

Bella, potente e velata

Un'interpretazione storiografica dell'immagine attuale della chimica

di Luigi Cerruti

L'immagine attuale della chimica è talmente velata che forse solo un chimico può vedere quanto sia bella e potente la sua disciplina: bella dal punto di vista conoscitivo, potente nelle applicazioni pratiche e nei rapporti con le altre scienze. Non si tratta affatto di un abbaglio, dovuto ad un eccesso di passione professionale, come alcune semplici riflessioni storiche possono dimostrare con una certa immediatezza.



Linus Pauling è l'uomo simbolo della chimica del Novecento. Come ricercatore ha lavorato costantemente sui confini della chimica con la fisica e con la biologia, come cittadino ha condotto una strenua lotta in favore del disarmo nucleare

La storia della chimica va vista nel suo complesso e con una traiettoria che giunga fino ai giorni nostri [1], piuttosto che frammentata in sotto-discipline e privata di eventi dell'importanza della nascita della chimica supramolecolare [2]. Il ragionamento che cercherò di sviluppare partirà dalla descrizione della complessità di ciò che chiamiamo 'chimica', illustrerà alcuni tratti fondamentali della chimica del Novecento - insistendo sui rapporti con fisica e biologia - e infine avanzerà un'interpretazione storiografica del deterioramento dell'immagine della chimica, un'interpretazione basata sulla teoria dell'autopoiesi dei biologi cileni Maturana e Varela [3].

sempre suscitato la biografia degli *scienziati*, però i ricercatori non sono vissuti (e non vivono) sulle nuvole, e così gli storici hanno descritto le vicende di *strumentazioni, impianti, laboratori, istituzioni, società professionali ecc.* che permettono

Tabella 1 - Relazioni epistemiche fondamentali

Chimica		Fisica	
manipola sostanze macroscopiche		utilizza strumenti macroscopici	
↓		↓	
realizza eventi a livello microscopico e ottiene		realizza eventi a livello microscopico e ottiene	
↓	↓	↓	
sostanze macroscopiche	conoscenza disciplinare	conoscenza disciplinare	

Gli storici della scienza e la chimica

Se si considerano i molti argomenti che fanno parte della storia della chimica si può disegnare una mappa delle molte 'regioni' che costituiscono la chimica nel suo significato sociale più ampio. Innanzi tutto la storia ha studiato la *conoscenza* acquisita nel campo; qui si constata che la chimica è la scienza sperimentale che può vantare il più vasto patrimonio conoscitivo. Connesse, e molto articolate, sono le *procedure conoscitive* che portano (presumibilmente) alla produzione di conoscenza; esse comprendono in primo luogo le scelte tematiche, le pratiche di laboratorio, l'uso delle teorie [4]. Grande interesse ha

agli scienziati di compiere il loro lavoro conoscitivo e di riprodursi in quanto scienziati. Gli storici sono come cani da tartufo, scavano costantemente nella *documentazione* in cui viene depositata la conoscenza prodotta, e scrivono la storia dei *mezzi specializzati di comunicazione*, giornali, riviste, libri di testo, che fanno circolare la conoscenza all'interno del sistema. Si sono scritte anche importanti storie dedicate a *sostanze* e a *materiali*, all'*industria chimica* e agli *impianti industriali*. Appartengono alla chimica componenti estremamente diversi, che sono portati ad una particolarissima 'unità' dal contribuire in modo indispensabile al funzionamento della relazione epistemica fondamentale della chimica, descritta in Tabella 1. A questo proposito va anche notato che non sempre si ricorda che i chimici *producono contestualmente sostanze e conoscenza*.

La chimica del Novecento

Una storia della chimica dovrebbe quindi tener conto di tutti i componenti cui ho accennato, ma lo storico è uno specialista della selezione, dei documenti non meno che degli eventi e dei personaggi. Così, in estrema sintesi, i principali eventi/processi che caratterizzano la storia della chimica nel Novecento possono essere ridotti a sei (Tabella 2). Innanzi tutto si sono articolati due nuovi, grandi orizzonti di ricerca: la chimica macromolecolare e la chimica supramolecolare, che si sono situati accanto all'orizzonte molecolare classico (Tabella 3).

