonò mai e rierse in modo netto a fine carriera: «Negli ultimi anni la mia ricerca si è orientata decisamente verso gli aspetti filosofici della chimica, *in particolare ho cercato di mettere in luce i lineamenti epistemologici delle pratiche teoriche e di laboratorio*» [12].

Il desiderio coltivato sin dai primi passi di storico da vita ad una linea di ricerca originale, che fu presentata pubblicamente all'interno del consesso della International Society for the Philosophy of Chemistry: «We declare our interest in undertaking a *philosophical reflection inspired by practical questions*, directly correlated with the research activity of practitioners, aimed at providing them with conceptual tools useful for their own activity in the lab and in the classroom».⁶ Le motivazioni di questa mossa erano radicate nell'intera storia professionale di Cerruti, che aderiva *in toto* a queste considerazioni di Giuseppe Del Re, uno dei grandi padri della filosofia della chimica italiana: «L'importanza di *una specifica filosofia della chimica* non deriva solo dall'ovvio interesse culturale, ma dal fatto che generalmente *le stesse scelte della ricerca scientifica sono ispirate da considerazioni 'metascientifiche'*, cioè presuppongono una riflessione sul programma della disciplina data, e quindi considerazioni che rientrano nella filosofia della scienza».⁷

All'interno di questa prospettiva di ricerca si collocano riflessioni che spaziano da questioni identitarie della

disciplina chimica (quali l'autonomia epistemica della chimica rispetto alla fisica) a lavori focalizzati su concetti fondanti della chimica, quali quello di sostanza, di struttura molecolare, di orbitale, ecc. [11, 24].

Avviandoci a concludere, vorremmo tornare sull'idea – già nominata – di Scienza come *modo-di-essere-nel-mondo* per toccare un ultimo aspetto della visione della scienza secondo Cerruti, ossia il discorso sui valori della scienza. Scrive Cerruti: «Quando Heidegger si pone il problema di definire “un concetto esistenziale della scienza” prende immediatamente le distanze “dal concetto ‘logico’ che considera la scienza nei suoi risultati come un ‘complesso fondato di proposizioni vere, cioè valide’”. Per il filosofo tedesco “*il concetto esistenziale intende la scienza come una modalità dell'esistenza e quindi come un modo di essere-nel-mondo tale da scoprire, o aprire, l'ente o l'essere*” [13, p. 357]» [8].

Aderire a questa visione comporta riconoscere alla scienza stessa un patrimonio di valori che non può essere taciuto. Cerruti ritiene che l'educazione ai valori della scienza sia una necessità didattica, che deve essere temperata innanzi tutto cercando convergenze con i sistemi di valori degli allievi: «Se nell'insegnamento non puntiamo anche ad *interagire col sistema di valori degli allievi*, se cioè non ci muoviamo anche sul piano educativo, le nostre stesse intenzioni didattiche rimarranno sterili» [8]. Ci pare, questa, una visione didattica molto

Tabella 2 – *I valori della scienza* [6].

<i>Parte I: I valori delle scienze visti alla luce della storia e dell'epistemologia</i>	
<i>Valore</i>	<i>Riferimenti descrittivi</i>
Utilitaristico	L'agibilità del mondo
Democratico	La cultura scientifica come fattore di libertà e responsabilità dei cittadini
Politico	La conoscenza scientifica come costruito sociale
Epistemico	Il contenuto di verità delle scienze
Etico	Il pluralismo epistemologico delle pratiche conoscitive
Cognitivo	La ricerca scientifica richiede curiosità, competenza e creatività
Metacognitivo	Bellezza, gioia e potenza della conoscenza
Contemplativo	Bellezza, complessità, unità della natura (che include l'umanità)
<i>Parte II: Un valore della scienza visto dal futuro</i>	
Etico & Politico & ...	L'inviolabilità della natura (che include l'umanità)

⁶ Ghibaudi, Elena, Cerruti Luigi 2017. *Scambio epistolare con Eric Scerri, corrispondenza privata*.

⁷ Giuseppe del Re, appunto del 1984 cit. in [7].

attuale (sebbene poco praticata), che assume particolare rilievo in un momento storico in cui i giovani sono molto sollecitati ai valori del rispetto dell'ambiente e del contrasto al cambiamento climatico, valori sui quali la chimica ha molto da dire.

La Tabella 2 riproduce gli esiti di una riflessione pubblicata sul sito web Minerva (www.minerva.unito.it), creato e costantemente aggiornato da Cerruti, oggi purtroppo non più disponibile. Nell'impossibilità di un commento esteso, ci limitiamo a considerare il valore etico, al quale Cerruti associa la voce *pluralismo epistemologico*. Quest'ultimo ricade nel valore etico perché «Etica è l'accettazione stessa del pluralismo, etico è il baluardo che il pluralismo epistemologico oppone *contro il pensiero unico*» [6], una lezione che oggi suona particolarmente pressante. Altro grande tema presente nella tabella è quello della *inviolabilità della natura*, a proposito della quale Cerruti ricorda che finora non è stato fra i grandi valori degli scienziati e che «costituisce un campo attivo di *ricerca in ecologia, etica e religione che sento intensamente*» [6].

Questo rilievo ci porta all'ultimo aspetto, forse il meno conosciuto, di Cerruti: l'interesse al dialogo tra scienze e religioni. Cerruti era vicino al mondo del buddismo zen e ha prodotto un'ampia pubblicistica su questo tema, che purtroppo rimane sconosciuta ai più. Su iniziativa di Cerruti e di alcuni di noi, nel 2007 a Torino venne costituito un gruppo di studio che riuniva colleghi e studenti dell'università statale e docenti della facoltà teologica torinese: l'obiettivo era per l'appunto esplorare le possibili sinergie tra pensiero scientifico e religioso, alla luce di una convinzione condivisa: «Religioni e scienze possono/debbono collaborare nel *tracciare i percorsi di liberazione – mentale e materiale – agibili dagli uomini di oggi*» [10].

L'esperimento durò due anni, nel corso dei quali ebbero luogo vari incontri che si tenevano nella sala aulica della Biblioteca *G. Ponzio* del dipartimento di Chimica di Torino. I partecipanti erano animati dal desiderio di esplorare un territorio intellettualmente *minato*, mettendo da parte resistenze pregiudiziali e preconcetti, alla ricerca di ciò che poteva unirli. La filosofia del gruppo è ben espressa da questa riflessione: «A scienziati, storici, filosofi e teologi si apriranno buone prospettive di studio se accetteranno che *le pratiche, scientifiche e religiose, non siano meramente l'ombra delle idee, ma il terreno fertile in cui esse germogliano e fioriscono*. Le pratiche delle religioni e delle scienze sono molto diverse fra loro, hanno però una *finalità in comune: la comprensione del mondo-della-vita*. Accomuna le scienze e le religioni an-

che il *sensu di sconvolgente meraviglia* che suscita questo mondo-della-vita» [10].

È proprio sul senso di meraviglia che vorremmo chiedere questa rievocazione. Per farlo, rimandiamo al dipinto del Durer riprodotto in Figura 2. Cerruti amava quest'opera perché la considerava una buona esemplificazione del senso di meraviglia che tutti dovremmo provare davanti alla realtà, anche nei suoi aspetti più semplici: l'universo di una zolla di terra è ricco di forme di vita, di colori che meritano l'attenzione del nostro sguardo, esteriore ed interiore.



Fig. 2. La grande zolla, Albrecht Dürer, 1503.

L'aspetto contemplativo era, per Cerruti, una caratteristica non secondaria della ricerca scientifica, da opporre come contraltare all'aspetto applicativo: «Vale la pena di *rendere più esplicito l'atteggiamento contemplativo*, dato che il suo opposto, l'investigativo, è noto a tutti: si fa ricerca scientifica per trarne un vantaggio, umanitario, tecnologico o economico, per *fruire* del mondo» [6]. Cerruti riteneva che lo sguardo contemplativo avrebbe dovuto essere un'abitudine abituale per chi fa ricerca e lo riteneva essenziale per sviluppare il senso di rispetto e comunanza con tutto ciò che esiste, temi oggi fatti propri dalla riflessione ecologista: «È ciò che conosciamo

della natura e di noi-come-natura che porta a *ritenere che sia un dovere il rispetto ontologico* di un animale (che non può essere ridotto a macchina per produrre carne) o di una valle alpina (che non può essere ridotta ad autostrada con impianti di risalita)» [8].

Questa riflessione finale ci riporta al titolo che abbiamo scelto per il nostro contributo: in che senso la chimica è stata, per Cerruti, occasione di impegno civile? In una duplice accezione, che crediamo di aver esemplificato nella nostra rievocazione: da una parte, *fare chimica* comporta più o meno esplicitamente partecipare ai processi di crescita e di sviluppo di un Paese; dall'altra, il suo modo di fare chimica e storia della chimica è stato vissuto come un *servizio* offerto alla comunità dei chimici, degli insegnanti, e più in generale a tutti coloro interessati alla scienza come espressione di cultura.

La ricerca (prima sperimentale, poi storica ed epistemologica) è stata per Cerruti un modo di vivere, ben prima e ben più che un mestiere. Malgrado le difficoltà della sua carriera accademica e le incomprensioni di cui è stato talora oggetto il suo lavoro, Cerruti è rimasto fedele a questo suo modo di essere fino alla fine dei suoi giorni, senza mai tradire se stesso. Per noi, che abbiamo avuto il privilegio di condividere con lui una parte del cammino, si è trattato di una lezione inestimabile che abbiamo accolto con gratitudine.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Abbri, Ferdinando 2004. *Book review: Luigi Cerruti. Bella e potente: La chimica del Novecento fra scienza e società*, ISIS, 95(4), pp. 712-713.
- [2] Cerruti, Luigi, Fazio Silvana 1976. *Scienziati e crisi della scienza*, De Donato, Bari, p. 240.
- [3] Cerruti, Luigi 1979. *Domande da porre, possibili risposte: prolusione al corso di Storia della chimica* (appunti inediti tratti dall'archivio Cerruti).
- [4] Cerruti, Luigi 1991. Curatela di S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, Palermo, Sellerio.
- [5] Cerruti, Luigi 1994. *L'insegnamento di storia della chimica. Esperienze torinesi 1979-1989*. In: F. Bevilacqua, *Atti del XII Congresso nazionale di Storia della Fisica*, Milano, CNR, pp. 313-322.
- [6] Cerruti, Luigi 1999. *L'educazione ai valori della scienza come pratica ermeneutica*. Pubblicato su www.minerva.unito.it (ora chiuso).
- [7] Cerruti, Luigi 2000. *Habent sua fata libelli*, Prefazione alla ristampa anastatica degli Atti del I convegno del GNSFC di Torino, Accademia dei XL.
- [8] Cerruti, Luigi 2000. *Finalità educative della storia e dell'epistemologia delle scienze*. In: *Insegnanti di qualità. I percorsi di formazione*, Università di Trieste, Trieste, pp. 13-43.
- [9] Cerruti, Luigi 2003 e 2016 (1ª e 2ª edizione). *Bella e potente. La chimica dagli inizi del Novecento ai giorni nostri*, Roma, Editori Riuniti.
- [10] Cerruti, Luigi 2007. *Buddhismo zen e pratica scientifica. Un approccio sostenibile al dialogo fra religione e scienza. Appunti per gruppo di Scienze&religioni, 15 ottobre 2007 (inedito)*.
- [11] Cerruti, Luigi e Ghibaudi Elena 2017. *Chemical substance, material, product, goods, waste: a changing ontology*, Foundations of Chemistry 19, pp. 97-123.
- [12] Cerruti, Luigi 2020. *Atti del Convegno «Il contributo italiano ai linguaggi specialistici delle scienze»*, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Roma, 14 ottobre 2020.
- [13] Heidegger, Martin 1979. *Sein und Zeit*, Niemeyer, Tübingen.
- [14] Husserl, Edmund 1931. *Meditazioni cartesiane*, Bompiani.
- [15] Ieluzzi, Gianmarco, Turco Francesca e Cerruti Luigi 2008. *Leggere le figure I. La semiotica sociale e la comunicazione iconografica*. La Chimica nella Scuola, luglio-settembre 2008, pp. 139-148.
- [16] Marrou, Henry-Irénée 1962. *La conoscenza storica*, Mulino, Bologna, p. 207, cit. in [7].
- [17] Paoloni, Leonello 1983. *Ricerca didattica e formazione degli insegnanti in Italia* – Relazione al seminario internazionale “La ricerca in didattica chimica in Italia e in alcuni Paesi Europei”, Genova 25-26 marzo 1983, organizzato da IRRSAE Liguria e DD-SCI.
- [18] Rocke, Alan J. 1984. *Chemical Atomism in the Nineteenth Century: From Dalton to Cannizzaro*, Ohio State University Press, Columbus.
- [19] Scerri, Eric 2007. *The periodic table: its story and significance*, Oxford University Press, New York.
- [20] Torracca, Eugenio 2016. *Un possibile incontro tra Storia e Didattica della Chimica* in *Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Memorie di Scienze Fisiche e Naturali* 134, Vol. XL, Parte II, pp. 193-201.
- [21] Turco, Francesca, Cerruti Luigi 2001. *Profound and far reaching theoretical implications. La spettrometria di massa di Aston e il suo impatto sulla fisica del nucleo*. In: E. Schettino ed., *Atti del XX Congresso nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia CUEN*, Napoli, pp. 371-422.
- [22] Turco, Francesca, Cerruti Luigi 2008. *To Get Back from Chemistry to Physics. Lord Rayleigh, la chimica e la determinazione dei pesi atomici*. Atti del XXV Congresso Nazionale di Storia della Fisica e dell'Astronomia, SISFA, Milano, C31.1 C31.21.
- [23] Turco, Francesca, Ieluzzi, Gianmarco e Cerruti Luigi 2009. *Leggere le figure II. Chi l'ha visto? L'immagine del laboratorio*. La Chimica nella Scuola, gennaio-marzo 2009, pp. 5-17.
- [24] Villani, Giovanni, Ghibaudi Elena e Cerruti Luigi 2018. *The orbital: a pivotal concept in the relationship between chemistry and physics? A comment to the work by Fortin and coauthors*. Foundations of chemistry, 20, pp. 89-97.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 149-153
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Arrhenius e la dissociazione elettrolitica: una riflessione didattica

ELEONORA AQUILINI* – ANTONIO TESTONI**

* DD-SCI • E.mail: ele.aquilini6@gmail.com

** DD-SCI • E.mail: antonio.testoni55@gmail.com

Abstract – The theory of electrolytic dissociation was first published by Svante Arrhenius in 1887 and concerned the behaviour of acids, bases and salts dissolved in water that spontaneously dissociate into positively and negatively charged ions. It was known from Michael Faraday's experiments that a positive and a negative part of a molecule could migrate respectively to the negative and positive electrodes of the electrolytic cell under the influence of electricity. Arrhenius proposed that electrolytic dissociation could occur spontaneously. The results of the electrical conductivity, as well as the lowering of the freezing point, the osmotic pressure and the lowering of the solvent vapour pressure in solutions will be analysed. The proofs of Arrhenius' conviction and criticisms of his theory are useful in education to understand how the concept of electrolytic dissociation cannot be taken for granted in the teaching of chemistry.

