

Capitolo 2

La storia della chimica e il suo valore didattico

- 2.1 L'importanza della storia della chimica nell'insegnamento
- 2.2 Diversi approcci storico-epistemologici per l'insegnamento della chimica

Nel capitolo precedente abbiamo affrontato alcuni aspetti fondamentali della chimica dal punto di vista epistemologico, che in molti casi derivano dall'evoluzione del pensiero chimico nel tempo. Questo ci fa subito capire quanto la natura della chimica sia strettamente legata alla storia della chimica e quindi, da un punto di vista didattico, quanto sia opportuno associare l'approccio epistemologico a quello storico. In questo capitolo affronteremo l'importanza della storia della chimica dal punto di vista didattico, tenendo conto di alcune sue peculiarità e degli approcci proposti da alcuni autori per introdurla in modo efficace nei piani di studio.

■ 2.1 L'importanza della storia della chimica nell'insegnamento

L'importanza della storia della scienza per la comprensione della materia e dell'evoluzione del pensiero scientifico nel tempo è stato sottolineato da molti autori, filosofi, storici e scienziati, tuttavia l'introduzione della storia della scienza nei curricula scolastici e nella didattica universitaria è piuttosto recente, molto frammentaria e non ancora diffusa (CIARDI 2007A, ERDURAN – SCERRI 2002). Questo si riflette nella quasi totale assenza dell'approccio storiografico nei manuali scolastici e nei sussidiari scientifici o nella presenza della storia della scienza 'a spot', senza una visione unitaria (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007). Secondo Bernard Cohen: «Per definizione, la storia della scienza comprende lo sviluppo di tutti gli aspetti dell'attività scientifica dai tempi più antichi fino al presente, e lo studio della scienza o di una protoscienza in tutti i campi e in tutti i tipi di culture: se aggiungiamo a ciò lo studio delle ma-

L'importanza della storia della chimica

trici sociali e culturali in cui questa attività scientifica si è svolta, nonché gli effetti della scienza sulle altre attività umane, troveremo che la disciplina della storia della scienza abbraccia praticamente niente meno che l'intera storia umana» (CIARDI 2007A). Come vedremo meglio nella Parte seconda di questo libro, dove affronteremo i fondamenti psico-pedagogici dell'insegnamento della chimica e i cambiamenti delle linee guida e delle *Indicazioni nazionali per l'insegnamento delle scienze*, l'introduzione della storia della scienza nei curricula scolastici e universitari dovrebbe essere valorizzata proprio nell'ottica brillantemente riassunta da Cohen.

La storia della scienza a scuola

L'utilità della storia nell'insegnamento della scienza trova una ulteriore giustificazione, secondo Schwab, con l'importanza che ha assunto l'approccio esplorativo/problematico di tipo *inquiry-based* nell'insegnamento delle scienze: parlare di come un concetto scientifico è stato formulato, spiegare i passaggi cognitivi che hanno portato alla comprensione di un fenomeno e quali esperimenti hanno consentito di validare delle ipotesi, riprodurre in laboratorio questi esperimenti, può aiutare gli studenti a sviluppare il pensiero critico (SCHWAB 1958).

Nel caso della chimica, secondo Leonello Paoloni: «dal punto di vista dell'insegnamento della chimica nella scuola italiana l'introduzione della storia della disciplina avrebbe potuto servire a modificare l'attuale condizione di marginalità, contribuendo a formare nel discente una cultura personale moderna, aperta alla considerazione di tutte le implicazioni sociali della scienza, a fornirgli un abito critico fondato sulla lettura storica della scienza» (PAOLONI 1984).

Nel caso della scuola italiana, infatti, come sottolineato anche da altri autori (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007), all'assenza della storia della scienza corrisponde una generale non centralità della scienza nell'insegnamento scolastico, che riflette un'impostazione ormai antiquata, ma sempre molto influente, basata sulla prevalenza delle discipline umanistiche rispetto a quelle scientifiche.

Il ruolo della narrazione

Il ruolo della storia della scienza nell'insegnamento si collega anche all'importanza della **narrazione**. Secondo lo psicologo Jerome Bruner, esistono due forme del pensiero scientifico: il pensiero logico-scientifico e il pensiero narrativo (BRUNER 1997). Per narrazione qui intendiamo non solo la sequenza di azioni cognitive «formulazione delle ipotesi, verifica, correzione e riordino delle idee», ovvero la ricerca di anomalie, la formulazione di idee alternative, la risoluzione dei problemi attingendo all'inventiva, ma la possibilità di ricostruire la conoscenza di un concetto o di un fenomeno scientifico grazie alle storie degli uomini che hanno contribuito alla loro comprensione, anche attraverso ipotesi poi dimostrate errate ed esperimenti non sempre risolutivi. La narrazione implica, infatti, il racconto dell'evoluzione delle scoperte scientifiche attraverso il lato umano degli scienziati e dei ricercatori che hanno contribuito all'avanzamento della chimica.

Secondo alcuni chimici (OLSSON – BALGOPAL – LEVINGER 2015), inserire la storia della chimica nell'insegnamento nella scuola secondaria può aiutare a superare, e possibilmente a evitare, alcuni misconcetti molto comuni tra i ragazzi riguardo ai fondamenti della chimica, come il concetto di sostanza e il concetto di legame.

Seguendo le indicazioni del National Research Council del 2012, che evidenziano il bisogno per studenti ed educatori di comprendere l'origine della conoscenza scientifica, invocando un'integrazione tra sapere scientifico e pratica scientifica, invitando, inoltre, ad una modifica dei curricula (NATIONAL RESEARCH COUNCIL 2012), sono stati istituiti dei corsi di storia della scienza anche per insegnanti. Il modo con cui sono strutturati gli insegnamenti che includono la storia della scienza risponde ad alcuni obiettivi (OLSSON – BALGOPAL – LEVINGER 2015) come:

- esaminare i valori culturali e la loro influenza nella ricerca chimica in diversi periodi storici;
- discutere le implicazioni socio-politiche della ricerca chimica e lo sviluppo della conoscenza chimica nel tempo;
- analizzare l'impatto delle relazioni umane (contrasti, amicizia, ostilità, ecc.) sui progressi della scienza;
- spiegare come la chimica ha cambiato la storia e prevedere come la chimica potrà influenzare in futuro la società;
- identificare come e perché le tecnologie si sono rapidamente integrate con la vita di tutti i giorni e confrontare vari periodi storici.

A questi obiettivi possiamo aggiungere i seguenti, legati più in generale all'ambito psico-pedagogico e didattico (WANDERSEE – GRIFFARD 2002):

- aumentare la capacità dei discenti a sviluppare un pensiero critico;
- favorire da parte dei docenti l'osservazione del parallelismo tra sviluppo della conoscenza dei discenti e sviluppo storico della conoscenza chimica;
- favorire l'organizzazione dei contenuti di un corso di chimica includendo l'integrazione della chimica con altre discipline.