La chimica macromolecolare nacque negli anni 1920-1930 ad opera di Hermann Staudinger (la fondazione) e Wallace Carothers (la razionalizzazione), e vide uno sviluppo impreveduto e travolgente

L. Cerruti, Dipartimento di Chimica generale ed organica applicata - Univ. di Torino. luigi.cerruti@unito.it

negli anni Cinquanta per il contributo di Giulio Natta e della sua scuola. Alcuni tratti della chimica macromolecolare sono comuni alla chimica molecolare classica, e fra questi la conoscenza costruttiva della struttura degli alti polimeri. Però, mentre la chimica classica si 'accontentava' di tendere alla sostituzione delle *sostanze naturali*, la chimica macromolecolare ha portato alla sostituzione di *materiali naturali*, dalle fibre al caucciù. Sono stati radicali anche i mutamenti a livello epistemologico, dove - per esempio - ad un valore unico, definitorio, di 'peso molecolare' è stata sostituita una distribuzione statistica.

rispetto a tutti gli altri parametri energetici pertinenti [6]. Citerò più oltre una differenza storicamente assai significativa fra chimica macromolecolare e chimica supramolecolare.

Per quanto riguarda le teorie richiamate in Tabella 2, vi è stata una sincronia impressionante fra lo sviluppo della teoria elettronica in chimica organica e la nascita della teoria quantistica del legame chimico e degli orbitali molecolari. Entrambe le teorie furono proposte alla fine degli anni Venti e negli anni Trenta, e ciò che impressiona è la *reciproca totale indipendenza*. Robert Robinson prima, Christofer Ingold e Edward Hughes do-

dal carbone al petrolio avvenuta durante la seconda guerra mondiale, negli Stati Uniti la diffusione della strumentazione chimico-fisica (UV, infrarosso, spettrometria di massa, Nmr) si realizzò con un decennio netto di anticipo rispetto all'Europa. Già nel 1956 il grande Woodward poteva affermare che nessuna tecnica più dell'infrarosso aveva maggiormente cambiato le procedure del chimico organico, e prevedeva l'enorme utilità della spettroscopia di risonanza magnetica, allora appena all'orizzonte. Il processo di trasformazione della 'composizione tecnica' del capitale investito nei laboratori è andato avanti con rapidità maggiore della capacità di assimilazione da parte dei componenti umani della chimica. Una certa perdita di professionalità colpì tutti quei chimici la cui vita di laboratorio ruotava in varia misura intorno alla determinazione della struttura dei composti organici per via chimica, l'unica fino ad allora praticabile. Accanto alle tecniche spettroscopiche ebbero una funzione straordinaria anche tecniche povere come le molte cromatografie, l'elettroforesi zonale, e i loro incroci.

L'aspetto cruciale di questa trasformazione, quello che ha avuto il maggiore impatto sul destino della chimica, è stato l'accesso dei chimici ad una seconda relazione epistemica, che fino ad allora era stata appannaggio esclusivo dei fisici o di una minuscola *élite* di chimici. Nell'ambito della chimica classica ci si doveva limitare alla determinazione di proprietà macroscopiche della sostanze (Tabella 3), ora i chimici potevano fare un uso 'liberale' di informazioni sulle proprietà di oggetti microscopici, inclusi preziosi dati strutturali ed energetici (Tabella 2). La chimica *classica* si è mutata nella chimica *contemporanea* (attenzione, è un termine puramente cronologico) attraverso l'appropriazione della seconda relazione epistemica di Tabella 1.

I mutamenti avvenuti nelle tecniche sperimentali sono essenziali per comprendere la natura dei rapporti della chimica con la biologia e con la fisica nella seconda metà del Novecento.

I rapporti con la biologia

I rapporti della chimica con la biologia datano dalla nascita delle due discipline, a cavallo fra Settecento e Ottocento. Nel Novecento possiamo distinguere almeno quattro tappe fondamentali. Nei primi due decenni del secolo scorso si assiste all'affermarsi della biochimica, con ricer-

Tabella 2 - I principali eventi della chimica del Novecento

<i>Le procedure conoscitive</i>	<i>I processi storici</i>	
Orizzonti conoscitivi	Nascita e sviluppo della chimica macromolecolare Nascita e sviluppo della chimica supramolecolare	
Teorie fondamentali	Sviluppo della teorie elettroniche in chimica organica Teorie quantistiche del legame chimico e degli orbitali molecolari	
Pratiche sperimentali	Trasformazione del laboratorio	Tecniche di separazione Determinazione di proprietà microscopiche