Keywords: ion, electron, electricity, atom, solutions, acids, bases, salts

Riassunto – La teoria della dissociazione elettrolitica fu pubblicata per la prima volta da nel 1887 da Svante Arrhenius e riguarda il comportamento di acidi, basi e sali disciolti in acqua che spontaneamente si dissociano in ioni con carica positiva e negativa. Dagli esperimenti di Michael Faraday era noto che una parte positiva e una parte negativa di una molecola potessero migrare verso gli elettrodi di carica opposta della cella elettrolitica sotto l'influenza dell'elettricità. Arrhenius propose che la dissociazione elettrolitica potesse avvenire spontaneamente. Si analizzeranno i risultati della conduttività elettrica, dell'abbassamento del punto di congelamento, della pressione osmotica e dell'abbassamento della pressione di vapore del solvente nelle soluzioni. Le prove della convinzione di Arrhenius e le critiche alla sua teoria sono utili in campo didattico per comprendere come il concetto della dissociazione elettrolitica non possa essere dato per scontato nell'insegnamento della chimica.

Parole chiave: ione, elettrone, elettricità, atomo, soluzioni, acidi, basi, sali

La teoria della dissociazione elettrolitica è di particolare interesse storico e didattico. Dal punto di vista storico questa teoria è un contributo importante alla definizione della natura dell'elettricità in quanto si colloca temporalmente fra l'intuizione di George Johnstone Stoney alla conferenza di Belfast della British Association del 1874 [1]: «la natura ci presenta nel fenomeno dell'elettrolisi, un'unica quantità definita di elettricità che è indipendente dai particolari

corpi su cui agisce» – nel 1891 [9] chiamò *elettrone* l'unità elementare di elettricità – e la scoperta dell'*elettrone corpuscolo*, costituente i raggi catodici, proposta da Joseph J. Thomson del 1897 [10]. L'esistenza di particelle cariche, indipendenti da un campo elettrico applicato esternamente ha sicuramente contribuito al dibattito sull'esistenza e sulla struttura dell'atomo. Dal punto di vista didattico è importante riflettere sul fatto che la teoria della dissociazione elettrolitica è stata una delle teorie più controverse della storia della chimica e analizzare le prove a favore e contro questa teoria può essere molto istruttivo con gli studenti. Kevin De Berg si pone la domanda: «In che modo esattamente gli episodi storici relativi all'ipotesi di dissociazione dovrebbero figurare nel curriculum? Secondo Kuhn (1993), Driver et al. (2000), l'argomentazione è al centro del pensiero scientifico e in questo senso Kuhn (1993) la considera superiore al *problem solving*. L'argomentazione è infruttuosa, tuttavia, se c'è solo un modello scientifico in discussione. Nel caso della controversia scientifica che circonda il problema della dissoluzione ... predominano due modelli di dissoluzione: il modello di dissociazione e quello di associazione. Questi forniscono una solida base per argomentazioni e contro argomentazioni mentre gli studenti considerano le prove a favore e contro ogni modello» [7].

Nello specifico della teoria della dissociazione elettrolitica di Arrhenius, era già noto dagli esperimenti di Faraday che parti positive e negative di una molecola si muovessero verso gli elettrodi di una cella elettrolitica sotto l'influenza dell'elettricità; Arrhenius però sosteneva che la dissociazione in ioni potesse avvenire spontaneamente senza l'effetto dell'elettricità. Conoscere le prove a sostegno e le obiezioni contrarie, il dibattito che ne è nato e le argomentazioni riportate, contribuiscono a rendere lo studio di questa parte della chimica avvincente e coinvolgente. Riteniamo che queste considerazioni riguardino sia i discenti che i docenti. Infatti nel trattare questo argomento generalmente non si è portati a riflettere sul fatto che non è stato per nulla scontato – e non lo è neppure oggi – capire che il cloruro di sodio si dissocia in acqua negli ioni corrispondenti.

La teoria di dissociazione elettrolitica

Come già detto, dagli esperimenti di Michael Faraday era noto che una parte positiva e una parte negativa di una molecola potessero migrare verso gli elettrodi a carica opposta della cella elettrolitica sotto l'influenza dell'elettricità. La teoria della dissociazione elettrolitica fu pubblicata da Svante Arrhenius nel 1887 e si riferisce al

discioglimento in acqua di acidi, basi e sali che si dividono spontaneamente in ioni carichi positivamente e negativamente [4]. Già nella sua tesi di dottorato del 1884 aveva fatto cenno alla teoria, ma a causa della contrarietà del suo mentore il Professor Teodor Cleve scelse di parlare di parti attive e inattive della molecola. Le prove raccolte da Arrhenius a sostegno della sua teoria sono presenti nella pubblicazione del 1887 e sono poi ampiamente argomentate nel suo libro di testo sull'elettrochimica [5], nella Nobel Lecture del 1903 e nella sua conferenza Silliman a New Haven [6]. I risultati di queste prove sono ben sintetizzate da Kevin De Berg [7] e riguardano esperimenti di conducibilità elettrica, di depressione del punto di congelamento, di pressione osmotica e di abbassamento della pressione di vapore.

La conducibilità elettrica

Il fatto che le soluzioni saline conducano elettricità per Arrhenius era di supporto all'esistenza di specie cariche. Particolarmente significativa era la *relazione fra la conducibilità e il grado di diluizione del sale*.

Man mano che la diluizione aumentava, la conducibilità molare aumentava fino a raggiungere un valore limite. Arrhenius propose che esistesse una parte attiva e una parte inattiva e la proporzione della parte attiva aumentasse con la diluizione secondo lo schema:



A diluizione infinita esistono solo le due specie dissociate e il grado di dissociazione può essere calcolato come il rapporto fra la conduttanza molare a qualsiasi concentrazione e quella a diluizione infinita.

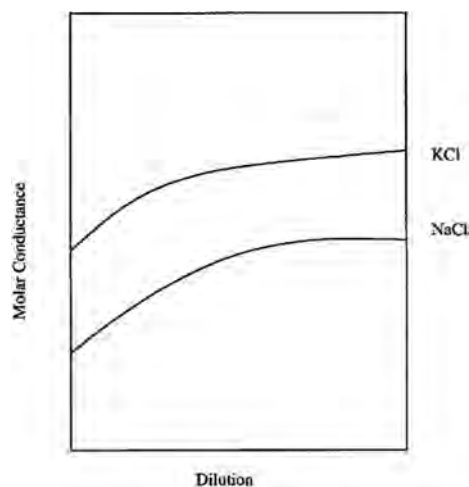
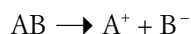


Fig. 1. Forma generale del grafico della conduttanza molare contro la diluizione per due soluzioni saline, NaCl e KCl (nessuna unità di misura indicata da Arrhenius). Tratto da riferimento [7].

Wilhelm Ostwald diede un gran sostegno ad Arrhenius e alle sue idee sulla dissociazione elettrolitica (Legge della diluizione di Ostwald). Nel 1888 applicò la legge dell'equilibrio all'equazione di ionizzazione parziale:



E dedusse che il rapporto $\alpha^2 c / (1-\alpha)$ doveva essere una costante, dove α è il grado di dissociazione e c la concentrazione dell'elettrolita in acqua.

Volume in litres in which one mole of acetic acid is dissolved	Electrical conductivity	K(Equilibrium constant) at 14.1°
0.994	1.27	1.63×10^{-5}
2.02	1.94	1.88×10^{-5}
15.9	5.26	1.76×10^{-5}
18.9	5.63	1.71×10^{-5}
1500	46.6	1.69×10^{-5}
3010	64.8	1.76×10^{-5}
7480	95.1	1.73×10^{-5}
15000	129	1.87×10^{-5}
∞	316	—

Fig. 2. Dati sulla costante di equilibrio per l'acido acetico basati sui risultati di van't Hoff. Tratto da riferimento [7].

Come si evince dalla fig. 2, su una variazione di concentrazione di 15000, i valori della costante cambiano di circa il 14% e non è quindi irragionevole supporre che il rapporto sia effettivamente costante. Questo significa che il grado di dissociazione aumenta con la diluizione.

La depressione del punto di congelamento

Solution in Water (Calculated Molecular Lowering Factor, 18.6)			
Methyl alcohol	17.3	Hydrochloric	39.1
Ethyl alcohol	17.3	Nitric acid	35.8
Glycerol	17.1	Sulphuric acid	38.2
Cane sugar	18.5	Potassium hydroxide	35.3
Formic acid	19.3	Sodium hydroxide	36.2
Phenol	15.5	Potassium chloride	33.6
Acetic acid	19.0	Sodium chloride	35.1
Butyric acid	18.7	Calcium chloride	49.9
Ether	16.6	Barium chloride	48.6
Ammonia	19.9	Potassium nitrate	30.8
Aniline	15.3	Magnesium sulphate	19.2
Oxalic acid	22.9	Copper sulphate	18.0

Fig. 3. Abbassamento molecolare del punto di congelamento per soluzioni in acqua. Risultati ottenuti da Raoult. Tratto da riferimento [7].

Arrhenius studiò i dati di Raoult sull'abbassamento del punto di congelamento. Rispetto a un fattore di abbassamento molecolare calcolato di 18,6 per molecole non dissociate in soluzione, notò che un certo numero di soluzioni davano valori molto diversi da quelli attesi (da 1,66 a 2,10 volte superiori al valore calcolato). Arrhenius attribuì alla dissociazione in ioni gli effetti anomali sul punto di congelamento.

La pressione osmotica

Van't Hoff, contemporaneo di Arrhenius, osservò che la pressione osmotica soddisfaceva un'equazione simile all'equazione del gas ideale con le moli di gas sostituite dalle moli di soluto e il volume del recipiente del gas sostituito dal volume della soluzione. La stessa costante si applicava sia ai gas che alle soluzioni.

$$P = (n/V) RT \quad \pi = c RT$$

Le soluzioni saline come il cloruro di sodio davano pressioni osmotiche quasi doppie rispetto a quelle previste e Arrhenius notò che questo poteva essere spiegato sulla base della dissociazione ionica.

Arrhenius nel suo libro del 1902 utilizzò i risultati di De Vries del 1888 riguardanti i coefficienti isotonici, che rappresentano le concentrazioni di soluzioni richieste per pressioni osmotiche uguali basate su un valore di 3 per il nitrato di potassio. Una soluzione di 3 mol/L di glicerolo avrebbe la stessa pressione osmotica di una soluzione di nitrato di potassio contenente 1,78 mol/L.

Substance	Isotonic coefficient
Glycerol	1.78
Glucose	1.88
Cane sugar	1.81
Malic acid	1.98
Tartaric acid	2.02
Citric acid	2.02
Magnesium sulphate	1.96
Potassium nitrate	3.00
Potassium chloride	3.00
Sodium chloride	3.00
Potassium iodide	3.04
Sodium nitrate	3.00
Sodium iodide	2.90
Sodium bromide	3.05
Potassium acetate	2.85
Potassium bromide	3.05
Potassium sulphate	3.90
Calcium chloride	4.05
Potassium citrate	4.74

Fig. 4. Coefficienti isotonici per differenti soluzioni, assumendo valore 3 per la soluzione di nitrato di potassio. Tratto da riferimento [7].

L'abbassamento della Pressione di vapore

<i>Substance</i>	<i>Vapour pressure (mm Hg) lowering for 0.5 moles in 1000 grams of water</i>
Calculated value (no dissociation)	6.8
Potassium chloride, KCl	12.2
Sodium chloride, NaCl	12.3
Potassium hydroxide, KOH	15.0
Aluminium chloride, AlCl ₃	22.5
Calcium chloride, CaCl ₂	17.0
Sodium sulphate, Na ₂ SO ₄	12.6
Succinic acid, C ₄ H ₆ O ₄	6.2
Citric acid, C ₆ H ₈ O ₇	7.9
Lactic acid, C ₃ H ₆ O ₃	6.5
Boric acid, B(OH) ₃	6.0
Sulphuric acid, H ₂ SO ₄	12.9

Fig. 5. Abbassamento della pressione di vapore (mmHg) per 0,5 moli di sostanza dissolta in 1000 g di acqua. Tratto da riferimento [7].