Da quanto fin qui detto risultano evidenti i diversi motivi per cui la storia della chimica dovrebbe essere inclusa nell'insegnamento delle scienze. Prima di esaminare alcuni degli approcci proposti con successo a livello di scuola superiore di secondo grado, segnaliamo alcuni aspetti rilevanti della storia della chimica, che possono offrire numerosi spunti didattici. L'obiettivo è quello di fornire al futuro insegnante dei riferimenti utili per un efficace inquadramento storico-epistemologico all'insegnamento della chimica.

2.1.1 Il rapporto tra chimica e alchimia

Il rapporto tra chimica e alchimia è piuttosto complesso e questo ha spesso portato all'esclusione dell'alchimia nella discussione attorno ai concetti fondanti della chimica e dell'evoluzione del pensiero chimico all'interno dei testi scolastici. Lo storico Ferdinando Abbri (ABBRI 2007) analizzando i principali testi di storia della chimica prodotti da quando si può parlare di una vera e propria storiografia chimica, ovvero

L'integrazione
tra sapere e pratica

Tabella 3. Esempi di
sul complesso approccio
nel mondo antico

Autore	Periodo
Ole Borch	(1626-1690)
Gabriel-François Vauquelin	(1733-1797)
Johann Friedrich Gmelin	(1748-1804)
Thomas Thomson	(1733-1825)
Hermann F. M. Kopp	(1817-1892)
Marcellin Berthelot	(1827-1927)

L'eredità dell'alchimia a partire dal XVII secolo, sostiene che l'eredità dell'alchimia è affascinante, ma anche per certi versi imbarazzante. La non corretta interpretazione del contributo dell'alchimia alla chimica è testimoniato anche dalla varietà linguistica utilizzata ancora nel Settecento per descrivere questo sapere: «alchimia», «chemica», «spagirica» e «chimica» erano termini usati per riferirsi a questo stesso sapere. Una testimonianza dei diversi atteggiamenti avuti dagli storici della scienza nel classificare l'alchimia in rapporto alla chimica è riportata in **Tabella 3**.

Scrive Abbri: «La storia dell'alchimia e la storia della Chimica costituiscono due capitoli differenti della conoscenza; entrambe condividono alcune esigenze, tecniche, processi, ma non possono essere considerate due facce di una stessa storia. L'alchimia era un sapere millenario che rispondeva ad esigenze spirituali e materiali; la Chimica è cono-

Tabella 3. Esempi di fonti storiografiche più significative che racchiudono punti di vista diversi sul complesso rapporto tra alchimia e chimica (ABBRI 2007).

Autore	Testo	Considerazioni su alchimia
Ole Borch (1626-1690)	<i>De Ortu et Progressu Chemiae</i> , 1668	In questo testo viene data grande importanza all'alchimia egiziana, ritenuta la forma più alta di conoscenza. Borch rivendicò le origini antichissime della chimica.
Gabriel-Francois Venel (1723-1775)	<i>Encyclopédie</i> , 1753	Venel dedicò alla chimica un'intera parte della sua opera, dando in generale grande importanza alla storia della scienza. Venel fu il primo a definire le differenze tra chimica e fisica, si oppose al riduzionismo meccanicistico. La sua analisi però rivela uno scetticismo profondo nel vedere nell'alchimia l'origine della chimica.
Johann Friedrich Gmelin (1748-1804)	<i>Geschichte der Chimie</i> , tre volumi pubblicati tra il 1797 e il 1799	Quest'opera molto dettagliata racconta tutta la storia della chimica. Tuttavia non viene dato nessuno spazio all'alchimia antica (precedente al XII secolo).
Thomas Thomson (1733-1852)	<i>The History of Chemistry</i> , 1830-1831	In questo testo, viene introdotta la distinzione tra alchimia mistica/esoterica e quella delle pratiche o arti «chimiche».
Hermann F. M. Kopp (1817-1892)	<i>Geschichte der Chimie</i> , tre volumi pubblicati tra il 1843 e il 1847	Si tratta della prima opera professionale di storia della chimica. Kopp infatti era docente universitario di storia della chimica. Nella sua trattazione, l'alchimia corrisponde alla disciplina che studia i metalli, e si distingue dal periodo precedente dei saperi chimici dei popoli antichi, e dai successivi, identificati da Kopp nella iatrochimica di Paracelso e nella chimica del flogisto.
Marcellin Berthelot (1827-1927)	<i>Les Origines de l'Alchimie</i> , 1885	Berthelot rivaluta lo studio dell'alchimia antica e medievale. Per lui l'alchimia era una scienza intermedia o meglio mista, con un'anima mistica, pratica e sperimentale.

scienza scientifica, nata nell'età moderna, sviluppata come scienza e tecnologia» (ABBRI 2007).

Come racconta con estrema chiarezza un altro studioso, Marco Ciardi (CIARDI 2007B), «l'alchimia è una forma di sapere molto antica, che ha caratterizzato numerose civiltà, da quelle mediterranee a quelle indiane e cinesi». Viene generalmente distinta una alchimia antica, che si sviluppa in modo del tutto indipendente in varie civiltà e culture, tra cui le più influenti per il mondo occidentale sono quella egiziana, greca, bizantina e islamica, dall'alchimia latina medievale, che viene fatta iniziare con il 1144, anno in cui il monaco Robert da Chester terminò la traduzione dall'arabo al latino di una serie di testi fondamentali sul sapere alchimista (CIARDI 2007B). Questo sapere antico aveva una duplice natura: da un lato, una molto pratica, fatta di tecniche per la lavorazione delle pietre, per la tessitura delle stoffe e per la lavorazione dei metalli; dall'altro, una natura esoterica, volta, per esempio, alla ricerca dell'elisir di lunga vita, la famosa «pietra filosofale».

L'alchimia medievale è molto importante per comprendere la chimica e alcuni dei suoi concetti fondamentali (sostanza, elemento, composto, molecola, atomo). Questi termini infatti pur avendo un'origine antica avevano significati molto diversi da quelli attuali perché spesso si riferivano a entità filosofiche, a principi primi o a realtà materiali non ben definite. Tuttavia, la trattazione dei principali contributi alla definizione dell'oggetto della chimica da parte di vari pensatori e scienziati dal XIII secolo alla fine del XVIII secolo, con la nascita della chimica moderna, è fondamentale per la piena comprensione della chimica. In **Tabella 4** (a pagina seguente) sono riportate alcune fonti originali dei principali autori individuati dagli storici come fondamentali.