Tabella 3 - I tratti fondamentali della chimica classica

<i>Le procedure conoscitive</i>	<i>I tratti fondamentali</i>	
Orizzonti conoscitivi	Chimica molecolare	Conoscenza costruttiva della struttura Sostituzione delle sostanze naturali
Teorie fondamentali	Controllo della reattività mediante catalisi Teoria atomico-molecolare, incluso il sistema periodico Teoria della struttura	
Pratiche sperimentali	Interazione di sostanze con sostanze Determinazione di proprietà macroscopiche delle sostanze	

Le origini della chimica supramolecolare vanno poste negli anni 1960-1970. La sua fondazione fu 'canonizzata' con il premio Nobel assegnato a Charles Pedersen, Jean-Marie Lehn e Donald Cram nel 1987, due americani e un francese, con il massimo contributo venuto come nel caso della chimica macromolecolare dall'Europa. È stato Lehn che ha elaborato molti punti fondamentali della chimica supramolecolare, dandone anche una definizione diventata classica, in riferimento a più specie molecolari 'tenute insieme' da forze intermolecolari [5]. I successivi sviluppi, particolarmente nella fotochimica supramolecolare dove primeggia il nostro Vincenzo Balzani, hanno esteso il dominio supramolecolare a tutti quei sistemi dove le energie di interazione fra le unità componenti sono piccole

po, hanno elaborato i canoni interpretativi della mobilità elettronica e della reattività in chimica organica a partire dal modello di Lewis, e senza uso alcuno di concetti quantistici. Questi concetti hanno avuto una funzione essenziale molto più tardi, nel 1966, quando Robert Woodward propose anche a nome del ventinovenne Roald Hoffmann le 'regole' che esplicitavano il rapporto fra struttura elettronica e diversa reattività a seconda di un'eccitazione termica o fotochimica.

La trasformazione del laboratorio

Un particolare rilievo merita il mutamento avvenuto nelle pratiche sperimentali a partire dagli anni Cinquanta [7]. Per motivi strettamente legati allo sviluppo industriale, e in particolare alla transizione

che focalizzate sui temi allora nuovi o nuovissimi degli enzimi, degli ormoni e delle vitamine. Negli anni fra le due guerre mondiali fioriscono le indagini sul metabolismo intermedio; è il periodo delle pubblicazioni di Krebs sul ciclo dell'acido citrico. Dopo il 1945 la proposta di Archer Martin della cromatografia su carta, è seguita in breve tempo dallo sviluppo delle diverse elettroforesi di zona, ancora su carta, su agar, gel d'amido, poliacrilammide. I risultati ottenuti con queste tecniche povere, o comunque accessibili a moltissimi laboratori, sono stati straordinari per la chimica, e sconvolgenti per la biologia. La pubblicazione della struttura primaria dell'insulina da parte di Frederick Sanger nel 1955 ha segnato una svolta nel pensiero biochimico nei confronti delle proteine, indicando una volta per tutte la non-periodicità delle sequenze e la loro natura 'individuale'. La determinazione delle sequenze delle proteine ha appassionato i biochimici per un paio di decenni, e a partire da queste analisi la biochimica si è arricchita di nuove tematiche, dalle malattie 'molecolari' all'evoluzione, non meno 'molecolare', con entrambe le tematiche ben collocate all'interno delle scienze bio-mediche e biologiche. Assai più dirimpante quanto avvenuto in biologia.

Oltre alla decifrazione del codice genetico, a cui arriverò fra un momento, l'evento che più ha sconvolto il pensiero biologico nella seconda metà del Novecento è stata la scoperta inattesa dell'estrema variabilità genetica delle popolazioni, quando i fenotipi sono studiati a livello molecolare. A metà degli anni Sessanta un polimorfismo enzimatico generalizzato veniva messo in evidenza nelle popolazioni umane dal biochimico inglese Harry Harris, e nelle popolazioni di *Drosophila pseudoobscura* dal biologo americano Richard Lewontin. Queste scoperte furono moltiplicate a dismisura, in riferimento a moltissime specie, tanto che si parlò di 'rivoluzione elettroforetica' in biologia. Il termine 'rivoluzione' è quasi sempre usato a sproposito, comunque questo caso vi si avvicina perché furono messi in discussione un principio metodologico importante ed un aspetto fondamentale della teoria dell'evoluzione. Il principio riguardava la separazione fra 'normale' e 'anormale', mentre per la teoria dell'evoluzione la selezione naturale veniva (giustamente) indebolita attraverso la messa in evidenza di mutazioni 'neutrali', acquisite nel genotipo senza intervento di particolari meccanismi di selezione [8].