Nella tabella riportata da Arrhenius nel 1902 [5] sali monovalenti abbassano la pressione di vapore di quasi il doppio rispetto a ciò che ci aspetterebbe senza dissociazione, e sali trivalenti come ad esempio CaCl₂ la abbassano di circa 2,5 volte.

Arrhenius, Ostwald e van't Hoff si convinsero che tutte le proprietà citate (conducibilità elettrica, depressione del punto di congelamento, pressione osmotica, abbassamento della pressione di vapore) dipendessero dalla dissociazione parziale in ioni.

Altre proprietà come ad esempio il calore di neutralizzazione acido/base (quantità equivalenti di calore indipendenti dall'entità dell'acido e della base), venivano considerate importanti per giustificare l'ipotesi della dissociazione elettrolitica.

In generale si notava in queste proprietà una dipendenza dal *numero di specie* in soluzione.

Le critiche alla teoria di Arrhenius

Le obiezioni alla teoria della dissociazione elettrolitica, come sintetizzato da De Berg [7], riguardavano principalmente l'esistenza degli ioni di carica opposta in soluzione che avrebbero dovuto in qualche modo di ricombinarsi. Scrive E.F. Herroun nel 1896 «Perché gli ioni, se liberi di muoversi sotto l'influenza di forze elettriche esterne, non si attraggono con forze immense se sono carichi di tali enormi quantità di elettricità positiva e negativa... da dove hanno preso queste cariche in primo luogo?» E Pickering si chiede:

«Possono gli atomi, per esempio il cloro e l'idrogeno, uniti così saldamente insieme, volare via spaventati l'uno dall'altro al solo avvicinarsi di alcune molecole d'acqua, che sono rappresentate come più o meno inerti e prive di qualsiasi forte attrazione per gli atomi dissociati? (Possono questi atomi) così fortemente carichi di elettricità di segno opposto, vagare nel liquido con un supremo disprezzo per i loro precedenti associati e le cariche attrattive che essi portano?»

Del resto Armstrong nel 1896 [2] aveva chiamato la nuova teoria «l'ipotesi non sensata della dissociazione ionica» (che asserisce che il cloruro di idrogeno e alcuni altri composti cadano a pezzi quando si dissolvono in acqua). L'idea di Armstrong (1896) e Pickering (1897) era che la soluzione riguardasse *un fenomeno di associazione con l'acqua piuttosto che un fenomeno di dissociazione in ioni*.

Le proprietà della pressione di vapore, del punto di congelamento e dell'osmosi erano imputabili al numero di molecole di «idrone» libero (H₂O). Quindi la depressione della pressione di vapore era dovuta ad un minor numero di molecole di idrone libere disponibili nel liquido.

Nel caso della soluzione con acido cloridrico, secondo Armstrong, una molecola di HCl immobilizza due molecole d'acqua, con conseguente abbassamento della pressione di vapore.

Il ruolo del solvente era quindi considerato diverso dagli oppositori della teoria della dissociazione in ioni. Armstrong tuttavia rivendicava correttamente il ruolo dell'acqua nel processo di soluzione.

È interessante la posizione di W. Dampier Whetham:

«La dissociazione degli ioni l'uno dall'altro non vieta l'ipotesi che gli ioni siano legati ad una o più molecole di solvente». Armstrong fu critico nei confronti di questa posizione considerata diplomatica e di compromesso.

L'idratazione degli ioni forniva un modo per conciliare le due teorie e un motivo per giustificare la dissociazione elettrolitica di un sale.

È curioso come Armstrong mise in discussione l'uso della misurazione fisica e delle formule chimiche derivate dagli esperimenti in una disciplina come la chimica.

Armstrong nel 1928, citando Sir Oliver Lodge, disse che «i chimici si sono lasciati ingannare da un'infarinatura di quasi matematica e da un eccesso di formule empiriche» e dice lui stesso che «il chimico fisico non è stato né chimico, né fisico nel cuore. La mutazione da chimico a chimico fisico sembra aver certamente comportato la perdita del fattore primario della chimica: il sentimento chimico» E che Pickering (verso la fine della sua

carriera) «cadde vittima della malattia moderna, la misurazione fisica, inevitabile, senza dubbio, come il morbillo» [3].

Armstrong rimase un acerrimo oppositore anche quando W.L. Bragg pubblicò i risultati del suo studio a raggi X del cloruro di sodio e concluse che non esistevano molecole di cloruro di sodio, NaCl, ma invece gli ioni sodio e cloruro erano distribuiti a scacchiera in un reticolo tridimensionale, Armstrong nel 1927 concluse che questo modello «è ripugnante al senso comune, assurdo all'ennesima potenza... La chimica non è né scacchi, né geometria, qualunque sia la fisica dei raggi X».

Il modello di Bragg dava grande sostegno alla teoria della dissociazione ionica, poiché si poteva concludere che gli ioni esistevano già nel solido e il processo di soluzione li separava semplicemente.

Conclusioni

De Berg nel 2004 [8] ha citato proprio l'esempio della storia della dissociazione elettrolitica, per illustrare la differenza fra la storia della scienza e il suo utilizzo nell'insegnamento. Ha chiamato *storia pedagogica* la contestualizzazione storica che permette di capire lo sviluppo delle idee scientifiche.

«Una storia pedagogica si differenzia dai casi di storia della scienza (HOS) pubblicati da Klopfer ... in quanto include informazioni relative all'insegnamento e all'apprendimento di un particolare concetto tratte dalla letteratura di ricerca. Lo scopo dello sviluppo di una storia pedagogica di un concetto chimico è quello di mostrare agli studenti come un'idea chimica sia stata sviluppata da informazioni rudimentali a un concetto sostanziale, utilizzando importanti informazioni sulle concezioni alternative che gli studenti hanno dimostrato di possedere

e combinandole con importanti considerazioni storiche e filosofiche tratte dalla letteratura. La storia e la filosofia sono state concepite per ridare vita a ciò che Norman Robert Campbell (1953) ha definito «le ossa secche della conoscenza da cui è partito il respiro». La conoscenza di concezioni alternative ha lo scopo di aiutare gli studenti a passare da quelle che spesso sono conoscenze di senso comune a conoscenze scientifiche».

BIBLIOGRAFIA

- [1] ARABATZIS Theodore, 1996, 'Rethinking the discovery of electrons', *Hist. Phil. Mod. Phys.* **27**, 4, 405-435.
- [2] ARMSTRONG Henry E., 1896, 'Letters to the Editor', *Nature* **55**, no. 1413, 78-79.
- [3] ARMSTRONG Henry E., 1928, 'The nature of Solutions', *Nature* **121**, no. 3037, 48-51.
- [4] ARRHENIUS Svante, 1887, 'Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe', *Zeitschrift für Physicalische Chemie* **1**, 631-648.
- [5] ARRHENIUS Svante, 1902, *Textbook of Electrochemistry* (translated by John McCrae), Longmans, London.
- [6] ARRHENIUS Svante, 1912, 'Electrolytic Dissociation', *Journal of the American Chemical Society* **XXXIV**, 353-364.
- [7] DE BERG Kevin C., 2003, 'The Development of the Theory of Electrolytic Dissociation-A Case Study of a Scientific Controversy and the Changing Nature of Chemistry', *Science & Education* **12**, 397-419.
- [8] DE BERG Kevin C., 2004, 'The Development and Use of a Pedagogical History for a Key Chemical Idea: the Case of Ions in Solution', *Australian Journal of Education in Chemistry* **64**, 16-19.
- [9] O'HARA James G., 1975, 'George Johnstone Stoney, F.R.S., and the Concept of the Electron', *Notes and Records of the Royal Society of London* **29**, 265-276.
- [10] THOMSON Joseph J., 1897, 'Cathode Rays', *Proceedings of the Royal Institution* **15**, 419-432.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 155-161
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

Una critica all'insegnamento dell'ottuagenario Ugo Schiff

MARCO FONTANI* – MARIAGRAZIA COSTA* – MARY VIRGINIA ORNA**
MATTEO PAOLIERI***

* Dipartimento di Chimica “Ugo Schiff”, Università degli Studi di Firenze, Sesto Fiorentino (FI) • E.mail: marco.fontani@unifi.it

** College of New Rochelle, New York, USA • E.mail: maryvirginiaorna@gmail.com

*** Department für Chemie, Universität zu Köln • E.mail: matpaolieri@gmail.com

Abstract – This paper deals with Chemistry students’ initiatives at the University of Florence during a decade of hidebound and reactionary times (1915-1925). A great change was in the offing: huge challenges that the whole society in Italy was called upon to tackle. By means of their directness, students would be shown as the unique beam of light in the tawdry years of political censorship.

Keywords: Ugo Schiff, student initiatives, freedom of expression and other fundamental values

Riassunto – Alcune lettere di studenti di chimica ci forniscono un ritratto inedito di un luminaire della chimica: Ugo Schiff (1834-1915). Lontane dal formalismo retorico e ampolloso dei docenti, ci fanno meglio comprendere chi fosse questo gigante della chimica, e al tempo stesso come egli e la sua professionalità fossero viste dagli studenti. Alternando un tono a volte ossequioso a volte ruvido, i giovani mettono all’attenzione dei vertici dell’Università un’incontestabile verità: affinché vi sia progresso scientifico è necessario un costante ricambio generazionale.

Parole chiave: Ugo Schiff, iniziativa studentesca, Istituto Superiore di Studi Pratici e di Perfezionamento di Firenze

Una vecchia e nuova istituzione universitaria

L’Università di Firenze è un’Istituzione giovane, nata nel 1924, meno di 100 anni fa. L’atto di nascita, sancito dalla volontà fascista di fare di Firenze vetrina del regime e della sua Università una sorta di proprietà intellettuale [18], rendono queste origini assai poco gloriose. Eppure la “prima” università di Firenze era nata sei secoli prima, più precisamente l’anno della morte di Dante Alighieri (1265-1321). Nel 1473 lo *Studium Generale* fu trasferito a Pisa, ad opera di Lorenzo il Magnifico, ed accorpato alla locale Università: infatti, tra gli oligarchi fiorentini e le giovani matricole si erano creati attriti. Fu così stabilito che i due centri non potessero coabitare nella città di Firenze e così l’uni-

versità fiorentina fu chiusa. Firenze rimase orfana della sua università per quattro secoli quando, nel 1859, il barone Bettino Ricasoli (1809-1880) creò una sorta di super università toscana: l'Istituto Superiore di Studi Pratici e di Perfezionamento.

Era un ente scolastico privato, egualmente finanziato da enti locali (Comune, Provincia) e da strutture private, come la Cassa di Risparmio di Firenze e altre società. Questa *entente cordiale* tra pubblico e privato andò avanti fino al termine della Prima guerra mondiale, quando la forte svalutazione monetaria dissestò il bilancio dell'Istituto. Il fascismo colse l'occasione per appropriarsi della prestigiosa istituzione e trasformarla nell'Università di Firenze.

La storia che ci proponiamo di narrare si svolge nell'ultimo decennio di vita dell'Istituto Superiore di Studi Pratici e di Perfezionamento: anni di grandi cambiamenti nell'agonizzante stato liberale, che impallidiscono se paragonati agli sconvolgimenti sociali del secondo dopoguerra, ma comunque mutamenti epocali per la società fiorentina, conservatrice e un po' bigotta di inizio secolo.

Un primo sussulto studentesco

Nel tardo inverno del 1915, alla vigilia dell'ingresso del Regno d'Italia nella Prima guerra mondiale, sedeva sul trono della chimica fiorentina – si può proprio dire così – il vecchio Ugo Schiff, carico di onori e di anni, ma non solo: Schiff era carico anche di acciacchi. Con i suoi ottantuno anni appena compiuti era il decano dei chimici. Era tarchiato e curvo [13], il viso era incorniciato da una folta barba incolta e da capelli bianchissimi, anch'essi scomposti. Questa era la moda, ma Schiff era un uomo del secolo precedente e soprattutto di quel secolo conservava idee e modi. Era un uomo che sopravviveva anacronisticamente a sé stesso. Le foto che lo ritraggono nel 1915 sono impietose. Non era mai stato alto, nemmeno da giovane, ma adesso, anziano, era davvero piccolo. La sua proverbiale animosità [11] era fiaccata della vecchiaia: nei giovani studenti non incuteva più soggezione, e anche il reciproco rispetto era scarso. Non che ce ne fosse mai stato molto. Accademici [15] hanno scritto la sua agiografia [2, 19, 30], mentre gli studenti hanno tramandato un ricordo per certi aspetti molto più livoroso [1]. Un episodio in tal senso avvenuto negli anni '70 del XIX secolo, ben ci introduce nel complesso rapporto tra Schiff e gli studenti, quando egli viveva ed insegnava a Torino. Rientrando a casa, a sera inoltrata, fu raggiunto sull'uscio da alcuni discenti insoddisfatti

che lo incappuciarono e lo bastonarono sonoramente. In seguito a questo episodio, il professore chiese ed ottenne il trasferimento a Firenze. Lì il rapporto tra docente e discenti non fu mai idilliaco, ma certamente le cose andarono meglio.