Il ricorso alle fonti originali può essere difficoltoso anche se molto educativo, per questo può essere d'aiuto l'eccellente trattazione critica di molti dei testi riportati in **Tabella 4** da parte dello storico della scienza Antonio Di Meo nel libro *Il chimico e l'alchimista* (DI MEO 1981). Per il lavoro dell'insegnante, l'analisi dell'evoluzione dei concetti fondamentali della chimica dall'antichità ad oggi proposta da Giovanni Villani (VILLANI 2001) è un'altra fonte utile (scaricabile al link: http://www1.unipa.it/flor/materiale_spais/libro.pdf), insieme ad alcuni lavori del filosofo e storico della scienza, Marco Ciardi (CIARDI 2007B e riferimenti inclusi) e quello del chimico Leonello Paoloni (PAOLONI 2007), entrambi contenuti in un volume de «La Chimica nella Scuola» dedicato alla storia della chimica e scaricabile al link: <https://www.soc.chim.it/sites/default/files/cns/pdf/2007-3.pdf>.

2.1.2 La chimica moderna

La storia della chimica moderna a partire dall'immenso lavoro chiarificatore di Antoine-Laurent de Lavoisier, in particolare con la pubblicazione nel 1789 del *Traité élémentaire de chimie*, non può essere certo trattata qui, neanche in modo sommario. Per la successiva definizione dei concetti fondamentali della chimica può essere tuttavia

L'alchimia
nel mondo antico

L'alchimia medievale

*Il Traité élémentaire
de chimie*

Tabella 4. Alcuni testi fondamentali (fonti originali) che hanno segnato l'evoluzione del pensiero dell'alchimia medievale ponendo i fondamenti della chimica moderna (CIARDI 2007b).

Autore	Testo / Testi	Principali contributi
Ruggero Bacone (1214-1292)	<i>Speculum Alchimiae, De mineralibus</i>	Filosofo britannico, contribuì a spiegare la differenza tra l'alchimia speculativa e l'alchimia pratica. Nelle sue opere descrive minuziosamente le procedure degli alchimisti per lavorare e «trasmutare» i metalli. L'alchimia al tempo di Bacone era molto diffusa, anche tra gli ecclesiastici, considerata importante anche dalla Chiesa perché si conciliava con i principi aristotelici.
Paracelso (1493-1541 ca.)	<i>Paragrano, Opera omnia medico- chemico- chirurgica</i>	Medico, alchimista e astronomo Paracelso pose le basi per il forte legame tra chimica e medicina. La iatrochimica, di cui è considerato il fondatore, era proprio una chimica medica. Paracelso propose di unificare i quattro elementi aristotelici (fuoco, acqua, aria e terra) con la tria prima che costituisce la materia (sale, zolfo e mercurio). Questi principi primi però non avevano nulla a che fare con i materiali in senso stretto. La materia era secondo Paracelso costituita da questi tre principi in rapporti precisi. Il «sale» dava ai corpi l'incombustibilità e l'inalterabilità; il «mercurio» la fusibilità e la volatilità; lo «zolfo» l'infiammabilità e la combustibilità. Con Paracelso iniziò una nuova fase dell'alchimia rinascimentale.
Robert Boyle (1627-1691)	<i>The Sceptical Chemist</i>	Filosofo naturale, Boyle contribuì, insieme a Newton, alla visione meccanicistica e corpuscolare della materia, interpretando anche la reattività chimica. Si oppose alla visione alchemica di Paracelso che associava al termine «elemento» il concetto di «principio, essenza, qualità della materia». Per Boyle, che criticherà la visione di Paracelso nella sua opera maggiore, <i>Il Chimico Scettico</i> , il termine «elemento» è associato al corpuscolo minimo («minima naturalia»). È quindi ancora lontana la definizione di elemento chimico così come lo indichiamo oggi.
George Ernst Stahl (1659-1734)	<i>Zymotechnia fundamentalis</i>	Medico tedesco, Stahl viene ricordato per la sua teoria del flogisto, un ulteriore elemento/principio da lui introdotto per spiegare alcuni fenomeni chimici, come la calcinazione e la combustione. La teoria del flogisto, pur sbagliata, riportò l'attenzione dei chimici sull'esperimento, e pose al centro dell'attenzione i fenomeni in cui è coinvolto il calore. Nacque così la scienza dello studio dei gas, la cosiddetta «scienza pneumatica».
Antoine- Laurent de Lavoisier (1743-1794)	<i>Traité élémentaire de chimie, Nomenclature chimique</i>	Lavoisier viene considerato il padre della chimica moderna. Si occupò della teoria del flogisto e contribuì a dimostrare la sua inconsistenza. Sfruttò le scoperte degli scienziati «pneumatici» (Black, Priestley, ecc.) e in particolare la dimostrazione che l'aria era una miscela di sostanze («aria fissa» era l'anidride carbonica, «aria deflogistificata» o «ossigeno» era l'ossigeno, ecc.) per spiegare molte reazioni chimiche, come la calcinazione, la combustione, ma anche la respirazione. Viene ricordato soprattutto per la legge di conservazione della massa e per il lavoro sulla nomenclatura chimica.

utile una rappresentazione molto schematica dei «momenti» principali di questa storia (Figura 11).

Il XIX secolo è caratterizzato dal passaggio da una chimica qualitativa ad una chimica quantitativa, sancito dal grande lavoro di **Lavoisier** e proseguito con gli importanti contributi di Proust, Gay-Lussac, Berzelius, Dalton e Avogadro, per citarne solo alcuni. A loro dobbiamo la **teoria atomico-molecolare** della materia, su cui torneremo parlando di linguaggio della chimica, formulata in modo completo ed esaustivo dal chimico italiano Stanislao Cannizzaro, prima con uno scopo puramente didattico, con la redazione di un *Sunto* di un corso di filosofia chimica per i suoi allievi nel 1858, e poi nel contesto del primo congresso internazionale di chimica, a Karlsruhe, nel 1860. Ad un approccio storico-epistemologico per introdurre il concetto di molecola sarà dedicata una sezione della Parte quarta del libro.

Il XIX secolo fu un periodo di grandi avanzamenti dal punto di vista sperimentale, della strumentazione di laboratorio, caratterizzata dal dominio della vetreria (JACKSON 2015) con la realizzazione dei principali apparati che oggi possiamo trovare in un laboratorio di chimica. È il secolo della nascita della chimica organica e dello sviluppo delle principali rappresentazioni molecolari. Una trattazione molto utile a fini didattici degli avanzamenti della scienza chimica del XIX secolo è quella proposta nel testo *Leggere il mondo oltre le apparenze* (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007).