Il caso della biologia molecolare

L'articolo di una pagina pubblicato da J.D. Watson e F. Crick su *Nature* il 25 aprile 1953 è, negli aspetti positivi e negativi, un classico della letteratura scientifica. Nelle due colonne di testo è inserita una figura con la struttura a doppia elica del Dna, un'immagine che assurgerà a simbolo di una nuova era. Gli autori sono perfettamente consapevoli delle conseguenze che la loro scoperta avrà sulla genetica, e ne accennano verso la fine della nota con un *understatement* di grande efficacia retorica.

Gli aspetti negativi sono due, uno palese e l'altro occulto. Quello palese è il rilievo minimo dato al lavoro del biochimico Erwin Chargaff, che nel 1950 aveva determinato per il Dna il rapporto 1:1 fra adenina e timina, e fra guanina e citosina; senza questo rapporto non avrebbero potuto nemmeno concepire il loro modello. L'aspetto occulto riguarda l'origine di altre informazioni chiave di carattere strutturale, tra cui la posizione delle basi, rivolte verso l'interno delle spirali.



biochimica, Robert Holley aveva un Ph.D. in chimica organica e Gobind Khorrana aveva ottenuto il suo Ph.D. presso il Dipartimento di Chimica dell'Università di Liverpool. Anche viste in dettaglio le tre traiettorie personali chiariscono in modo inequivocabile che la decifrazione del codice genetico, una delle maggiori imprese conoscitive del Novecento, fu realizzata in un ambito disciplinare ben definito - quello della biochimica - e non in quello della biologia molecolare (per quanto generosa possa essere la definizione di biologia molecolare).

Ma c'è di più. Il metodo sperimentale con cui si ottiene il Dna 'ricombinante' è dovuto al biochimico Paul Berg, e l'articolo del 1972 in cui descrive la 'cassetta dei ferri' della manipolazione genetica e l'uso che viene fatto di molti enzimi, dimostra che la 'cassetta' non è altro che un reagentario biochimico, dove i reagenti principali sono enzimi di restrizione per tagliare il Dna e la ligasi per richiuderlo; esonucleasi per la degradazione e Dna polimerasi per ripararlo; trasferasi terminale per creare le estremità 'adesive' dei filamenti di Dna.

Un momento emozionante.

I tre scienziati che decifrarono il codice genetico sono qui ritratti in attesa di essere chiamati dal re di Svezia Gustavo VI Adolfo per ricevere il Premio Nobel 1968 per la fisiologia o la medicina. In prima fila si riconoscono da destra a sinistra: Yasunari Kawabata, Premio Nobel per la letteratura, e i tre biochimici Marshall Nirenberg, Har Gobind Khorana, Robert Holley

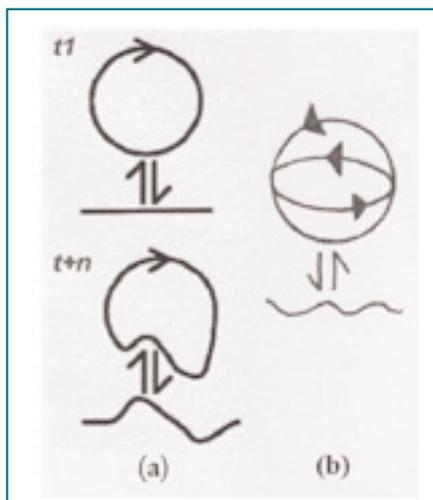
Era stato M.H.F. Wilkins ad informare (lastre sottratte alla mano) Watson e Crick dei progressi compiuti da una sua collega, Rosalind Franklin. Franklin morirà di cancro a 37 anni, nel 1958. Watson, Crick e Wilkins vinceranno il Nobel per la medicina nel 1962 [9]. Se si volesse fare un po' di morale a buon mercato si potrebbe parlare di 'peccato originale' della biologia molecolare, una disciplina ai cui inizi troviamo scelte di politica della scienza, piuttosto che l'apertura originale di un nuovo orizzonte di ricerca. Un nuovo orizzonte fu in realtà aperto, e fu quello della manipolazione genetica, tuttavia in questo caso il contributo dei chimici e dei biochimici fu assolutamente preponderante. I tre premiati con il Nobel nel 1968 per la *decifrazione del codice genetico* erano tutti biochimici: Marshall Nirenberg aveva conseguito il suo Ph.D. in

Non meno chimicamente chiaro, e rilevante il contributo del biochimico Kary Mullis. L'*amplificazione del Dna* fu ottenuta da lui nel 1983 con un procedimento diventato canonico sotto l'acronimo PCR. La miscela di reazione della PCR è relativamente semplice: ad una piccola quantità del Dna di cui si vuole 'amplificare' una parte viene aggiunta una soluzione tamponata di Dna polimerasi, oligonucleotidi sintetici che servono da 'inneschi' e che andranno a delimitare il segmento prescelto del Dna, i quattro nucleotidi costituenti il Dna e cloruro di magnesio come cofattore. La reazione procede in cicli con cambiamenti di temperatura ben calibrati per ottenere una copia del frammento di interesse, e al termine di ogni ciclo il numero delle copie raddoppia. Si tratta di uno splendido esempio di controllo della *reattività chimica*.