Con l'approssimarsi della vecchiaia e del pensionamento per raggiunti limiti di età, egli era stato salutato con un giubileo scientifico. Furono programmati grandi festeggiamenti per il suo settantesimo compleanno, tra colleghi che lo omaggiavano, e studenti che lo veneravano. I chimici più illustri, sparsi in tutto il mondo, salutarono lo scopritore delle *basi di Schiff*.

Ugo Schiff non apprezzò questa piaggeria. Era fatto così. Forse sarebbe andato di buon grado in pensione, anche se non era uomo di casa, se il suo braccio destro ed erede, Augusto Piccini (1854-1905), non fosse morto di lì a pochi mesi.

L'infezione seguita all'asportazione di un dente sottrasse repentinamente Piccini al mondo dei vivi e privò Schiff del suo delfino [12]; la cattedra di chimica generale restò mutila di un promettente ricercatore; i discenti rimasero orfani di un brillante insegnante. Va da sé che Schiff scrisse al Ministero e ottenne il permesso di rimanere in cattedra *sine die*. Non avendo figli propri, nella mente del chimico tedesco albergava il recondito desiderio di avere almeno un erede nella cattedra di chimica. Schiff sarebbe rimasto al timone della chimica fiorentina fino a che non “avesse trovato” un degno sostituto. Nel corso degli anni si attornì di valenti giovani, ma per una ragione o per l'altra nessuno fu in grado di rimanergli accanto. Nell'autunno del 1909 il dottor Luigi Marino, senza informare nessuno, abbandonò la libera docenza a fianco del Maestro: era passato all'Università di Pisa. Il due gennaio 1910, con calligrafia incerta, Schiff annota su un biglietto che il dottor Gino Abati sarebbe andato a sostituire il dimissionario Marino. Anche questa scelta non sarà definitiva né soddisferà lo Schiff. Schiff rimane in cattedra, Abati si eclissa. Nel settembre 1911 l'affiancamento nel corso di chimica generale passa al dottor Arrigo Linari, ma anche la sua permanenza non fu lunga. Nel 1911 transita come una meteora il dottor V. Menabuoni. Incaricato del ruolo di assistente, una mattina si presenta allo Schiff informandolo che l'indomani avrebbe preso servizio presso un'industria e se ne va. Schiff annota: “... abbandonò il laboratorio senza nemmeno preparare la lezione del giorno” [9]. A Schiff non resta che la stizzita soddisfazione di vergare una lettera all'Amministrazione per bloccargli il pagamento dello stipendio.

Successivamente lo sguardo di Schiff si posò sul conterraneo tedesco Mario Mayer,¹ ma i giovani studenti guardarono male questa scelta, giudicandola sciovinista. Uno di essi, Pietro Saccardi (1889-1981), futuro Rettore dell'Università di Camerino, annotò nelle sue memorie che al Mayer era stato appioppato il nomignolo di “cocchino” [28]. Nel 1913 la Segreteria dell'Istituto di Studi Pratici e di Perfezionamento incalza il cavalier Schiff per il rinnovo dell'incarico a Mayer. I tempi per le pratiche al Ministero prevedono mesi di decantazione. Il sollecito servirebbe a destare il buon vecchio della chimica, ma Schiff non risponde all'appello. Così Mayer non viene riconfermato ed esce di scena. Saccardi nelle sue memorie allude, con malcelato dispiacere, che il “cocchino del professore”, tanto invisibile agli studenti, fosse tubercolotico e non fosse stato riconfermato in quanto in procinto di morire. Quest'ultima notizia non trova conferma. Infatti, in un documento dell'archivio del Senato Accademico [4], il Soprintendente Marchese Filippo Torrigiani (1851-1924), informa lo Schiff che Mayer ha offerto le sue dimissioni dall'ufficio di Assistente. Anche se Mayer probabilmente non morì di tubercolosi, Schiff rimase per l'ennesima volta senza un assistente e la “successione apostolica” sarebbe stata a forte rischio.

Nel 1915, undici anni dopo il giubileo scientifico, gli studenti non erano più benevoli nei confronti del Maestro. Lo scienziato si era trasformato in una obsoleta icona del passato. Il suo intelletto si stava fiaccando di pari passo con l'appassire della salute fisica. Intorno ai sessant'anni fu investito da un barroccio e per poco non fece la brutta fine di Pierre Curie (1859-1906). Da allora la sua salute andò lentamente deteriorandosi. I primi sintomi di una grave disfunzione renale fecero la loro comparsa poco dopo. Anche la deambulazione si rese sempre più incerta: negli ultimi tempi un inserviente lo trasportava – dal viale Milton dove abitava, a via Gino Cap-



Fig. 1. Una delle ultime immagini di Ugo Schiff, 1915 circa. Ugo Schiff viene accompagnato a casa, su una sedia a rotelle, dopo aver tenuto una lezione agli studenti, per gentile cortesia del professor Ginetto Olivieri Passeri.

poni dove insegnava – con l'ausilio di una delle prime sedie a rotelle (Fig. 1). Al problema della salute fisica si affiancò quello della lucidità mentale, particolare che non passò inosservato ai discendenti. Schiff ottuagenario, non era più lo Schiff di prima? Secondo gli studenti era proprio così.

Il 5 marzo 1915, quindici studenti di chimica presero carta e calamaio e scrissero [6] al Preside della Facoltà di Scienze, Senatore Professor Giulio Fano (1856-1930):

“Illustrissimo Signor Preside della Facoltà di Scienze,

Voglia scusarci se ci permettiamo di pregarla a rivolgere la Sua attenzione all'insegnamento della Chimica Generale, quale ci è impartito dal Professore Ugo Schiff. Siamo lieti anche noi di avere la fortuna di udire uno scienziato che ha avuto tanta parte, per oltre sessant'anni, ai progressi della Chimica, e lo veneriamo profondamente. Ma ci sembra che forse, in conseguenza dell'avanzata età, il Suo insegnamento non serva ormai ad indirizzarci in questi Studi, poiché egli si estende oltre i limiti delle notizie sto-

¹ Mayer Mario di Paolo e Agatha Wiest, nato il 22 aprile 1888, risulta registrato nel Comune di Firenze il 13.4.1910 con provenienza Napoli. Mario Mayer risulta assistente alla cattedra di chimica, nonché sposato con Valentina Borri il 2 marzo 1914. Il 23 marzo 1915 Mario Mayer e la moglie emigrano per Milano; il primo marzo 1916, a Milano, nasce il figlio Lorenzo Paolo Mayer. Il 16 gennaio 1920, quando Valentina Borri si iscrive nuovamente nel Comune di Firenze, risulta vedova dal 27 ottobre 1917. Nelle “Liste di leva” è riportata l'annotazione, in data 6.4.1916, la sua assegnazione alla “terza categoria” (i coscritti aventi particolari situazioni familiari o di salute che, opportunamente documentate e vagliate dal Consiglio di Leva, potevano far ottenere all'interessato l'esonero); comunicazione dell'Archivio storico del comune di Firenze agli Autori in data 11.08.2021. Foglio di famiglia (annullati n. 71703).

riche, mentre trascura le teorie più moderne, gli esperimenti, ecc. ecc.

Noi speriamo, illustre Signor Preside, di non sembrarLe troppo audaci sottoponendoLe queste osservazioni; e se Ella le trovasse giuste, non per questo deve supporre che noi affrettiamo la sostituzione del Prof. Schiff, noi vorremmo soltanto che Gli fosse dato un coadiutore che potesse sollevarlo d'una parte della fatica che gli è ormai troppo grave.

Con rispettoso ossequio ci confermiamo Devotissimi, Firmato: Agostini Paolo – Boaniuti Evelina – Baciocchi del Turco Mario – Bagnis (?) Mario – Maria Carrozza – Cantini Bruno- Ciasca Angelo – De Felice Enrico – Franceschi Ariberto – Lydia Lurini – Lelli Carlo – Marchi Mario – Paoli Pietro – Antonio Scortecci – Farneti Anita”

Tre giorni dopo il Preside di Facoltà redasse una missiva per il Soprintendente² del R. Istituto di Studi Superiori, alla quale accluse la petizione studentesca [5]. Le rimostranze degli studenti erano contenute nei toni, ma ferme nel contenuto. Fano, che forse era a conoscenza dei molteplici impedimenti dello Schiff, non gli risparmiò il decisivo affondo:

“Illustrissimo Signor Soprintendente!

Gli studenti di Chimica mi hanno fatto pervenire la lettera che le includo e che riguarda l'insegnamento della Chimica generale impartito dal Prof. Schiff. Vorrei conoscere in proposito il Suo parere, poiché mentre sento tutti i riguardi che si debbono al mio illustre e venerato Collega non posso disconoscere che quanto affermano gli studenti è vero almeno per quanto riguarda la grave età e le condizioni fisiche del Prof. Schiff.

Egli è ammirevole per la sua resistenza morale, ma neppure con essa si possono far miracoli.

Mi abbia, Signor Soprintendente

Suo devotissimo

Firmato : Giulio Fano”

Secondo quanto è stato tramandato oralmente, fu stabilito che Schiff sarebbe stato messo definitivamente a riposo a partire dell'anno accademico 1915-16.

Il 26 aprile del 1915 il dottor Passante [24] fissa su nitrato di argento un particolare istante: l'ultima lezione di Ugo Schiff. La più celebre e abusata immagine del chimico tedesco, mentre è intento ad offrire agli studenti

una lezione pratica di chimica generale, cela l'amaro futuro che attenderà il gran barone: l'addio. Esistono altre fotografie risalenti a quel periodo: ora assistito da Mario Betti (1875-1942) ora da Guido Cusmano (1882-1956). In nessuna Schiff mostra lo sguardo all'obiettivo. Non ha più lo sguardo fiero degli anni andati; non più gli occhi puntati con maestosa alterigia verso l'ipotetico pubblico dietro alla macchina fotografica. L'immagine più nota appare artificiosa, progettata per dare al pubblico l'effetto desiderato: la chimica è sinonimo di grandezza di pensiero e capacità di creazione. Lo spazio sulla lavagna che possiamo definire come “la teoria chimica” è ben ordinato: si scorgono i derivati del benzene, la cui struttura era stata proposta dall'amico August Kekulé (1829-1896); la scrittura delle cifre è impeccabile, perché la chimica è una scienza ponderale basata sul numero; il bancone è affollatissimo di bottiglie: ventinove tra storte, vasetti e recipienti con tappi a smeriglio o con pipetta; per non contare le sei provette vuote e le spatole in vetro. Infinitamente troppe per una qualsiasi lezione. In particolare, Schiff si trova al centro del suo mondo, e pare intento a saggiare una sostanza alla fiamma (peraltro spenta) di un bruciatore di tipo Bunsen. In questa foto si scorge il desiderio di immortalare tutta la chimica in un solo scatto (Fig. 2).

Sotto certi aspetti, l'ultima lezione del “libero pensatore” fu particolarmente amara: un'uscita di scena senza possibilità di ritorno. Di lì a pochi giorni l'Italia avrebbe dichiarato guerra all'Austria-Ungheria e nel contorto immaginario collettivo del tempo, questi nemici erano gli stessi che insidiavano il nostro mondo dai tempi di Giulio Cesare: per traslato gli austriaci erano tedeschi, e Schiff era veramente tedesco. Il battagliero chimico di Gottinga finì per essere percepito come un alieno. In quello stesso anno si spense nell'ospedale di Napoli il nipote Mario Schiff (1868-1915). Mario – alla stregua del Mayer per il quale erano state messe in giro delle voci infamanti – morì in età relativamente giovane, consunto dalla tubercolosi. Il giovane Schiff era stato docente di letteratura francese nello stesso Regio Istituto e quindi collega dello zio. Il dolore per la perdita del nipote straziò l'animo del vecchio Ugo Schiff e forse contribuì ad accorciarne l'esistenza terrena. Ugo Schiff morì poco dopo, l'otto settembre 1915 e fu inumato per suo volere, con un servizio funebre di terza classe. Andò a riposare in un loculo che si era comprato da tempo al cimitero di Trespiano davanti al tempio crematorio, che da non credente aveva progettato e del quale fece coerentemente buon uso.

Tornando alla petizione, Schiff forse non fu a conoscenza di questa azione che senz'altro avrebbe bollato

² Figura corrispondente all'odierna carica di Rettore.