La chimica dagli inizi del XX secolo a oggi è l'oggetto di un volume dall'alto valore didattico oltre che storico, *Bella e potente* di Luigi Cerruti (CERRUTI 2016). Il titolo deriva dalla constatazione che la chimica del Novecento ha avuto uno sviluppo esplosivo, talmente rapido e com-

Dalla chimica qualitativa alla chimica quantitativa

Il dominio della vetreria

I primi decenni del XX secolo

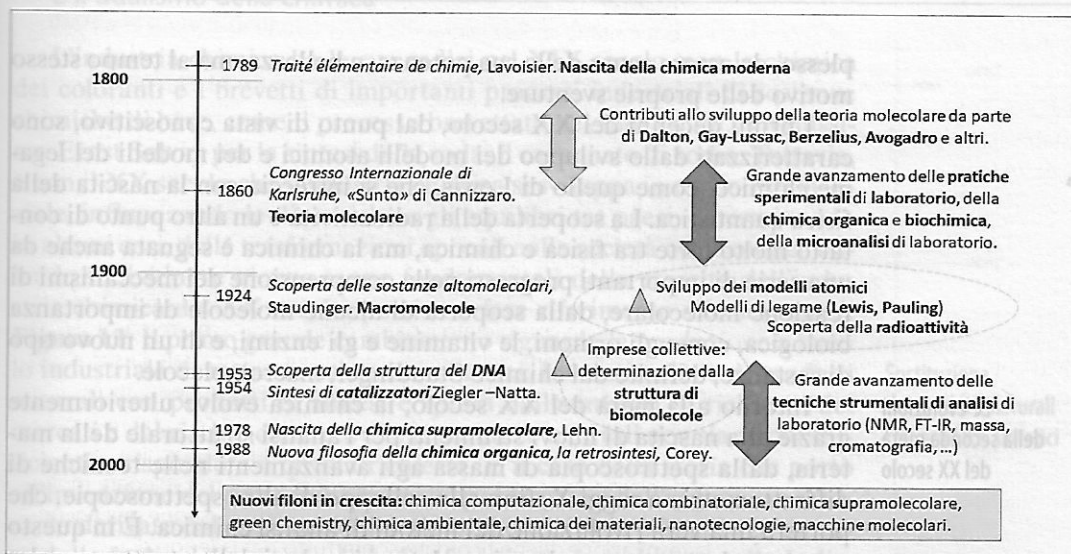


Figura 11
 Schema «a tappe» relativo alla storia della chimica moderna.

I PROTAGONISTI

La figura di Antoine-Laurent de Lavoisier

Antoine-Laurent de Lavoisier nacque a Parigi nel 1743 in una famiglia benestante (il padre era avvocato) e visse in questa città fino alla sua morte. Durante gli studi, il giovane Lavoisier si interessò a vari ambiti della scienza, dall'astronomia alla botanica, dalla matematica alla chimica. Studiò anche economia e divenne un funzionario fiscale. Nel tempo libero si dedicò alla chimica, che lo aveva colpito fin da subito per la mancanza di un ordine e per la marginalità degli aspetti quantitativi nel modo con cui veniva trattata, rispetto a tutte le altre discipline scientifiche. Si dedicò con estrema attenzione allo studio di alcuni processi chimici, come la combustione e la calcinazione, ideando una serie di esperimenti condotti con grande precisione effettuando misure accurate del peso dei reagenti e prodotti di reazione. Fu grazie all'introduzione di un approccio quantitativo allo studio dei fenomeni chimici che dimostrò l'inconsistenza della teoria del flogisto. Una volta entrato nell'Accademia delle Scienze, nel 1769, la sua attività divenne molto più intensa, anche grazie alla collaborazione della moglie, Marie-Anne Paulze, che spo-

sò nel 1771 e che lo aiutò nella realizzazione dei suoi esperimenti e soprattutto nella redazione delle sue importanti opere, essendo lei l'autrice delle minuziose tavole e dei disegni che affiancavano le descrizioni accurate degli esperimenti. Tra i maggiori contributi di Lavoisier si ricorda la famosa legge di conservazione della massa, lo studio delle reazioni di calcinazione e di combustione, lo studio dei processi di acidificazione e di respirazione, la chiarificazione del concetto operativo di elemento e dei concetti di acido, base, sale, metalli e metalloidi. Utilizzò la comprensione delle regole di combinazione tra sostanze per fare ordine nell'uso dei nomi delle sostanze e dette avvio alla prima nomenclatura delle sostanze chimiche.

A seguito della rivoluzione francese fu arrestato e processato per essere stato esattore delle tasse durante la monarchia. Morì a Parigi nel 1794, ghigliottinato. Il mondo scientifico reagì sconvolto. Significativa la frase del matematico Lagrange: «Ci è voluto solo un istante perché gli staccassero la testa, ma la Francia non ne avrà un'altra così neanche in un secolo».

plesso, da essere causa della sua potenza, e bellezza, ma al tempo stesso motivo delle proprie sventure.

I primi decenni del XX secolo, dal punto di vista conoscitivo, sono caratterizzati dallo sviluppo dei modelli atomici e dei modelli del legame chimico, come quello di Lewis, che si intreccia con la nascita della fisica quantistica. La scoperta della radioattività è un altro punto di contatto molto forte tra fisica e chimica, ma la chimica è segnata anche da una serie di importanti progressi nella comprensione dei meccanismi di reazione molecolare, dalla scoperta di alcune molecole di importanza biologica, come gli ormoni, le vitamine e gli enzimi, e di un nuovo tipo di sostanze, definite dal chimico Staudinger, macromolecole.

Intorno alla metà del XX secolo, la chimica evolve ulteriormente grazie alla nascita di nuovi strumenti per l'analisi strutturale della materia, dalla spettroscopia di massa agli avanzamenti nelle tecniche di diffrazione a raggi X, fino allo sviluppo di altre spettroscopie, che porterà una vera rivoluzione dei metodi di analisi chimica. È in questo contesto che avvengono le prime determinazioni della struttura molecolare di biomacromolecole essenziali alla vita, come l'emoglobina e lo stesso DNA. Si tratta solitamente di imprese collettive: è grazie al la-

Le evoluzioni
della seconda metà
del XX secolo

avoro di molti scienziati e ricercatori, spesso invisibili, che si sono raggiunti risultati così importanti. La chimica ha in questo momento forti interazioni con la biologia.

Nel campo dei materiali, e in particolare nel settore delle plastiche, grazie alla sintesi dei catalizzatori Ziegler-Natta, la chimica dimostra di poter cambiare gli stili di vita e influenzare le economie dei Paesi. Negli anni Settanta si manifesta una crisi profonda dell'immagine della chimica in concomitanza con la nascita dei primi movimenti ambientalisti e di alcuni incidenti industriali di grande impatto sull'opinione pubblica, ma è proprio in questo periodo che la chimica vede l'emergere di nuovi settori di indagine e di avanzamenti conoscitivi, nonché un'evoluzione degli approcci alla ricerca in chimica. Nascono, infatti, la chimica supramolecolare, la chimica computazionale, la chimica combinatoriale, un nuovo modo di concepire la sintesi organica, la retrosintesi, una nuova filosofia della chimica industriale, la *green chemistry*, la chimica dei materiali e dei nanomateriali, la chimica delle macchine molecolari e la chimica ambientale.