I difficili rapporti epistemologici con i fisici

Per semplificare al massimo l'argomentazione si possono trattare i rapporti epistemologici fra chimica e fisica all'insegna del ricorrente, presuntuoso e fastidioso tentativo di fisici eminenti di 'ridurre' la chimica alla fisica.

Data l'estrema attualità delle nanoscienze riprendo le posizioni espresse da Richard Feynman, uno dei più celebri fisici del Novecento. Feynman era un ottimo oratore: il 29 dicembre 1959 tenne una conferenza all'incontro annuale dell'American Physical Society, e questa conferenza dal titolo *There's plenty of room at the bottom* fu poi assunta come una straordinaria profezia delle nanoscienze. In realtà basta leggerla per accorgersi che contiene diverse sciocchezze nei riguardi della chimica.



Il modello autopoietico: a) Il divenire della chimica (linea chiusa) e del suo ambiente in due tempi successivi; b) con la trasformazione del laboratorio la chimica è diventata più complessa, si è annessa una parte della fisica e ha metabolizzato la meccanica quantistica

Da 'fisico doc' Feynman non si può trattenere: "Attualmente la teoria dei processi chimici è basata sulla fisica teorica. In questo senso, la fisica fornisce la fondazione della chimica (*the foundation of chemistry*)". Tuttavia, aggiunge Feynman, la chimica ha anche l'analisi: "Ma se i fisici lo volessero, potrebbero togliere il terreno sotto i piedi dei chimici anche sul problema dell'analisi chimica. Sarebbe molto facile fare l'analisi di qualsiasi sostanza chimica complicata; tutto ciò che dovrete fare è guardarla

(*to look at it*) e vedere dove sono gli atomi. Il solo guaio è che il microscopio elettronico è di un centinaio di volte troppo debole". È evidente che il nostro fisico non ha la più pallida idea di cosa sia un campione (macroscopico, ponderabile) da analizzare. Non contento, Feynman insiste: "Più tardi, vorrei porre questa domanda: Possono i fisici fare qualcosa sul terzo problema della chimica - cioè la sintesi? C'è un modo fisico (*physical way*) di sintetizzare una sostanza chimica?". Verso la fine del talk il grande fisico non si trattiene più e si risponde: "Ma è interessante che sarebbe in via di principio possibile (io penso) per un fisico sintetizzare qualsiasi sostanza chimica (*any chemical substance*) che il chimico descrive. Date gli ordini e il fisico la sintetizza. Come? Mette giù gli atomi dove dice il chimico, e così fate la sostanza" [10]. È sbalorditivo come uno scienziato che ha passato la vita a studiare i processi fisici, che ha inventato un modo speciale per rappresentare gli *eventi* particellari, cancelli tutto questo quando passa dal dominio dei fenomeni 'fisici' a quelli 'chimici', quasi che la diversa classificazione porti con sé una totale staticità e non reattività del livello ontologico considerato. Sarebbe possibile costruire una molecola di cortisone, compresi i centri asimmetrici, mettendo gli 'atomi' l'uno accanto all'altro!

Persino il diavoleto di Maxwell era più dinamico del fisico di Feynman intento a *guardare* un mondo microscopico provvidenzialmente immobile. Ma Feynman sbaglia anche da un punto di vista operativo; infatti, per sostituire il chimico, il fisico dovrebbe ripetere la sua sintesi *top-down* almeno 10^{18} - 10^{19} volte prima di avere una *quantità ponderabile* di sostanza. William N. Lipscomb, allievo di Pauling e premio Nobel per la chimica nel 1976, ha espresso con chiarezza un'opinione condivisa da molti chimici: "La chimica non è una fisica meno rigorosa. In chimica si possono scoprire principi guida per sistemi che sono troppo complessi per un approccio dai 'primi principi'. La natura della chimica è molto difficile da spiegare alla maggior parte dei fisici, per quanto ho visto io!" [11]. Personalmente sono convinto che vi sia una forte asimmetria epistemologica fra la comprensione che i chimici hanno della fisica e la comprensione che i fisici hanno della chimica. Si tratta di una asimmetria che deriva dalle due diverse relazioni epistemiche delineate in Tabella 1, però prima di approfondire la questione è opportuno ri-

prendere i termini essenziali della teoria dell'autopoesi, che come vedremo subito, ci permette di giungere a conclusioni abbastanza sorprendenti.