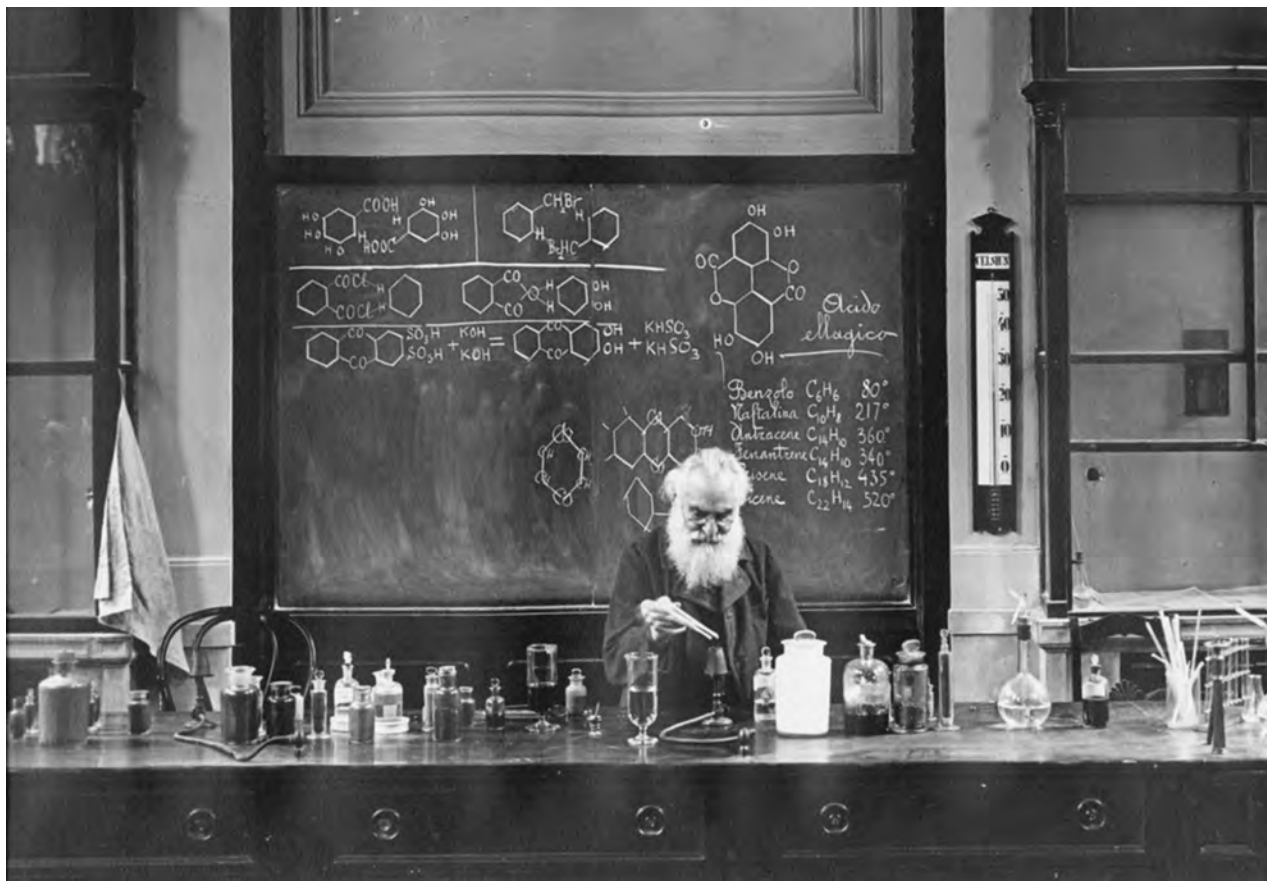


Fig. 2. La celebre “ultima lezione di Ugo Schiff”, tenuta il 26 aprile 1915 nell’aula Magna di Chimica. Con molta probabilità la foto risalirebbe a circa 10 anni prima. Proprietà di uno degli autori.

come “fronda studentesca”. Anche se i suoi studenti non avessero sollevato la delicata questione, causando una accelerazione della sua uscita di scena, il tramonto sarebbe stato inevitabile. Molti dei suoi giovani allievi avrebbero presto indossato giubbe e mollettieri di panno verde; sarebbero rimasti tre anni aggrappati alle montagne del Trentino o trincerati nelle gogaie del Carso, mentre le loro esistenze restavano appese ad un filo.

Cosa ne fu dei firmatari della petizione? Le notizie a loro riguardo sono assai modeste. Delle donne non v’è traccia, eccetto che per Lydia Lurini³, messe in ombra forse dal cognome del coniuge [29], forse escluse per

³ Lidia Lurini (talvolta riportata come Lydia) vinse prima un concorso per insegnante di scienze nelle scuole medie, *Gazzetta Ufficiale* del 4 aprile 1927 parte prima, 1439; successivamente si qualificò in concorso per l’insegnamento di chimica nei licei, *Gazzetta Ufficiale* del 30 agosto 1927, parte prima, 3301. Lurini Lidia era nata il 30 settembre 1896 a Savona. Sposò il celebre zoologo Scortecchi Giuseppe (1898-1973) nel 1927 dal quale, nel 1931, ebbe il figlio Vieri.

“genere” della carriera accademica. Per loro è stato impossibile trovare un benché minimo riscontro. Degli uomini le notizie sono scarse ma presenti. Franceschi Ariberto, nato a Firenze il 3 giugno 1894 fu arruolato come Tenente di complemento nel 3° reggimento Alpini. Morì il dieci dicembre 1917, in prigionia, per le ferite riportate in combattimento. Fu decorato con due medaglie d’argento al valor militare [6A] ed il primo luglio 1919 gli fu concessa, postuma, la laurea *ad honorem* [5]. Scortecchi, Lelli⁴ e Agostini⁵ superarono indenni la Grande

⁴ Nato a Viareggio (Lucca) l’otto giugno 1894 da Alfredo ed Ersilia Soldani.

⁵ Nato a Roma il 7 ottobre 1895, si laureò in chimica a Firenze, allievo di Nicola Parravano. Lavorò per breve tempo nell’industria, quindi tornò col Parravano e fu professore incaricato di chimica analitica nell’università di Roma. Svolse indagini sulla corrosione del ferro, sulla stabilità di alcuni sali doppi e complessi, e altre, fra cui rivestono particolare importanza quelle di chimica analitica. Scrisse un manuale che ebbe ampia diffusione, “Guida all’analisi chimica qualitativa” (Roma 1941). Morì a Firenze il 3 agosto 1938.

Guerra. Gli ultimi due divennero chimici analitici. In particolare Carlo Lelli ebbe modo di andare a Tripoli e sperimentò un ingegnoso processo per estrarre potassio dalle acque marine [17]. Antonio Scortecchi (1895-1938) fu il più fortunato dal punto di vista accademico [7]. Notato da Nicola Parravano (1883-1938), successore di Schiff a Firenze, si specializzò in metallurgia e collaborò con il nuovo mentore per una decina di anni [21-23]. Scortecchi fu scientificamente attivo fino alla seconda metà degli anni sessanta, interessandosi di magnetismo degli acciai sottoposti a stress meccanici e ossidativi [26, 27]. La successione alla cattedra dello Schiff comprenderà nomi altisonanti [10, 14, 16] ma la ricerca apparirà scolorita se confrontata alle mirabili scoperte del fondatore.

Conclusioni

La lettera aperta degli studenti del 1915 fu la prima di una serie di iniziative che investirono dal basso l'Ateneo fiorentino. Resta forse una dell'espressioni più genuine nel mondo eburneo e ingessato come quello universitario. Per quel poco che ci è dato sapere, i firmatari della petizione al Preside di Facoltà erano eterogenei sia per genere, che per estrazione sociale; alcuni studenti ricevevano il sussidio di indigenza dal comune di Firenze, mentre il conte Mario Baciocchi Adorno Rosselli del Turco (1894-1965) era un ricco possidente [8]. Inoltre i firmatari non erano studenti del primo anno, ma vi erano altresì studenti del terzo, del quarto ed una studentessa fuori corso.

Una missiva del 19 maggio 1915 illustra come l'iniziativa degli studenti fosse ben vista da alcune alte gerarchie e forse per questo motivo abbia avuto *iter* facilitato. Il sindaco di Firenze nonché ordinario di fisica presso il medesimo Istituto di Schiff, Antonio Garbasso (1871-1933), così scriveva a Nicola Parravano [3]:

Caro Parravano,

stamattina il professor Schiff ha presentato la domanda di collocamento a riposo. Viva la guerra! Perché se non c'era la guerra il bastimento sarebbe rimasto sullo scalo.

Saluti cordialissimi dal tuo

Garbasso

Parravano fu il maggior beneficiario del pensionamento dello Schiff al quale subentrò nel giro di pochi mesi. Il risentimento di Garbasso, forse è attribuibile ad una costante animosità che Schiff aveva manifestato nei confronti dei colleghi fisici. Ciò non toglie che nel mo-

mento di scalzare Schiff i due uomini colsero l'innegabile vantaggio che si prospetta loro in termini di carriera.

Non si ebbero cariatidi con le sembianze del defunto e le si posero su pioli di marmo, estrema sintesi degli scherzi crudeli, che si possono fare al ricordo d'un galantuomo [20]. Un modesto busto in gesso recante la sua effigie fu realizzato alla chetichella e verniciato di nero per conferirgli un'arcana autorevolezza. Ma anche il busto ebbe poca fortuna. Secondo alcuni andò distrutto durante l'alluvione di Firenze del 1966. Secondo altre voci fu accidentalmente frantumato durante l'occupazione studentesca dell'Ateneo nel 1988-89. Tuttavia, alcuni storici della chimica non credono che il busto sia andato perduto e lo cercano ancora.

L'anno nel quale morì Ugo Schiff terminarono anche i giorni felici della chimica e della libera ricerca, che aveva deliziato le menti di molti giovani. La chimica avrebbe perso da lì a poco la sua libertà, mutandosi unicamente in "forza produttrice". Non solo, avrebbe perso anche la sua dignità, sintetizzando i gas asfissianti. La chimica divenne una "scienza ricca", lautamente finanziata dal Ministero della Guerra e da varie industrie, ma al contempo schiava e velata dalla segretezza. Se Schiff fosse sopravvissuto alla guerra, da buon socialista [25] e convinto pacifista, non crediamo che avrebbe continuato ad amarla come prima.

Ringraziamenti

Questo lavoro non avrebbe visto la luce senza il contributo del personale della Biblioteca del Polo Scientifico dell'Università di Firenze. Gli autori ringraziano inoltre il professor Franco Calascibetta, Presidente del Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica, per il prezioso supporto e per aver indicato fonti archivistiche non reperibili a Firenze.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ANICHINI G., *La Nazione*, giovedì 9 settembre 1915, pagina 3.
- [2] ANONIMO, *Chemiker-Zeitung* (1916), 40, 37-8.
- [3] ARCHIVIO STORICO dei XL, Fondo Parravano (fasc. 331, ex fasc.139), Corrispondenza (1915-1918).
- [4] ARCHIVIO STORICO DEL SENATO ACCADEMICO dell'Università di Firenze, Atto N. 16/236; anno 1914
- [5] ARCHIVIO STORICO DEL SENATO ACCADEMICO dell'Università di Firenze, Anno 1915, voce "Giulio Fano"; lettere in uscita.
- [6] ARCHIVIO STORICO dell'Università di Firenze; numero della Filza 493, numero di inserto 13252, matricola 5237, Facoltà di Scienze.

- [6A] CADUTI Toscani nella Grande Guerra http://grandegueraitalia.com/index.php?r=caduti/search&searchParams%5Bq%5D=%2A%3A%2A&sort=nome&view=1&fq%5B0%5D=anno_morte%3A%221917%22&fq%5B1%5D=grado%3A%22Tenente+di+complemento%22 Ultimo accesso 25/10/2022.
- [7] CAGLIOTI Vincenzo, *La chimica e l'industria*, XX, (1938), 630.
- [8] FELICE Mario, <https://gw.geneanet.org/giampifi?n=baciocchi+adorno+rosselli+del+turco&oc=&p=mario+felice> Ultimo accesso 4 ottobre 2022.
- [9] FONDO SCHIFF C.O., Ugo Schiff, biglietto chirografo. 4 febbraio 1911, Carteggio in Uscita; anni 1910-1915. Dipartimento di Chimica "U. Schiff" dell'Università di Firenze.
- [10] FONTANI Marco, COSTA Mariagrazia, *Microstoria, Il Florenzi: il metallo dei fiorentini*, (2006), 50, 40.
- [11] FONTANI Marco, Mariagrazia COSTA, *Un Demonio alla Specola, Microstoria*, (2007), 52, 62-3.
- [12] FONTANI Marco, Francesca SALVIANTI, *Il Sistema Periodico, terra di speranze e di gloria: la vita e l'opera di Augusto Piccini*. In *Atti del XIII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica*, Roma 23-26 Ottobre 2009, Accademia Nazionale delle Scienze, pp. 285-295.
- [13] FONTANI Marco, Mariagrazia COSTA, "L'immagine ufficiale, ufficiosa e marginale di Hugo Schiff nei ricordi di uno dei suoi ultimi studenti" in: *A cent'anni dalla scomparsa di Ugo Schiff: Un protagonista del sogno di Bettino Ricasoli per Firenze, "Atene d'Italia"*, a cura di Silvia Selleri e Marco Fontani, (2015), Edizioni dell'Assemblea 138, Consiglio Regionale della Regione Toscana, ISBN 9788889365-81-6, pagine 115-134.
- [14] GIORDANI Francesco, Società Italiana per il Progresso delle Scienze, *Atti XXVII riunione (1939)*, 5 (No. 2), 313.
- [15] GUARESCHI Icilio, *Atti Accademia delle Scienze di Torino (1917)*, 52, 333-51.
- [16] KAUFFMAN George B., Lanfranco BELLONI, *Journal of Chemical Education*, (1987), vol. 64, issue 3, 205.
- [17] LELLI Carlo, *Rassegna Economica delle Colonie (1933)*, 21, 1217-33.
- [18] LOTTI Luigi, "Università e istituzioni dalla nascita dell'Ateneo fiorentino a oggi" in Rogari S. (a cura di), *L'Università degli Studi di Firenze fra istituzioni e cultura nel decennale della scomparsa di Giovanni Spadolini: atti del convegno di Studi (Firenze, 11-12 Ottobre 2004)*. ISBN 88-8453-358-9 © 2005 Firenze University Press.
- [19] MCPHERSON William, *Science (Washington, DC, United States) (1916)*, 43, 921-2.
- [20] NOBILI Guido, «Memorie lontane», Einaudi, 1975. Collana «Centopagine» diretta da Italo Calvino, n. 36. Pagina 3.
- [21] PARRAVANO Nicola, Antonio SCORTECCI, *Gazzetta Chimica Italiana (1920)*, 50, I, 83-92.
- [22] PARRAVANO Nicola, Antonio SCORTECCI, *Annali di Chimica Applicata (1924)*, 14, 3-17.
- [23] PARRAVANO Nicola, Antonio SCORTECCI, *Annali di Chimica Applicata (1924)*, 14, 289-92.
- [24] PASSANTE, *La Nazione*, giovedì 9 settembre 1915, pagina 3.
- [25] SACCONI Luigi, 1984, Ugo Schiff: ottimo chimico, pessimo carattere. *Atti e memorie dell'Accademia fiorentina di scienze morali La Colombaria*, 59, n. 45, 217-230.
- [26] SCORTECCI Antonio, Enrica STAGNO, *Memoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie (1966)*, 63(11), 987-93.
- [27] SCORTECCI Antonio, Enrica STAGNO, *Memoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie (1967)*, 62(12), 933-8.
- [28] SELLERI Silvia, Marco FONTANI a cura di, *A cent'anni dalla scomparsa di Ugo Schiff: Un protagonista del sogno di Bettino Ricasoli per Firenze, "Atene d'Italia"*, (2015), Edizioni dell'Assemblea 138, Consiglio Regionale della Regione Toscana, ISBN 9788889365-81-6, pagina 120.
- [29] SURDICH Francesco, *Dizionario Biografico degli Italiani - Volume 91 (2018)*, https://www.treccani.it/enciclopedia/giuseppe-scorcecci_%28Dizionario-Biografico%29/ Ultimo accesso 14/09/2022.
- [30] TINGLE J. B., *Science (New York, N.Y.) (1916)*, 44(1129), 239.