Per comprendere la chimica di questo secondo periodo, però, come ci ricorda Cerruti (CERRUTI 2016) non è possibile scollegare gli avanzamenti conoscitivi, passati qui in rassegna in modo tutt'altro che esaustivo (Figura 11), dal rapporto della chimica con le altre scienze, dall'interazione della chimica con la società e dal suo stretto legame con l'industria chimica. Se i primi due aspetti, accomunano la chimica alle altre scienze del Novecento, l'ultimo aspetto è piuttosto peculiare della chimica. Vale la pena, quindi, soffermarsi su di esso.

2.1.3 Il rapporto tra chimica e industria nel XX secolo e il dualismo della chimica

L'industria chimica ha le sue radici nel XIX secolo, con la chimica dei coloranti e i brevetti di importanti processi industriali di sostanze chimiche di base, come il processo brevettato nel 1861 da un giovanissimo Ernst Solvay per la sintesi della soda, il carbonato di sodio. Tuttavia, è con il XX secolo che l'industria chimica si sviluppa in modo esponenziale, influenzando le dinamiche e gli equilibri tra paesi, determinando in alcuni casi, delle trasformazioni epocali nella società occidentale. Volendo individuare alcune tappe fondamentali della crescita dell'industria chimica del XX secolo, possiamo fare riferimento allo schema di Figura 12. Il primo grande cambiamento riguarda la produzione a livello industriale di sostanze esistenti in natura. La sostituzione di prodotti naturali con prodotti di sintesi è spinta dall'aumento di richiesta dei mercati e dal rischio concreto che le sostanze naturali non siano più sufficienti a rispondere a questa richiesta. È il caso della storia che portò all'invenzione del processo industriale per la sintesi dell'indaco, un colorante derivato dalla molecola di indolo, che veniva in precedenza estratto dalle foglie della pianta di *Indigofera tinctoria*, coltivata nelle Indie. Questa storia ha una grande valenza didattica (CERRUTI 2016), perché è uno dei primi esempi in cui la chimica interviene alterando equilibri

La chimica e l'impatto nella società

Sostituzione dei prodotti naturali con prodotti sintetici

commerciali e sociali, oltre ad aprire la strada alla sostituzione delle sostanze naturali con sostanze di sintesi. La sintesi di un'altra molecola, l'ammoniaca, grazie al processo Haber, dal nome del suo scopritore, è stata oggetto di varie riflessioni sul rapporto tra chimica e società, così come sulle implicazioni etiche della ricerca chimica (VILLANI 2016), come vedremo anche nel capitolo 7.

La chimica
e le guerre mondiali

Lo sviluppo della chimica si intreccia con la storia del Novecento e in particolare fu determinante anche sugli esiti delle due grandi guerre mondiali (CERRUTI 2016). Nel caso della prima guerra mondiale, chiamata anche la guerra dei chimici, il ruolo della chimica è associato proprio alla figura di Haber e all'uso della chimica a scopo bellico. Nascono in questo contesto le prime armi chimiche. Questo è uno degli elementi che caratterizza la **dualità della chimica** (TRIFIRÒ 2016). L'industria chimica divenne strategica nel periodo tra la prima e la seconda guerra mondiale, e furono i Paesi in grado di produrre grandi quantità di gomma, in modo economico, ad essere avvantaggiati. L'obiettivo era avere grandi disponibilità di carburante e di pneumatici (CERRUTI 2016). Questo rappresentò il motore per un cambiamento epocale, la trasformazione dell'industria petrolifera nell'industria petrolchimica.

Le relazioni tra chimica, industria chimica, economia e società sono particolarmente evidenti e istruttive, analizzando la storia dell'industria italiana degli anni a cavallo della seconda guerra mondiale. Per questo contributi particolarmente utili sono i lavori di Lanzavecchia e Trifirò (LANZAVECCHIA 2014, TRIFIRÒ 2004). La nascita dell'industria dei farmaci e la crisi dell'immagine della chimica in relazione agli incidenti industriali di grande impatto, come l'incidente di Seveso del 1976 e di

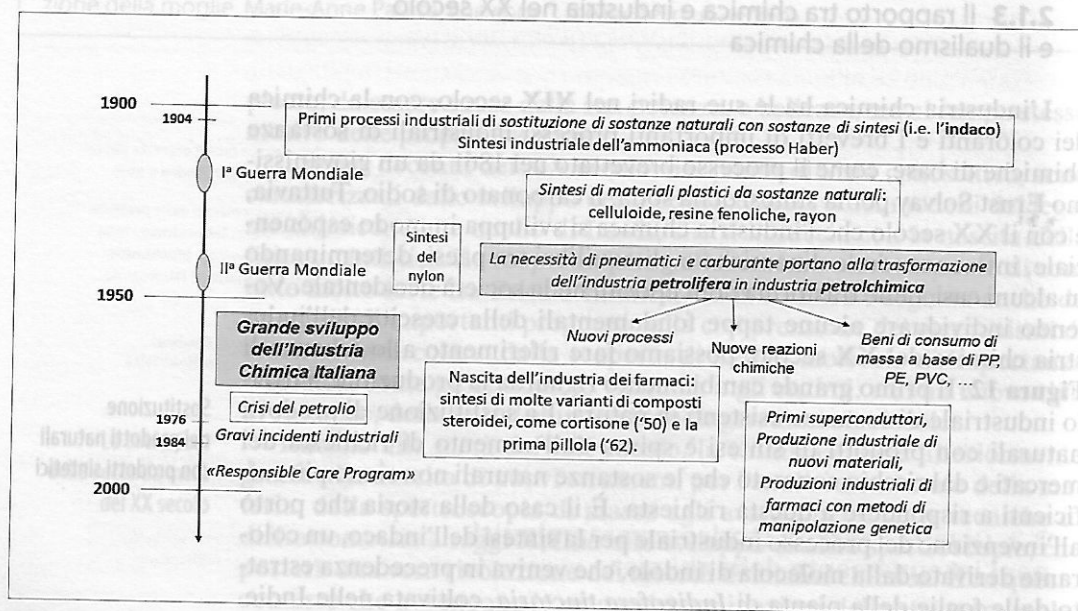


Figura 12

Schema a tappe dell'evoluzione dell'industria chimica del XX secolo.