Le scienze come unità autonome

Nel 1980 i biologi Humberto Maturana e Francisco Varela pubblicarono un testo di biologia teorica dal titolo *Autopoiesis and Cognition*. La profondità delle riflessioni dei due autori è veramente notevole, tale da aver prodotto negli anni una imponente letteratura, di commento e di sviluppo, nelle discipline più diverse, dalla psichiatria, alla sociologia, alle 'chimiche artificiali'. Il problema di Maturana e Varela è di definire il 'vivente' e di delineare le sue caratteristiche fondamentali. Il cuore del problema (cioè la sua soluzione) è la definizione di "macchina autopoietica": "è un sistema omeostatico che ha la sua propria organizzazione come la variabile fondamentale che mantiene costante". In termini un po' più espliciti "una macchina autopoietica continuamente genera e specifica la sua propria organizzazione mediante il suo operare come sistema di produzione dei suoi propri componenti, e lo fa in un turnover senza fine di componenti in condizioni di continue perturbazioni e di compensazione di perturbazioni" [12]. Maturana e Varela distinguono nettamente fra 'organizzazione' e 'struttura': "L'organizzazione denota quelle relazioni che devono esistere fra le componenti di un sistema affinché esso sia un membro di una specifica classe", "La struttura denota i componenti e le relazioni che effettivamente costituiscono una particolare unità e rendono reale la sua organizzazione" [13]. Sono quindi le relazioni che definiscono una unità autopoietica, e nel nostro caso la relazione epistemica di Tabella 1 è sufficiente per definire la 'chimica' nel senso complesso e articolato degli storici (e dei chimici, ovviamente) [14]. Con una procedura analoga si possono indicare una o più relazioni epistemiche che portano a definire le altre grandi discipline scientifiche. Essendo entità operanti nel mondo quale lo conosciamo ('reale', quindi) le unità autopoietiche seguono le leggi della termodinamica, e dato che scambiano energia e materia con l'ambiente sono sistemi aperti. Qui però Maturana e Varela introducono il concetto nuovo e veramente fondamentale di 'chiusura operativa', che si riferisce allo scambio di 'informazioni' fra l'unità e il resto del mondo: "le macchine

autopoietiche non hanno input o output. Esse possono essere perturbate da eventi indipendenti e passano attraverso cambiamenti strutturali interni che compensano queste perturbazioni. [...] Qualsiasi serie di cambiamenti interni abbia luogo, tuttavia, essi sono sempre subordinati al mantenimento dell'organizzazione della macchina, condizione che è definitoria delle macchine autopoietiche" [15]. I mutamenti nelle unità autopoietiche avvengono attraverso interazioni con il loro ambiente, che ha sua volta subisce delle trasformazioni (Figura 1a). Le interazioni diventano particolarmente significative quando si ha un *accoppiamento* fra le strutture appartenenti ad unità diverse o ad una unità e al suo ambiente; secondo Maturana e Varela si ha "accoppiamento strutturale ogni qual volta vi è una storia di interazioni ricorrenti che porta ad una congruenza strutturale fra due (o più) sistemi" [16].

La chimica digerisce una parte della fisica

Vediamo ora il percorso seguito dalla meccanica quantistica per avere un'efficacia diffusa all'interno della chimica. Si è già detto che le teorie elettroniche in chimica organica ebbero uno sviluppo completamente indipendente dal contemporaneo affermarsi della nuova fisica di Heisenberg e Schrödinger.