Rendiconti
Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
*Memorie e Rendiconti di Chimica, Fisica,
Matematica e Scienze Naturali*
140° (2022), Vol. III, fasc. 1, pp. 163-171
ISSN 0392-4130 • ISBN 978-88-98075-51-5

La collocazione degli Attinidi nella Tavola Periodica: una ricostruzione storica

FRANCO CALASCIBETTA

Museo P. Levi, Sapienza Università di Roma
E.mail: franco.calascibetta@uniroma1.it

Abstract – The article reconstructs the history of the discovery of the elements from Actinium to Lawrencium, known by the overall name of “actinides”, and their location in the periodic system, which has changed since the mid-40s of the twentieth century thanks to research by G. Seaborg. We will focus in particular on the work of this scientist and the researchers who worked in the group he directed and on the theoretical considerations underlying his studies, that earned him the award of the Nobel Prize for Chemistry in 1951.

Keywords: Actinides, Periodic Table, Seaborg

Riassunto – Nell’articolo è ricostruita la storia della scoperta degli elementi dall’Attinio al Laurenzio, conosciuti col nome complessivo di attinidi, e della loro collocazione nel sistema periodico, mutata, a partire dalla metà degli anni ’40 del XX secolo, ad opera di G. Seaborg. Ci soffermeremo in particolare sull’opera di questo scienziato e dei ricercatori che operarono nel gruppo da lui diretto e sulle considerazioni teoriche alla base della sua ricerca, che gli valsero come noto l’attribuzione del premio Nobel per la Chimica nel 1951.

Parole chiave: Attinidi, Tavola Periodica, Seaborg

I primi attinidi scoperti: Torio e Uranio

Gli elementi del sistema periodico dall’Attinio (Ac, $Z = 89$) al Laurenzio (Lr, $Z = 103$) sono, come noto, indicati col nome complessivo di Attinidi.¹ All’epoca della Tavola Periodica pubblicata nel 1871 da D. Mendeleev [10] di essi se ne conoscevano soltanto 2, il Torio (Th, $Z = 90$) e l’Uranio (U, $Z = 92$). Essi erano stati scoperti rispettivamente nel 1829 da Jöns Jacob Berzelius e nel 1789 da Martin Heinrich Klaproth, che individuò per primo l’Uranio, anche se

¹ La IUPAC sin dal 1985 raccomandò di utilizzare attinoidi anziché attinidi, poiché il suffisso -ide normalmente indica (in inglese) uno ione negativo (chloride, cyanide etc.). Tuttavia, a causa dell’uso corrente, il nome attinidi resta consentito. Ho preferito in questo articolo utilizzare la denominazione meno aggiornata, in quanto è quella che si trova negli articoli che esamineremo, trattandosi per lo più di pubblicazioni precedenti gli anni ’80 del XX secolo.

Reihen	Gruppe I. R ² O	Gruppe II. RO	Gruppe III. R ² O ³	Gruppe IV. RH ⁴ RO ²	Gruppe V. RH ³ R ² O ⁵	Gruppe VI. RH ² RO ³	Gruppe VII. RH R ² O ⁷	Gruppe VIII. RO ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Ca=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—

Fig. 1. Tavola Periodica di D. Mendeleev del 1871: vedi [10].

non riuscì in effetti ad isolarlo come elemento puro. Berzelius, per l'elemento da lui scoperto, indicò il nome di Torio, in onore della divinità scandinava Thor, mentre il nome di Uranio venne attribuito da Klaproth facendo riferimento al pianeta, scoperto da William Herschel pochi anni prima. I pesi atomici con cui essi comparivano nella Tavola Periodica di Mendeleev del 1871 erano 231 per il Torio e 240 per l'Uranio. Erano i più alti rispetto a tutti gli elementi allora conosciuti e Mendeleev li pose nella riga 12 della sua Tabella, rispettivamente nei gruppi IV e VI, lasciando tra i due un elemento che egli prevedeva dovesse essere ancora scoperto (Fig. 1). La ragione di questa collocazione la possiamo comprendere leggendo le pagine, relative ai due elementi, presenti nel *Trattato di Chimica* che Mendeleev pubblicò in più edizioni a partire dal 1871. Ad esempio nella traduzione inglese del 1897, basata sulla VI edizione russa [11], egli associava il Torio allo Zirconio e assegnava ai suoi composti silicato, ossido e cloruro rispettivamente le formule ThSiO_4 , ThO_2 , ThCl_4 . Erano quindi le sue proprietà chimiche ed in primis la sua valenza ad indicare la sua collocazione nel IV gruppo². Analogamente per l'Uranio erano le deboli proprietà acide del suo ossido a massima valenza UO_3 , e l'esistenza di un sale sodico $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$, del tutto analogo nel comportamento a $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, a spingere Mendeleev a porre l'elemento nel VI gruppo della sua Tavola³.

² Vedi [11] Vol. II, pag. 148.

³ Vedi [11] Vol. II, pag. 297.

Attinio e Protoattinio

Gli studi sull'emissione naturale di luce, calore e altre radiazioni, iniziati alla fine del XIX secolo, portarono, come noto, innanzi tutto alla scoperta di due nuovi elementi, Polonio e Radio. In realtà tali studi permisero in pochi anni l'individuazione di una quarantina di specie chimiche, dotate di analoghe proprietà ed ugualmente instabili. Esse però andavano ad occupare solo una dozzina di caselle del sistema periodico. La spiegazione dell'esistenza dei cosiddetti isotopi radioattivi fu opera di molti scienziati, tra i quali Kazimierz Fajans e Frederic Soddy. La storia completa di questo susseguirsi di ricerche è estremamente intrecciata [17]. Ai nostri fini interessa però in particolare ricordare che in tale ambito furono scoperti due elementi della famiglia degli attinidi, l'Attinio (Ac, $Z = 89$) e il Protoattinio (Pa, $Z = 91$).

La scoperta dell'Attinio è da alcuni attribuita a Friedrich Oscar Giesel, che nel 1902 per primo lo isolò, mentre altri considerano pienamente attendibile l'identificazione che del nuovo elemento fece nel 1899 un collaboratore dei Curie, Andrès Debierne, che gli diede il nome di Attinio, traendolo da una parola del greco antico ($\alpha\kappa\tau\acute{\iota}\varsigma$, $\alpha\kappa\tau\acute{\iota}\nu\omicron\varsigma$) che significa "raggio".

L'isotopo 234 del Protoattinio venne identificato per la prima volta nel 1913 da Kazimierz Fajans, che lo chiamò *brevium* per la sua instabilità (questo isotopo presenta un tempo di dimezzamento di poche ore). L'isotopo 231, molto più stabile, venne identificato alcuni anni dopo da Otto Hahn e Lisa Meitner, che diedero all'elemento il nome di Protactinium, in quanto esso era l'imme-

diato precursore dell'Attinio nella catena di decadimento dell'Uranio 235.

I due nuovi elementi furono posti nella Tavola Periodica nella settima serie rispettivamente al III e V gruppo. In particolare il Protoattinio andava ad inserirsi nella casella che Mendeleev aveva lasciato vuota tra Torio ed Uranio. La ragione di tale collocazione risiedeva ancora una volta nelle proprietà chimiche dei due elementi. Ad esempio, in un classico trattato di Chimica inorganica del periodo [9], per l'Attinio si ricordava come esso fosse in natura trovato spesso insieme agli elementi trivalenti dei lantanidi ed in particolare insieme al Lantanio, col quale formava sali isomorfi.⁴ Per il Protoattinio, si ricordava come gli stessi O. Hahn e L. Meitner lo avevano separato dai residui silicei, rimasti dopo il trattamento prolungato e ripetuto della pechblenda con acido nitrico, grazie all'aggiunta di un sale di Tantalio: le sue reazioni erano così simili a quelle del Tantalio che «*i due elementi si associavano insieme alla fine delle operazioni come compagni inseparabili*».⁵ Mettere Attinio e Protoattinio, rispettivamente nel gruppo del Lantanio e del Tantalio, era perfettamente coerente con le proprietà dei due nuovi elementi.

Per illustrare ciò, in Fig. 2 riportiamo una Tavola Periodica pubblicata nel 1927 su Scientific American [6]. L'autore, B. Smith Hopkins, aveva, pochi mesi prima, rivendicato, insieme ad altri [5], la scoperta dell'elemento di numero atomico 61, uno dei pochi che, in base agli studi di H. C. J. Moseley, risultavano ancora mancanti nella lista degli elementi chimici. Per l'elemento essi avevano proposto il nome di Illinio. Tale rivendicazione si sarebbe rivelata in seguito inattendibile, in quanto dell'elemento 61 esistono solo isotopi instabili, con tempi di dimezzamento troppo piccoli per poter restare, sia pure in tracce, in minerali presenti in natura. Lo stesso accade per l'elemento 43, del quale anni prima era stata pure annunciata la scoperta da parte di scienziati tedeschi, che lo avevano denominato Masurio. Di entrambe queste presunte scoperte troviamo traccia in Fig. 2. Hopkins, accettando queste due rivendicazioni, così concludeva:

«Si stanno cercando i due elementi mancanti, i numeri 85 e 87, e l'annuncio della loro scoperta può arrivare da un momento all'altro. Potrebbero forse incontrarsi difficoltà insolite nella ricerca di questi elementi poiché può essere che si tratti di elementi radioattivi, soggetti a deca-

dimento molto rapido. Dobbiamo approfondire questa linea, affascinante ma complicata, Quando questi due ritardari verranno aggiunti alla nostra lista di elementi conosciuti, la nostra Tabella degli elementi costitutivi della Natura diventerà completa».

Oltre l'Uranio: considerazioni teoriche

Se Hopkins nella chiusa del suo articolo non mostrava interesse rispetto alla possibilità di arrivare ad elementi oltre l'Uranio, occorre dire che in quegli anni altri scienziati si posero invece la domanda se essi fossero comunque prevedibili. Questo lo ritroviamo soprattutto in ricerche teoriche volte a calcolare, con l'ausilio della quantomeccanica, la stabilità energetica di configurazioni polielettroniche intorno al nucleo di un atomo.

Possiamo partire da Bohr e dare uno sguardo alla particolare Tavola che egli pubblicò nel 1923 [1] (vedi Fig. 3). In essa notiamo come per Bohr, analogamente al sesto periodo del sistema periodico, contenente gli elementi dal Cesio (Cs, $Z = 55$) all'Emanio (oggi Radon Rn, $Z = 86$), anche il settimo periodo avrebbe dovuto comprendere 32 elementi, da quello, ancora da scoprire, con $Z = 87$ fino ad un gas nobile con $Z = 118$. Ciò faceva ipotizzare anche in questo periodo l'esistenza di un gruppo, analogo a quello delle cosiddette terre rare (oggi lantanidi) in cui il riempimento di sottolivelli elettronici interni avrebbe comportato una notevole somiglianza nelle proprietà chimiche dei costituenti. Se osserviamo la Figura 3, in essa le terre rare erano racchiuse in un rettangolo e un rettangolo corrispondente venne abbozzato, tratteggiato, da Bohr, a partire da due posizioni oltre l'Uranio.

Un altro esempio di previsione di conformazione elettronica esterna per elementi oltre l'Uranio, basata su calcoli quantomeccanici, la ritroviamo in un breve articolo del 1933 [18]. Gli autori, utilizzando stavolta la notazione delle orbite elettroniche a noi perfettamente familiare, ipotizzavano che sarebbe stato solo con l'elemento con $Z = 93$ che si sarebbe dovuto porre un primo elettrone in un orbitale $5f$, e solo con tale elemento avrebbe avuto quindi inizio una serie di 14 elementi analoghi ai lantanidi, in cui, come noto, sono i 7 orbitali $4f$ ad essere gradualmente riempiti. Mi limito a questi due esempi, tra i diversi che in quel periodo potrebbero essere trovati,⁶ solo per sottolineare come fosse l'apparentemente perfetta collocazione di Attinio, Torio, Protoat-

⁴ Vedi [9], Vol, IV, pag. 131.