LA DEFINIZIONE

La dualità della chimica

La dualità della chimica (TRIFIRÒ 2016) è dovuta al rischio che le sostanze chimiche pericolose possano venire a contatto con uomini, animali e ambiente in quantità tali che possano provocare danni, o addirittura la morte. I motivi possono essere infatti molteplici: 1. Uso criminale delle sostanze chimiche (come nel caso delle armi chimiche, ma anche, come dimostrato da fatti più recenti, dei rifiuti tossici); 2. Uso non corretto dalle sostanze chimiche dettato da ignoranza o da assenza di senso civico (come l'abuso di sostanze stupefacenti o di farmaci, l'abbandono di rifiuti nell'ambiente, l'uso di prodotti chimici per scopi per cui non sono stati destinati); 3. Uso non corretto di sostanze chimiche per motivi economici (come nel caso di alcuni pesticidi, insetticidi, diserbanti, o dell'utilizzo di sostanze tossiche in ambienti di lavoro sen-

za tener conto della salute dei lavoratori); 4. Messa in commercio di sostanze pericolose, tossiche e in generale non sicure per ignoranza o per motivi economici (come nel caso di sostanze dannose all'ambiente, come i clorofluorocarburi, l'emissione di un eccesso di anidride carbonica e di altri gas serra, l'utilizzo in quantità ingiustificate di pesticidi, come nel caso dei glifosati).

La storia della chimica dai primi del Novecento ad oggi è segnata da questa dualità, e molte sono le storie dall'alto contenuto didattico, come la storia del chimico Fritz Haber (VILLANI 2016), la storia del DDT sintetizzato dal chimico Paul Müller (BÖSCHEN 2002), lo sviluppo di erbicidi, come defolianti, e il loro uso in campo bellico, come nel caso dell'agente arancio usato dagli americani nella guerra del Vietnam (CERRUTI 2016).

Bhopal del 1984, sono altri argomenti che possono essere trattati a livello di scuola secondaria allo scopo di evidenziare lo stretto rapporto tra chimica e società (CERRUTI 2007).

2.1.4 Risorse utili per l'insegnamento della chimica attraverso la storia

Prima di passare ad analizzare alcuni approcci storiografici proposti da vari autori per l'insegnamento della chimica, riportiamo in **Tabella 5** e in **Tabella 6**, alcuni testi significativi sia per la formazione degli insegnanti sia per la trattazione a livello di scuola secondaria di alcuni aspetti legati alla storia della chimica moderna. In particolare, la **Tabella 5** contiene i riferimenti ad alcuni saggi storici con riflessioni epistemologiche e didattiche utili per l'insegnante, mentre in **Tabella 6** sono segnalati alcuni testi divulgativi che possono costituire un materiale da proporre direttamente agli studenti, su cui lavorare in modo trasversale con gli insegnanti di italiano e di storia. Questi saggi affrontano sia alcuni concetti fondamentali della chimica sia le note storiche associate ad alcune importanti scoperte.

2.2 Diversi approcci storico-epistemologici per l'insegnamento della chimica

In questo paragrafo esamineremo alcuni approcci storico-epistemologici utilizzati in ambito didattico per l'insegnamento della chimica.

Tabella 5. Libri e articoli da cui trarre spunti per approfondimenti storici legati ad alcune importanti scoperte della chimica moderna.

Autore	Riferimento	Argomento
Luigi Cerruti	<i>La fenice more e poi rinasce: episodi di storia della chimica del Novecento</i> , in «La chimica nella scuola», 2007, vol. 3, pp. 119-151.	Racconto di alcuni episodi della chimica del Novecento, con implicazioni epistemologiche.
Luigi Cerruti	<i>Bella e Potente. La chimica del Novecento tra scienza e società</i> , Editori Riuniti, 2016.	È un testo di storia della chimica, con un taglio molto divulgativo. Nella nuova edizione include molti argomenti della chimica dal 2000 a oggi. Contiene molte riflessioni sulla natura della chimica.
Stefen Bösch	<i>DDT and the dynamics of risk knowledge production</i> , in «International Journal for Philosophy of Chemistry», 2002, vol. 8, pp. 79-102.	Racconta la storia della scoperta della molecola del DDT. È un classico esempio di dualità della chimica.
Salvatore Califano	<i>Storia della Chimica. Volume II. Dalla chimica fisica alle molecole della vita</i> , Bollati Boringhieri, 2011.	È un volume molto denso di storie, fatti, scoperte di chimica, corredati di riflessioni e spiegazioni chimiche.
Marco Ciardi	<i>Amedeo Avogadro. Una politica per la scienza</i> , Carocci, 2006.	È una biografia dettagliata di uno dei chimici italiani più significativi quanto poco studiati (e capiti) a scuola.
Ferdinando Abbi	<i>Le terre, l'acqua, le arie. La rivoluzione chimica del Settecento</i> , Il Mulino, 1984.	È una analisi storica molto dettagliata della chimica del Settecento e dei contributi dei chimici italiani.

Tabella 6. Testi divulgativi che trattano argomenti di storia della chimica moderna, che possono essere proposti anche agli studenti.

Autore	Riferimento	Argomento
Penny Le Couteur e Jay Burreson	<i>I bottoni di Napoleone. Come 17 molecole hanno cambiato la storia</i> , Longanesi, 2007.	È un testo divulgativo che racconta le storie di alcune molecole fondamentali nella società di oggi e le vicende delle loro scoperte.
Sam Kean	<i>Il cucchiaino scomparso (e altre storie della tavola periodica degli elementi)</i> , Adelphi, 2014.	È un testo divulgativo, un classico. Racconta le storie legate ai diversi elementi chimici.
Marco Ciardi	<i>Reazioni tricolori. Aspetti della chimica italiana nell'età del Risorgimento</i> , Franco Angeli, 2011.	È una storia molto avvincente che racconta le vicende scientifiche, umane e storiche di alcuni dei chimici più importanti del periodo del Risorgimento italiano.
Roald Hoffmann	<i>La chimica allo specchio</i> , Longanesi, 2005.	Questo testo divulgativo affronta alcuni aspetti dell'immagine della chimica e del suo rapporto con la società attraverso il racconto di alcune scoperte e dell'evoluzione di alcuni concetti fondanti della chimica.

Nei primi due casi, si tratta di approcci sperimentati a lungo in numerose scuole e gruppi di studenti su cui è possibile svolgere adeguate analisi. Gli altri sono molto più recenti ed hanno avuto una minore possibilità di studio e di verifica. Tuttavia, per la loro consistenza e per la presenza di riferimenti a cui attingere, anch'essi possono offrire suggestioni interessanti per l'insegnante.