La seconda innovazione teorica di Tabella 2 ebbe origine da un *accoppiamento strutturale* diretto tra chimica e fisica, dovuto principalmente al lavoro di confine di scienziati come Pauling, Slater, Mulliken e Hückel, ma ebbe un impatto decisivo sulle procedure conoscitive dei chimici solo quando si realizzò l'ultimo processo storico citato nella Tabella 2, la trasformazione del laboratorio. La meccanica quantistica entrò nei ragionamenti e nella prassi quotidiana dei chimici per la necessità di interpretare correttamente i segnali della spettroscopia infrarossa e - ancor più - i segnali Nmr. Fin dal 1956 il grande Woodward aveva rivolto ai colleghi un invito pressante: "La capacità dello specialista fisico di collocare i suoi risultati nel contesto di una ricerca di chimica organica è spesso ristretta e irrealistica, e il chimico organico si ritroverà ricompensato in modo magnifico, se si farà carico di mettersi in grado di comprendere e interpretare da sé le risorse fisiche che desidera usare" [17]. La chimica nel suo complesso ha impiegato il tempo di una generazione per assimila-

re alle proprie procedure conoscitive la strumentazione fisica, ma al termine del processo, alla fine degli anni Settanta, essa stessa si ritrovava trasformata. Era ormai diventata vitale al suo interno una nuova e diversa relazione epistemica, che fino ad allora era stata propria dell'epistemologia regionale della fisica. Lo schema della Figura 1b, intende rappresentare una chimica evoluta rispetto a quella della Figura 1a.

È questo uno dei risultati più importanti della nostra ricerca: lungi dall'essere sottomessa alla fisica, secondo le pretese di Feynman (e di Dirac ...), la chimica ha letteralmente fagocitato una parte rilevante della fisica. Nella generalità dei casi alla fine del Novecento gli strumenti fisici nei laboratori chimici erano gestiti da chimici, e i loro dati erano interpretati secondo le modalità suggerite da Woodward, interne alla disciplina. Senza questa padronanza, di *gestione degli strumenti fisici* e di *interpretazione dei dati* la chimica supramolecolare non sarebbe potuta nascere, e in questo si differenzia nettamente dalla chimica macromolecolare.

L'immagine della chimica

Se assumiamo ancora la 'chimica' come un'immensa unità autopoietica, la cui struttura comprende tutto quanto elencato all'inizio del nostro ragionamento, e consideriamo l'*accoppiamento strutturale* fra la 'chimica' e la 'società', giungiamo subito a importanti conclusioni. La chimica e la società industriale si sono co-evolute, influenzandosi reciprocamente, e non c'è alcun dubbio che le maggiori perturbazioni alla società sono giunte da quel costituente della 'chimica' che chiamiamo 'industria chimica'.

La 'industria chimica' è di per sé un'imponente unità autonoma, di grande complessità, e così socialmente rilevante che il suo comportamento diventa rappresentativo di quello dell'intera 'chimica'. Anche se le perturbazioni generate dall'industria chimica sulla società sono state in gran parte favorevoli al miglioramento delle condizioni di vita nei paesi industrializzati, ciò che a partire dagli anni Settanta è entrato con sempre maggior forza nell'opinione collettiva è l'immagine di una 'chimica' (senza aggettivi) devastante dell'ambiente e pericolosa per la persona. Che questa sia oggi l'immagine prevalente è addirittura fuori discussione. La teoria di Maturana e Varela ci aiuta a comprendere questa situazione. Nella realtà cognitiva dei cittadini

delle società industriali, 'unità autopoietiche' di primo ordine, così come nella realtà cognitiva di tutte le unità di ordine superiore fino alle società nazionali, la 'chimica' compare attraverso il suo componente più forte, attivo, e invadente, l'industria chimica, e attraverso i prodotti industriali. Il declino dell'immagine della chimica corrisponde puntualmente al declino dell'immagine dell'industria chimica. Di questo 'parallelismo' sono in certa parte corresponsabili gli stessi chimici. Presi nel loro complesso, come 'comunità chimica', essi hanno taciuto per decenni, quando i guasti ambientali, fuori e dentro la fabbrica, avvenivano senza che l'opinione pubblica vi rivolgesse la minima attenzione. Rachel Carson pubblicò *Silent Spring* nel 1962, più di *quaranta anni* fa. Se i chimici americani invece di 'lapidarla' avessero fatte proprie le 'ragioni' più ragionevoli di Carson in difesa dell'ambiente, non si sarebbe dovuto aspettare il 1988, *ventisei anni* dopo *Silent Spring*, per l'inizio negli Stati Uniti del programma di tutela denominato *Responsible Care*. Se la comunità dei chimici italiani non avesse continuato a sonnecchiare, forse non si sarebbe dovuto aspettare il 1994 per il lancio dello stesso programma in Italia.