⁵ Vedi [9], Vol, IV, pag. 135-136.

⁶ Una più ampia rassegna di tale ricerche la si può trovare in una ricostruzione storica molto più tarda ad opera di G.T. Seaborg [16].

Group	0	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
Type Formula		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO, H ₂ R	R ₂ O, H ₂ R	RO, H ₂ R	RO, HR			
Series		H ¹ 1.008									
2	He ² 4.00	Li ³ 6.94	Be ⁴ 9.1	B ⁵ 10.85	C ⁶ 12.005	N ⁷ 14.008	O ⁸ 16	F ⁹ 19.0			
3	Ne ¹⁰ 20.2	Na ¹¹ 23.00	Mg ¹² 24.32	Al ¹³ 26.97	Si ¹⁴ 28.1	P ¹⁵ 31.04	S ¹⁶ 32.06	Cl ¹⁷ 35.46			
4	Ar ¹⁸ 39.9	K ¹⁹ 39.10	Ca ²⁰ 40.07	Sc ²¹ 45.1	Ti ²² 48.1	V ²³ 51.0	Cr ²⁴ 52.0	Mn ²⁵ 54.93	Fe ²⁶ 55.84	Co ²⁷ 58.97	Ni ²⁸ 58.68
4a		Cu ²⁹ 63.57	Zn ³⁰ 65.37	Ga ³¹ 70.1	Ge ³² 72.5	As ³³ 74.96	Se ³⁴ 79.2	Br ³⁵ 79.92			
5	Kr ³⁶ 83.82	Rb ³⁷ 85.45	Sr ³⁸ 87.63	Y ³⁹ 89	Zr ⁴⁰ 90.6	Nb ⁴¹ 93.1	Mo ⁴² 96.0	Ma ⁴³ ?	Ru ⁴⁴ 101.7	Rh ⁴⁵ 102.9	Pd ⁴⁶ 106.7
5a		Ag ⁴⁷ 107.88	Cd ⁴⁸ 112.40	In ⁴⁹ 114.8	Sn ⁵⁰ 118.7	Sb ⁵¹ 121.8	Te ⁵² 127.5	I ⁵³ 126.92			
6	Xe ⁵⁴ 130.2	Cs ⁵⁵ 132.91	Ba ⁵⁶ 137.37	RARE EARTHS ⁵⁷⁻⁷¹	Ct-Hf ⁷² 178.6	Ta ⁷³ 181.5	W ⁷⁴ 184.0	Re ⁷⁵ ?	Os ⁷⁶ 190.9	Ir ⁷⁷ 193.2	Pt ⁷⁸ 195.2
6a		Au ⁷⁹ 197.2	Hg ⁸⁰ 200.6	Tl ⁸¹ 204.0	Pb ⁸² 207.2	Bi ⁸³ 209.0	Po ⁸⁴ 210				
7	Rn ⁸⁶ 222		Ra ⁸⁸ 226	Ac ⁸⁹	Th ⁹⁰ 232.12	Pa ⁹¹	U ⁹² 238.2				
		RARE EARTHS	La ⁵⁷ 139.0	Ce ⁵⁸ 140.25	Pr ⁵⁹ 140.9	Nd ⁶⁰ 144.3	Il ⁶¹ 146.1	Sm ⁶² 150.4	Eu ⁶³ 152.0		
			Gd ⁶⁴ 157.3	Tb ⁶⁵ 159.2	Dy ⁶⁶ 162.5	Ho ⁶⁷ 165.5	Er ⁶⁸ 167.7	Tm ⁶⁹ 168.5	Yb ⁷⁰ 173.5	Lu ⁷¹ 175.0	

THE NEARLY COMPLETED PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS, 1926

Fig. 2. Tavola Periodica del 1927 "short form": vedi [6].

Fig. 3. Tavola Periodica di Bohr: vedi [1].

tinio ed Uranio nei gruppi dal III al VI della tavola periodica, a far scattare probabilmente l'ipotesi che essi potessero invece essere i primi elementi di un gruppo simile ai lantanidi. Una tavola periodica del 1939, organizzata finalmente a 18 colonne, come quella da noi oggi utilizzata, rappresentava chiaramente quanto sopra detto [3] (vedi Fig. 4).

Una nuova strada per la possibile sintesi dei transuranici

Queste ipotesi sulla configurazione elettronica e le conseguenti proprietà chimiche di elementi oltre l'Uranio sembravano destinate a restare speculazioni teoriche, dal momento che essi non erano stati mai identificati, neppure in tracce, in natura oppure in un qualche

esperimento. La prospettiva cambiò allorché, all'inizio degli anni '30 del XX secolo, alcuni importanti eventi resero possibile perseguire l'idea di arrivare alla sintesi di tali elementi. Il primo di questi eventi fu la scoperta del neutrone, ipotizzato già precedentemente, ma la cui esistenza venne dimostrata sperimentalmente dal fisico inglese James Chadwick all'inizio del 1932. Un'altra tappa importante in queste ricerche fu la scoperta, da parte di Frédéric e Irene Joliot-Curie, della radioattività indotta, che consisteva nell'emissione di particelle da parte di isotopi artificiali instabili, prodotti dal bombardamento di elementi leggeri con particelle α .

Da tali scoperte si svilupparono tra l'altro gli studi che vennero condotti, a partire dal 1934, nell'Istituto fisico dell'Università di Roma in via Panisperna, dal grup-

Period	Group Numbers																		
	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8			1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	Inert Gases	
I 2 Elements	H 1																	He 2	
II 8 Elements	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10	
III 8 Elements	Na 11	Mg 12	Transitional Elements											Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
IV 18 Elements	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36	
V 18 Elements	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42	Tc 43	Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
VI 32 Elements	Cs 55	Ba 56	La (57-70) 57	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84	At 85	Rn 86	
VII 6 Elements	— 87	Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92													

* Rare Earth Elements	Ce 58	Pr 59	Nd 60	Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70

Fig. 4. Tavola Periodica del 1939 “medium-long form”: vedi [3].

po di ricerca guidato da Enrico Fermi. Fermi partì dall'ipotesi che un bombardamento di neutroni potesse generare fenomeni analoghi a quelli osservati dai coniugi Joliot-Curie, tramite il bombardamento di particelle α . In effetti le sorgenti di neutroni ne emettevano solo un numero relativamente piccolo e questo poteva essere uno svantaggio. Tale inconveniente era tuttavia compensato dal fatto che i neutroni, privi di carica elettrica, potevano raggiungere i nuclei di tutti gli atomi, senza dover superare la barriera potenziale, dovuta al campo di Coulomb intorno al nucleo.

Riassumiamo i risultati della ricerca del gruppo di Via Panisperna, citando direttamente alcuni passi della *lecture* pronunciata da Fermi in occasione della cerimonia nella quale gli venne consegnato il premio Nobel per la Fisica nel 1938 «per le sue dimostrazioni dell'esistenza di nuovi elementi radioattivi prodotti dall'irradiazione di neutroni, e per la correlata scoperta delle reazioni nucleari provocate dai neutroni lenti» [2]:

«Fin dai primi esperimenti, ho potuto provare che la maggior parte degli elementi testati sono diventati attivi sotto l'effetto del bombardamento di neutroni. In qualche caso il decadimento dell'attività nel tempo corrispondeva ad una sola vita media; in altri alla sovrapposizione di più curve di decadimento esponenziale.

Un'indagine sistematica del comportamento degli elementi in tutta la Tavola Periodica è stata svolta dal sottoscritto, con l'aiuto di diversi collaboratori, ovvero Amaldi, D'Agostino, Pontecorvo, Rasetti e Segré.

Nella maggior parte dei casi abbiamo eseguito anche un'analisi chimica, al fine di identificare l'elemento chimico che era il vettore dell'attività. Per le sostanze con tempi di emivita brevi, tale analisi doveva essere eseguita molto rapidamente, in un tempo dell'ordine di un minuto.

Risultati sorprendenti li trovammo nello studiare le attività indotte dai neutroni negli elementi naturalmente attivi Torio e Uranio. Entrambi gli elementi mostravano un'attività indotta piuttosto forte, quando bombardati con neutroni; ed in entrambi i casi la curva di decadimento dell'attività indotta mostrava che erano prodotti diversi corpi attivi con vite medie diverse. Noi tentammo, dalla primavera del 1934, di isolare chimicamente i portatori di queste attività, e determinammo che i vettori di alcune delle attività non sono né isotopi dell'Uranio stesso, né degli elementi più leggeri fino al numero atomico 86. Abbiamo concluso che i vettori erano uno o più elementi di numero atomico maggiore di 92; noi, a Roma, chiamiamo Ausonio ed Espero, rispettivamente, gli elementi 93 e 94».

Il testo pubblicato della *lecture* riportava però a questo punto la seguente nota a piè di pagina:

«La scoperta da parte di Habn e Strassmann della presenza del Bario tra i prodotti di disintegrazione dell'Uranio bombardato, come conseguenza di un processo in cui questo si scinde in due parti approssimativamente uguali, rende necessario riesaminare tutti i problemi degli elementi transuranici».

In effetti la prima ipotesi, da parte di Fermi, di avere effettivamente prodotto due nuovi elementi a numero atomico 93 e 94, inizialmente aveva trovato accettazione da parte del mondo scientifico, ma era stata confutata proprio nel 1938 dai fisici tedeschi Otto Hahn e Fritz Strassmann che, ripetendo le esperienze di Fermi, avevano determinato inequivocabilmente la formazione in esse di elementi più leggeri quali il Bario (Ba, $Z = 56$) spiegabile solo con l'ipotesi di una disintegrazione del nucleo dell'Uranio [4].

Entra in scena il *Radiation Laboratory* dell'Università della California

A questo punto dobbiamo attraversare l'Atlantico e ripercorrere le ricerche che vennero effettuate dalla fine degli anni '30 dagli scienziati che lavoravano presso il *Radiation Laboratory* dell'Università della California. Questa istituzione era stata fondata nel 1931 da E. O. Lawrence, un fisico statunitense che vinse nel 1939 il premio Nobel per la Fisica per la sua invenzione del ciclotrone, un acceleratore circolare di particelle da lui progettato sin dal 1930. Il primo strumento misurava 13 cm di diametro. Nel corso degli anni '30 Lawrence e i suoi collaboratori costruirono ciclotroni sempre più grandi e conseguentemente sempre più potenti. Questi dispositivi permettevano di bombardare e trasmutare gli elementi più pesanti, mentre le particelle provenienti da fonti naturali, che erano state utilizzate fino ad allora, potevano penetrare nei nuclei solo degli elementi più leggeri.

Nella primavera del 1939, utilizzando come fonte di neutroni quelli formati dalla reazione da deuteroni, generati da un ciclotrone di 152 cm di diametro, con atomi di Berillio, un ricercatore dell'Università di Berkeley, Edwin McMillan, prese a studiare più attentamente il processo di fissione dell'Uranio, cercando di misurare l'energia dei due principali frammenti della fissione. Fu in questi esperimenti che McMillan rilevò la presenza di un prodotto radioattivo della reazione con un'emivita di 2,3 giorni che aveva energia inferiore. Sospettì che questo prodotto fosse formato dalla cattura dei neutroni, che non rilascia molta energia, piuttosto che dalla fissione. Immaginò che, tramite la cattura di un neutrone da parte di un atomo di Uranio 238, questi si trasformava in Uranio 239 che poi, con emissione β^- , diveniva un nuovo elemento di massa 239 e $Z = 93$. Di tale prodotto inizialmente se ne riuscirono a formare quantità dell'ordine dei microgrammi, tuttavia con un'opportuna metodologia di analisi basata sulla radioattività (*tracer technique*)

[13] se ne poterono inferire le principali proprietà chimiche. Poiché tali proprietà indicavano una somiglianza dell'elemento con l'Uranio, per esso MacMillan propose il nome di Nettunio, facendo riferimento agli ultimi pianeti del sistema solare [8].

L'elemento a numero atomico 94 fu scoperto tra la fine del 1940 e l'inizio del 1941. A Mc Millan si affiancò tra gli altri Glenn Seaborg, che sarebbe diventato d'ora in poi il leader del gruppo di ricerca, anche perché, poco dopo, McMillan passò a lavorare presso il MIT Radiation Laboratory a Cambridge nel Massachusetts. Dapprima si ottenne l'isotopo 238 dell'elemento con $Z = 94$, tramite il bombardamento con deuteroni nel ciclotrone [15]. Alcuni mesi dopo fu invece ottenuto l'isotopo di maggiore interesse dell'elemento 94, avente massa 239 e tempo di emivita di circa 24 mila anni [7]. Questi si dimostrò fissile con neutroni lenti. Data l'importanza che questi esperimenti assunsero a fini bellici, la pubblicazione degli articoli che li descrivevano fu ritardata fino a dopo la fine della seconda guerra mondiale.⁷ Il nome Plutonio (simbolo Pu), facendo sempre riferimento all'astronomia, fu dato all'elemento 94 per le sue proprietà chimiche, sostanzialmente simili rispetto a quelle dell'Uranio e del Nettunio.⁸ È importante sottolineare come le proprietà di Nettunio e Plutonio non fossero invece affatto simili a quelle del Renio e dell'Osmio, sotto ai quali sarebbe stato invece inevitabile porli, se si fosse continuato a collocare gli elementi con lo stesso criterio adottato sino a quel momento (vedi Fig. 4).