2.2.1 Evoluzione dei concetti della chimica con approccio storico-sperimentale

Il primo esempio riguarda una proposta di insegnamento della chimica nella scuola secondaria di secondo grado sviluppata in modo esteso nel testo *Leggere il mondo oltre le apparenze* degli autori Fiorentini, Aquilini, Colombi e Testoni (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007). La proposta si basa su un'idea centrale, ovvero che esistano tre ambiti principali della scienza chimica: i fenomeni (macroscopici-operativi), i concetti e le teorie macroscopiche (in riferimento alla chimica del XIX secolo) e i concetti e le teorie microscopiche (affermatasi dal XX secolo). Secondo gli autori (FIORENTINI – AQUILINI – COLOMBI – TESTONI 2007) questi tre ambiti dovrebbero anche corrispondere all'ordine con cui la chimica andrebbe insegnata dal ciclo primario al triennio delle scuole secondarie, ovvero partendo nella scuola dell'obbligo con l'esplorazione dei fenomeni a livello macroscopico, per arrivare all'approfondimento dei concetti e alla spiegazione delle teorie, prima macroscopiche e poi microscopiche. In altre parole, l'insegnamento della chimica dovrebbe seguire almeno in parte l'evoluzione storica dei concetti con una sorta di parallelismo tra l'avanzamento della conoscenza degli allievi e l'avanzamento della conoscenza della chimica nella sua storia. Una caratteristica distintiva di questo metodo è l'aspetto laboratoriale. Gli autori infatti propongono che gli allievi ripercorrano l'evoluzione della storia della chimica realizzando proprio quegli esperimenti che hanno permesso a scienziati come Lavoisier, Proust, Dalton e Gay-Lussac di comprendere cosa si produce con la calcinazione del calcare, da cosa è composta l'aria che respiriamo, come si determina il peso atomico degli elementi, ecc.

L'aspetto laboratoriale

La figura di Fritz Haber

La figura di Fritz Haber

La figura di Fritz Haber

La figura di Fritz Haber

La figura di Fritz Haber

La parte laboratoriale è essenziale per far comprendere agli studenti le condizioni sperimentali operative in cui si trovavano gli scienziati del passato, come nel caso di Lavoisier di fronte alla combustione. La realizzazione di questi esperimenti, che in molti casi, non richiedono attrezzature particolari e possono essere condotti con semplici oggetti di vetreria da laboratorio, è importante perché gli studenti imparino a:

- osservare i fenomeni,
- quantificare attraverso la misura,
- formulare loro ipotesi,
- verificare le ipotesi grazie a nuovi esperimenti.

2.2.2 L'approccio «Interactive Historical Vignette» (IHV) alle scoperte della chimica

L'efficacia della storia della chimica nell'apprendimento dei concetti fondanti della chimica è stato oggetto di molti studi nelle scuole secondarie americane (WANDERSEE – GRIFFARD 2002). Tra questi uno studio di Lin su circa quaranta classi ha dimostrato un aumento della capacità degli studenti nel risolvere problemi, se l'introduzione dei concetti fondamentali aveva seguito un approccio storico (LIN 1998). Secondo Lin il problema maggiore dell'insegnamento della chimica è che viene generalmente dedicato pochissimo tempo a spiegare, ad esempio, la teoria atomica e molecolare, quando dal punto di vista storico questa è l'esito di un lavoro di oltre cinquanta scienziati in un arco di tempo molto lungo (LIN 1998): «Nella storia della scienza, ci sono voluti oltre cinquanta anni per comprendere a pieno la distinzione tra atomo e molecole; tuttavia, gli insegnanti di oggi non spendono più di cinquanta minuti ad introdurre questi concetti chiave ai loro studenti che affrontano la chimica per la prima volta. Non sorprende quindi che gli studenti abbiano delle difficoltà nella comprensione della differenza tra atomi e molecole».

L'«Interactive Historical Vignette»

Un metodo impiegato in diverse scuole americane è il cosiddetto «Interactive Historical Vignette» (IHV), proposto per la prima volta da Wandersee (WANDERSEE 1990). Tradotto letteralmente in aneddoto storico interattivo, il metodo IHV, predisposto in numerosi step, ha l'obiettivo di presentare la storia della chimica in forma coinvolgente. Il metodo prevede una ricerca storica da parte dell'insegnante di alcuni aspetti problematici attorno ad alcune importanti scoperte. La parte centrale del metodo prevede la realizzazione di una drammatizzazione, anche attraverso un ipotetico dialogo tra scienziati protagonisti della storia, che metta in evidenza una serie di punti critici/problematici riguardanti un certo fenomeno. Lo scopo è quello di suscitare negli allievi una discussione che si estenda ad alcuni aspetti sulla natura della chimica.

La drammatizzazione

Questi sono alcuni dei passaggi che costituiscono il metodo IHV (WANDERSEE – GRIFFARD 2002):

- ricerca e lettura di fonti relative alla storia di una scoperta o teoria;
- analisi di queste fonti alla ricerca dell'elemento che può aver scaturito la riflessione o l'interesse da parte degli scienziati a risolvere un problema o analizzare un fenomeno;
- scegliere in una lista di attributi considerati significativi dal punto di vista della natura della chimica (i.e. atteggiamento scettico, empirismo, determinismo, precisione, sete di conoscenza, attenzione alla misura e alla riproducibilità, empatia, attenzione alle conoscenze già note, ecc.), quello o quelli prevalenti nella storia scelta;
- scrivere l'aneddoto storico interattivo, seguendo lo schema di 1. Breve introduzione degli scienziati protagonisti della storia, 2. Descrizione del contesto conoscitivo della scoperta e dell'aspetto critico/problematico; 3. Presentazione delle possibili soluzioni e/o ipotesi; 4. Risoluzione del problema e definizione dell'asserzione condivisa dagli scienziati;

- scrittura di una conversazione/drammatizzazione di 5/10 minuti,
- presentazione agli studenti dei primi tre punti dell'aneddoto storico interattivo;
- discussione degli studenti su come può essersi conclusa la storia, con la proposta da parte degli studenti di possibili soluzioni al problema o interpretazioni del fenomeno o tesi confermata;
- presentazione da parte dell'insegnante del punto 4 dell'aneddoto storico interattivo (il finale della storia);
- discussione di gruppo sulle implicazioni di questa storia sulla natura della conoscenza chimica, seguendo una lista di domande preparate in precedenza dall'insegnante che dovrebbero stimolare la riflessione nei ragazzi;
- proseguimento di questo approccio, con la presentazione di un nuovo aneddoto storico interattivo.

2.2.3 L'approccio umanistico/storico nella didattica della chimica

Un ulteriore approccio è quello che cerca di mettere al centro della storia, intesa come narrazione, le vicende umane oltre che scientifiche ed intellettuali degli scienziati. Esso ha lo scopo di sottolineare l'aspetto umanistico della chimica, come descritto dai modelli di Mahaffy (MAHAFFY 2006) e di Sjöström (SJÖSTRÖM 2013), stimolando la riflessione critica sulle implicazioni sociali, politiche, etiche delle varie scoperte. Un esempio di questo approccio è quello che vede l'analisi di varie sfaccettature dello scienziato o degli scienziati protagonisti della storia che vogliamo raccontare. Tra queste sfaccettature possono diventare importanti anche aspetti legati alla vita familiare o al carattere di uno scienziato, così come le sue relazioni con altri scienziati o il contesto culturale, il rapporto con la fede o con la politica e le istituzioni.