D'altra parte, come dicono Maturana e Varela, ad una unità autopoietica non si possono dare 'istruzioni', e la comunità dei chimici americani lesse il libro di Rachel Carson con i suoi occhi del 1962, ossia con quelli di una comunità potente, che pochi anni prima aveva contribuito fortemente alla vittoria del Paese nel conflitto mondiale, e che sembrava essere alla testa della conquista dei mercati da parte dell'industria statunitense. Come ho sottolineato, trascorse un'intera generazione prima che si prendessero provvedimenti collettivi in difesa della sicurezza dei lavoratori e dei consumatori, e dell'integrità dell'ambiente naturale.

Conclusioni

Il workshop "Riflessioni sulla chimica e dintorni", tenuto a Forlì nel marzo scorso, ha confermato che lo stato di salute disciplinare della chimica è eccellente, un fatto dimostrato anche dal fiorire di nuove discipline, dalla chimica computazionale alla chimica combinatoriale. Il contrasto fra una chimica bella e potente ed una sua immagine così pesantemente velata è stridente, tale da richiedere un forte intervento della comunità dei chimici a livello di presenza politica e

culturale. Ho approfondito altrove [18], e posto in diversi contesti [19], il problema che rende un simile intervento tutt'altro che corporativo: in uno Stato industrializzato ed esposto ai venti della globalizzazione tutti i cittadini hanno *bisogno di cultura scientifica*.

Si tratta di un bisogno a cui si deve rispondere urgentemente attraverso l'educazione e l'informazione, pena un crescente deficit di democrazia cognitiva che impedirebbe alla maggioranza dei cittadini di comprendere i termini reali di scelte fondamentali, come quelle sugli Ogm e sulla tutela dell'ambiente.

Bibliografia

- [1] L. Cerruti, *Bella & Potente*. La chimica del Novecento fra scienza e società, Roma, Editori Riuniti, 2003.
- [2] C. Reinhardt, *Chemical Sciences in the 20th Century*. Bridging Boundaries, Wiley-VCH, Weinheim, 2001.
- [3] H. Maturana, F. Varela, *Autopoiesi e cognizione*. La realizzazione del vivente, Marsilio, Venezia, 2001.
- [4] L. Cerruti, *Quaderni della Rivista di Storia della Scienza*, 1992, **2**, 83.
- [5] F. Turco, L. Cerruti, *Nuncius, annali di storia della scienza*, 2000, **15**, 111.
- [6] V. Balzani *et al.*, *Chem. Eur. J.*, 2002, **8**, 5525.
- [7] P.J.T. Morris, *From Classical to Modern Chemistry*. The Instrumental Revolution, RSC, London, 2002.
- [8] L. Cerruti, *The Impact of Chromatographic and Electrophoretic Techniques on Biochemistry and Life Sciences*, in *Rif.* [7], 309.
- [9] A. Sayre, *Rosalind Franklin and Dna*, Norton, New York, 1975.
- [10] R. Feynman, *Engineering and science*, 1960, **23**, 22. Questo articolo è celebrato in centinaia di siti dedicati alle nanoscienze; il testo completo può essere letto all'indirizzo: <http://www.zyvex.com/nanotech/feynman.html>.
- [11] W.N. Lipscomb, "Reflections", all'indirizzo: http://www.orst.edu/dept/Special_Collections/subpages/ahp/1995symposium/lipscomb.html.
- [12] *Rif.* [3], 131.
- [13] H. Maturana, F. Varela, *The Tree of Knowledge: The Biological Roots of Human Understanding*, Shambhala, Boston, 1987, 47.
- [14] Fin dai primi anni di ricerca teorica sull'autopoiesi Maturana e Varela elaborarono un modello formale di unità autopoietica. La 'chimica' possiede tutte le sei caratteristiche richieste dalla teoria; cfr. F. Varela, H. Maturana, R. Uribe, *BioSystems*, 1974 **5**, 187.
- [15] *Rif.* [3], 134.
- [16] *Rif.* [13], 75.
- [17] R.B. Woodward, *Synthesis*, in A. Todd, 1956, *Perspectives in Organic Chemistry*, Inter-science, New York, 155.
- [18] L. Cerruti, *Finalità educative della storia e dell'epistemologia delle scienze*, in *Insegnanti di qualità*. I percorsi di formazione, Università di Trieste, Trieste, 2000, 13.
- [19] L. Cerruti, *Frontis nulla fides*. Apparenza e realtà della comunicazione scientifica, in M. Gatto *et al.*, *Le fantasie della scienza*. La comunicazione scientifica ha bisogno di narrazioni?, CS Libreria Editrice, Torino, 2001, 11.