Il concetto di attinidi e la loro nuova collocazione

Terminata la seconda guerra mondiale e iniziata la desecretazione delle ricerche sull'argomento, Seaborg e gli altri membri del suo gruppo poterono pubblicare le loro ricerche che nel frattempo erano proseguite. Mi sembra utile citare a questo punto ampi passi di un articolo che il chimico statunitense pubblicò nel 1945 [12]:

⁷ Dato il limitato scopo del presente articolo, mi trovo costretto a tralasciare qualsiasi considerazione sul significato e le conseguenze che tali ricerche ebbero sull'intera umanità. Non me la sento di trattare un argomento così importante come una parentesi rispetto alla mia ricerca e di dedicargli poche riflessioni, che finirebbero per apparire comunque superficiali e sbrigative.

⁸ Ricordiamo che all'epoca Plutone era considerato, dopo Urano e Nettuno, il nono pianeta del sistema solare; da qui, per analogia, il nome dell'elemento 94. In realtà, come sappiamo, Plutone dal 2006 non è più considerato un vero e proprio pianeta, in base ad una decisione dell'Unione astronomica internazionale.

«... ${}_{93}\text{Np}$ e ${}_{94}\text{Pu}$ non mostrano praticamente alcuna somiglianza con ${}_{75}\text{Re}$ e ${}_{76}\text{Os}$ e con ${}_{43}\text{Ru}$ e ${}_{44}\text{Ru}$. Ciò suggerisce che è il guscio dell'elettrone 5f che viene riempito, sebbene non sia possibile dedurre da questa sola prova chimica se l'uranio sia o meno il primo elemento della serie... Sebbene sia oltre lo scopo di questa discussione fornire tutte le prove a sostegno, vorremmo avanzare l'ipotesi interessante che questa serie simile alle terre rare inizi con l'Attinio, nello stesso senso in cui la serie dei «lantanidi» inizia col Lantanio. Su questa base potrebbe essere definita la serie «attinidi» e il primo elettrone 5f potrebbe apparire nel Torio. Quindi lo stato di ossidazione caratteristico – cioè lo stato di ossidazione mostrato da quei membri contenenti sette elettroni 5f e quattordici 5f – per questa serie di transizione è III.

Lo stato di ossidazione di IV mostrato dal Torio è quindi analogo allo stato di ossidazione IV del Cerio. Dal comportamento di Uranio, Nettunio e Plutonio si deve dedurre che fino a tre dei presunti elettroni 5f vengono prontamente ceduti, così che si spiega l'incapacità del Torio di mostrare uno stato di ossidazione di III. Sulla base di questa ipotesi, gli elementi 95 e 96 dovrebbero presentare stati III molto stabili; infatti l'elemento 96 dovrebbe presentare quasi esclusivamente lo stato III perché, con i suoi sette elettroni 5f, dovrebbe avere una struttura elettronica analoga a quella del Gadolinio, con i suoi sette elettroni 4f. Gli esperimenti di G. T. Seaborg, R. A. James, L. O. Morgan e A. Ghiorso nel Laboratorio Metallurgico hanno recentemente portato all'identificazione degli isotopi degli elementi 95 e 96, rendendo possibile lo studio delle proprietà chimiche di questi isotopi mediante la tecnica del tracciante. Questi ricercatori hanno studiato i prodotti a seguito del bombardamento di U^{238} e Pu^{239} con ioni di Elio ad altissima energia (40 Mev) nel ciclotrone di Berkeley... Naturalmente nel caso di alcuni elementi della serie può essere una questione accademica assegnare elettroni ai gusci 5f o 6d, poiché l'energia necessaria per il passaggio da un guscio all'altro può rientrare nell'intervallo di energie di un legame chimico. La configurazione elettronica può differire da composto a composto di un elemento o anche con lo stato fisico di un dato composto. Questo spostamento della configurazione elettronica sarebbe probabilmente più pronunciato con i membri centrali della prima metà della serie, cioè Uranio, Nettunio e Plutonio. Poiché la differenza di energia tra i gusci 5f e 6d è piuttosto piccola e poiché gli effetti di risonanza dovrebbero essere piuttosto grandi, questo può predominare nel determinare quale livello di energia è più basso.

Probabilmente vale la pena fare a questo punto un breve riassunto con le seguenti affermazioni. Ad oggi, il sistema periodico è costituito da 96 elementi noti e identificati,

ovvero ora è noto almeno un isotopo, stabile o radioattivo, per ciascuno degli elementi dal numero atomico 1 al numero atomico 96 compreso. L'evidenza indica una struttura atomica per gli elementi più pesanti, cioè quegli elementi con numero atomico maggiore di 88, corrispondente a una serie di transizioni in cui viene riempito il guscio di elettroni 5f. Questa serie differisce nelle proprietà chimiche dalla serie delle terre rare (i 14 elementi di numero atomico da 58 a 71 inclusi, dopo il Lantanio) in cui viene riempito il guscio di elettroni 4f, in quanto i primi membri di questa serie pesante sono molto più prontamente ossidati a stati di ossidazione maggiori di III. All'aumentare dei numeri atomici degli elementi in questa serie, gli stati di ossidazione inferiori, e in particolare lo stato III, aumentano di stabilità. Il primo elettrone 5f appare probabilmente nel Torio e la configurazione stabile composta da sette elettroni 5f probabilmente arriva con l'elemento 96».

Conclusioni

Proprio per evidenziare la somiglianza del comportamento degli elementi 95 e 96 con i corrispondenti elementi centrali dei lantanidi, Seaborg propose per essi i nomi di Americio, in analogia con l'Europio, e Curio, in quanto le ricerche dei Curie avevano avuto per gli attinidi un'importanza fondamentale, come quella che per i lantanidi aveva ricoperto Johan Gadolin.

Negli anni immediatamente successivi Seaborg proseguì le proprie ricerche, che confermavano pienamente la sua ipotesi. Nel 1951 a lui e a McMillan venne attribuito il Nobel per la chimica «per le loro scoperte nella chimica degli elementi transuranici». Nella sua Nobel lecture [14] egli presentò in forma definitiva la tavola periodica da lui modificata, in cui non solo erano già presenti gli attinidi già scoperti o sintetizzati, ma veniva previsto il completamento della serie con altri 5 elementi fino a quello con $Z = 103$ (vedi Figura 5). Quasi tutti vennero in effetti sintetizzati in pochi anni dallo stesso gruppo di cui Seaborg era il leader. L'ultimo della serie venne chiamato Lawrencium (Laurenzio), dal nome del fondatore del Radiation Laboratory ed inventore del ciclotrone, che di queste ricerche era stato ausilio indispensabile.

Ricordiamo in conclusione come in realtà l'opera di Seaborg e del suo gruppo proseguì oltre il Laurenzio, in una ricerca volta alla sintesi di nuovi elementi, a questo punto in una competizione che coinvolse e coinvolge gruppi di ricerca di altri paesi, quali soprattutto la Russia, il Giappone e la Germania. A Seaborg infine fu concesso l'onore, mentre era ancora in vita, di vedere battezzato col suo nome un elemento chimico, il Seaborgio (Sg, $Z = 106$).

1 H 1008																	2 He 4003														
3 Li 6.940	4 Be 9.02											5 B 10.82	6 C 12.010	7 N 14.008	8 O 16.000	9 F 19.00	10 Ne 20.183														
11 Na 22.997	12 Mg 24.32											13 Al 26.97	14 Si 28.06	15 P 30.98	16 S 32.06	17 Cl 35.457	18 Ar 39.944														
19 K 39.096	20 Ca 40.08	21 Sc 45.10	22 Ti 47.90	23 V 50.95	24 Cr 52.01	25 Mn 54.93	26 Fe 55.85	27 Co 58.94	28 Ni 58.69	29 Cu 63.57	30 Zn 65.38	31 Ga 69.72	32 Ge 72.60	33 As 74.91	34 Se 78.96	35 Br 79.916	36 Kr 83.7														
37 Rb 85.48	38 Sr 87.63	39 Y 88.92	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.95	43 Tc	44 Ru 101.7	45 Rh 102.01	46 Pd 106.7	47 Ag 107.868	48 Cd 112.41	49 In 114.76	50 Sn 118.70	51 Sb 121.76	52 Te 127.61	53 I 126.92	54 Xe 131.3														
55 Cs 132.91	56 Ba 137.36	57 La 138.92	58 Ce 140.13	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm	62 Sm 150.43	63 Eu 152.0	64 Gd 156.9	65 Tb 159.2	66 Dy 162.48	67 Ho 163.5	68 Er 167.2	69 Tm 169.4	70 Yb 173.04	71 Lu 174.99	72 Hf 178.6	73 Ta 180.88	74 W 183.92	75 Re 186.31	76 Os 190.2	77 Ir 193.1	78 Pt 195.23	79 Au 197.2	80 Hg 200.61	81 Tl 204.39	82 Pb 207.21	83 Bi 209.00	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	See Actinide series																												

Lanthanide series	57 La 138.92	58 Ce 140.13	59 Pr 140.92	60 Nd 144.27	61 Pm	62 Sm 150.43	63 Eu 152.0	64 Gd 156.9	65 Tb 159.2	66 Dy 162.48	67 Ho 163.5	68 Er 167.2	69 Tm 169.4	70 Yb 173.04	71 Lu 174.99
Actinide series	89 Ac	90 Th 232.12	91 Pa 231	92 U 238.07	93 Np 237	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf					

Fig. 5. Tavola Periodica di Seaborg nel 1951: vedi [14].

BIBLIOGRAFIA

- [1] BOHR Niels, 1923. The Structure of the Atom. Nature, 112 No. 2801, 29-44.
- [2] FERMI Enrico, 1938. Artificial radioactivity produced by neutron bombardment. Nobel Lecture, December 12, 1938, in *Physics 1922-1941, Nobel Lectures*, Elsevier, Amsterdam-London-New York, 1965.
- [3] FOSTER Laurence S., 1939. Why not modernize the textbook also? I -The Periodic Table, Journal of Chemical Education, 16, 409-411.
- [4] HAHN Otto e Fritz STRASSMANN, 1939. Über den Nachweis und das Verhalten der bei der Bestrahlung des Urans mittels Neutronen entstehenden Erdalkalimetalle, Naturwissenschaften, 27(1), 11-15.
- [5] HARRIS Joseph Allen, Leonard Francis YNTEMA, B. Smith HOPKINS, 1926. Illinium, Science, 63, Issue 1640, pp. 575-576.
- [6] HOPKINS B. Smith 1927. Building Blocks of the Universe, Scientific American, 136, 87-89.
- [7] KENNEDY Joseph W. and Arthur C. WAHL, Search for Spontaneous fission in ^{94}Zr , Physical Review, 1946, 69, 367-368.
- [8] McMILLAN Edwin and Philip Hauge ABELSON, 1940. Radioactive Element 93. Physical Review, 57, 1185-1186.
- [9] MELLOR Joseph William, 1929. *A comprehensive Treatise on Inorganic and Theoretical Chemistry*, Longmans, Green and Co., New York.
- [10] MENDELEEV Dmitrij Ivanovič, 1871. Die periodische Gesetzmässigkeit der chemischen Elemente. Annalen der Chemie und Pharmacie, Supplementband, VIII, 133-229.
- [11] MENDELEEV Dmitrij Ivanovič, 1897. *The principles of chemistry*, Traduzione di G. Kamensky dalla VI Edizione russa, Longman, Green and Co., London.
- [12] SEABORG Glenn Theodore, 1945. The Chemical and Radioactive Properties of the Heavy Elements. Chemical and Engineering News, 23 N. 23, 2190-2193.
- [13] SEABORG Glenn Theodore, 1946. The Transuranium Elements, Science, 104 n. 2704, 379-386.
- [14] SEABORG Glenn Theodore, 1951. The transuranium elements: present status. Nobel Lecture, December 12, 1951, in *Nobel Lectures in Chemistry. Volume 3 - 1942-1962*, Elsevier, Amsterdam-London-New York, 1965.
- [15] SEABORG Glenn Theodore, Edwin McMILLAN, and Arthur C. WAHL, 1946. Radioactive Element 94 from Deuterons on Uranium, Physical Review, 69, 366-367.
- [16] SEABORG Glenn Theodore, 1991. Origin of the Actinide Concept in *The Comparative Science of the Actinide and Lanthanide Elements*, G. Choppin Ed., Elsevier Science Publishing, New York, 1992.
- [17] WEEKS Mary Elvira, 1956. *Discovery of the elements VI* Edizione, Journal of Chemical Education, Easton, Cap. 29, pp. 803-843.
- [18] WU Ta-You and Samuel GOUDSMIT, 1933. Low States of the Heaviest Elements, Physical Review, 43, 496.

INDICE DEGLI AUTORI

	PAG.
ANATRINI L.	39
AQUILINI E.	149
BALZANI V.	15
BASSANI A.	105
BETTI M.	79
CALASCIBETTA F.	163
CAMPANELLA L.	11
CARUSI P.	29
CIABATTI I.	97
CIARDI M.	49
COSTA M.	155
D'AURIA M.	9, 57
DE CONCINI C.	7
DRAGO A.	121
FONTANI M.	155
GHIBAUDI E.	137
IELUZZI G.	137
MAGGIO A. M.	63
OLIVIERI P.	69
ORNA M. V.	155
PAOLIERI M.	155
TRIFIRÒ F.	87
TURCO F.	137
VENTURI M.	15
VILLANI G.	131
VILLANI V.	113
ZINGALES R.	63

Tipografia



(Stampa Tipolitografica Italiana)
Viale Charles Lenormant 112 / 114
00119 Roma