L'aspetto umanistico della chimica

Un esempio di questo approccio è stato descritto da Kristin A. Olsson (OLSSON – BALGOPAL – LEVINGER 2015), centrato attorno alla controversa figura di uno dei chimici più noti del XX secolo, **Fritz Haber**.

La figura di Fritz Haber

Secondo questo approccio, i ragazzi vengono divisi in gruppi. Ognuno approfondisce un aspetto della vita e dell'attività dello scienziato. Nel caso particolare della figura di Fritz Haber, i cinque gruppi in cui possono essere distribuiti gli studenti raccolgono informazioni su: 1. La vita personale dello scienziato; 2. I legami tra chimica e la prima guerra mondiale; 3. La vicenda dell'assegnazione del premio Nobel e le posizioni dei colleghi scienziati; 4. Il processo di fissazione dell'azoto e le implicazioni industriali ed economiche dell'invenzione di Haber; 5. Il contesto culturale della Germania e le radici ebraiche della famiglia di Haber.

I gruppi espongono le informazioni raccolte, le discutono con i compagni e costruiscono una mappa concettuale. Durante la discussione possono emergere differenti punti di vista come, ad esempio, l'esaltazione della scoperta scientifica, la disapprovazione nei confronti dell'uso della chimica a scopo bellico, la questione etica. Gli allievi sperimentano gli aspetti problematici della chimica che possono suscitare interrogativi a cui è dif-

I PROTAGONISTI

La figura di Fritz Haber

Fritz Haber è considerato uno dei chimici più influenti del XX secolo. Fu lui a ideare un nuovo metodo per la sintesi dell'ammoniaca a partire da azoto e idrogeno, in presenza di un catalizzatore eterogeneo a base di ferro. Il processo proposto da Haber superava un problema tecnologico assai rilevante, ovvero la necessità di raggiungere temperature elevatissime per poter rompere i legami della molecola di azoto. Grazie al catalizzatore, la reazione fu resa possibile a temperature molto più ragionevoli, dando avvio ad uno sviluppo enorme dell'industria dell'ammoniaca, alla base di tantissimi prodotti secondari, come i fertilizzanti e gli esplosivi. Haber fu molto legato alle istituzioni politiche e militari della Germania ed ebbe una grande influenza sulle scelte fatte dalla Germania durante la prima guerra mondiale. Nel

1918 vinse il Nobel per la chimica proprio «per la sintesi dell'ammoniaca dai suoi elementi» e per il «grande beneficio (della sua scoperta) per l'umanità». Negli stessi anni, tuttavia, Haber, fu protagonista anche di azioni molto meno nobili che l'Accademia Svedese non tenne in considerazione. Fritz Haber, infatti, fu per tutti gli anni della grande guerra a fianco dei soldati tedeschi che, a partire dal tristemente famoso 22 aprile 1915 con la battaglia di Ypres in Belgio, iniziarono ad utilizzare un gas, in particolare il cloro, come arma di distruzione di massa. Era la prima volta nella storia che un gas tossico veniva utilizzato a questo scopo. Per il suo coinvolgimento diretto nelle azioni militari tedesche, Haber, nello stesso anno del Nobel, fu dichiarato criminale di guerra dagli alleati (VILLANI 2016).

ficile dare risposta, come: Fritz Haber si meritava il Nobel? L'Accademia delle scienze avrebbe dovuto evitare di assegnare questo Nobel?

Questo metodo accompagna gli alunni a considerare la chimica nel suo stretto legame con la società, la politica, la cultura e le vicende umane.

2.2.4 L'importanza dei «piccoli» scienziati nella narrazione della chimica

Questo approccio è stato proposto di recente dall'epistemologo Eric Scerri e si collega alla necessità di introdurre nell'insegnamento della chimica la narrazione nell'ottica di Jerome Bruner (BRUNER 1997). L'importanza delle storie nella didattica della chimica, anche quelle dei «piccoli» scienziati, quelli che non si trovano di solito sui libri di scuola, è al centro delle opere di Scerri *A Tale of Seven Scientists and a New Philosophy of Science* (SCERRI 2016) e *Un racconto di sette elementi*, recentemente tradotta in italiano (SCERRI 2017). La conoscenza scientifica è intrecciata alla vita degli individui, al contesto culturale, sociale e politico in cui operano gli scienziati. Un testo particolarmente interessante e utile dal punto di vista didattico è il racconto della scoperta di sette elementi: tecnezio, promezio, afnio, renio, astato, francio e protoattinio (SCERRI 2017).

Secondo Scerri, il racconto della storia della scienza attraverso i contributi importanti ha anche altre funzioni: oltre a contribuire ad una visione della scienza più vicina alla realtà, ovvero non lineare, dinamica e complessa, parlare dei «piccoli» scienziati ha un valore educativo nei

La conoscenza scientifica e la vita degli individui

I «piccoli» scienziati

confronti degli studenti, come incoraggiamento ad intraprendere un cammino nella scienza, perché la scienza è un'impresa collettiva e non un lavoro di singoli personaggi. Inoltre, consente di evitare l'associazione dei concetti della chimica ad un solo scienziato, perché questo nella maggior parte dei casi non corrisponde alla realtà delle cose.

2.2.5 L'approccio sistemico/storico alle grandi scoperte del Novecento e dei nostri giorni

Come detto in precedenza, la storia della chimica del Novecento e dei nostri giorni è strettamente intrecciata ad altri aspetti della società e non è slegata dalle altre scienze. La chimica è oggi ritenuta una scienza trasversale, perché essenziale per altre discipline scientifiche, come la nanotecnologia, le biotecnologie e le nuove pratiche della biologia molecolare, le scienze dei materiali e persino alcuni settori della medicina. L'approccio sistemico/storico è finalizzato a far emergere le relazioni complesse tra varie discipline, mettendo in evidenza, ove possibile, la centralità della chimica (CELESTINO – MARCHETTI 2015). Alcune scoperte scientifiche e alcuni momenti della storia della scienza del XX secolo fino ai giorni nostri si prestano particolarmente bene alla trattazione sistemica (VILLANI 2008).

In tal senso vanno gli esempi relativi alla scoperta della struttura del DNA e alla nascita della biologia molecolare, alla scoperta dei materiali superconduttori, alla nascita della nanoscienza e al contrasto dialettico tra Feynman (fisico) e Lehn (chimico), alla spiegazione del concetto di legame molecolare nella visione della meccanica quantistica (ad esempio rappresentata dalla posizione riduzionista di Dirac) e nella visione della chimica (ad esempio rappresentata dalla posizione di Pauling).

Per una selezione degli argomenti che possono essere trattati con questo approccio, anche quelli relativi alla storia più recente, una risorsa eccellente è rappresentata dalla nuova edizione del volume già in precedenza citato, di Luigi Cerruti, *Bella e Potente* (CERRUTI 2016).

La chimica
come scienza sistemica