

Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana

CNS

LA CHIMICA NELLA SCUOLA

**LA STECHIOMETRIA
NEGLI OPUSCOLES DI LAVOISIER**

**STRUTTURA
MOLECOLARE**

**STORIA DELLA CHIMICA
E DIDATTICA**

<http://www.soc.chim.it>
<http://www.didichim.org>



LA CHIMICA
NELLA SCUOLA

Anno XXVIII
Maggio - Giugno 2006

Direttore responsabile

Pierluigi Riani
Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale
Via Risorgimento, 35 - 50126 Pisa
Tel. 0502219398 - fax 0502219260
e-mail: riani@dcci.unipi.it

Past-Editor

Paolo Mirone
e-mail: paolo.mirone@fastwebnet.it

Redattore

Pasquale Fetto
Favoltà di Medicina Veterinaria
Via Tolara di Sopra, 50 - 40064 OZZANO E (BO)
Tel. 0512097897 - fax 0516511157
e-mail: pasquale.fetto@unibo.it

Comitato di redazione

Liberato Cardellini, Marco Ciardi, Pasquale Fetto,
Paolo Mirone, Ermanno Niccoli, Fabio Olmi, Pierluigi
Riani, Paolo Edgardo Todesco, Francesca Turco, Giovanni
Villani

Comitato Scientifico

Luca Benedetti, Rinaldo Cervellati, Rosarina Carpignano
(*Presidente della Divisione di Didattica*), Luigi Cerruti,
Giacomo Costa, Franco Frabboni, Gianni Michelin,
Ezio Roletto

Editing

Documentazione Scientifica Editrice
Via Imerio, 18 - 40126 Bologna
Tel. 051245290 - fax 051249749

Periodicità: bimestrale (5 fascicoli all'anno)

Abbonamenti annuali

Italia euro 48 - Paesi comunitari euro 58
Fascicoli separati Italia euro 12
Fascicoli separati Paesi extracomunitari euro 15

Gli importi includono l'IVA e, per l'estero le spese di
spedizione via aerea
Spedizione in abbonamento postale Art.2 comma 20/C Leg-
ge 662/96 Filiale di Bologna

Ufficio Abbonamenti

Manuela Mustacci
SCI, Viale Liegi, 48/c - 00198 - Roma
Tel. 068549691 fax 068548734
E-mail: soc.chim.it@agora.stm.it

Copyright 1995 Società Chimica Italiana

Pubblicazione iscritta al n. 219 del registro di Cancelleria
del Tribunale di Roma in data 03.05.1996

La riproduzione totale o parziale degli articoli e delle illu-
strazioni pubblicate in questa rivista è permessa previa
autorizzazione della Direzione

La direzione non assume responsabilità per le opinioni
espresse dagli autori degli articoli, dei testi redazionali e
pubblicitari

Editore

SCI - Viale Liegi 48/c - 00198 Roma

Stampa

LE GRAFICHE RECORD snc
S. Giorgio di P. (BO) - Tel. 0516650024

SOMMARIO

EDITORIALE

Per la V Conferenza Nazionale di Firenze:
spunti per un dibattito **121**
di **Pierluigi Riani**

Primo Levi **123**
di **Enrico Mansueti**

CONCETTI CHIAVE DELLA CHIMICA

Struttura molecolare: storia, prospettive e problemi **126**
di **Giovanni Villani**

DIVULGAZIONE E AGGIORNAMENTO

Anche ad esser s'impara... Riflessioni sul biennio
della scuola secondaria superiore **136**
di **Eleonora Aquilini**

ESPERIENZE E RICERCHE

Fondamenti di Storia della Chimica-Analisi, proposte
e sinergie con la didattica **139**
di **Luigi Cerruti**

Può una reazione acido-base essere anche redox? **143**
di **Claudio Giomini, Giancarlo Marrosu,**
Mario E. Cardinali

Chimica quantitativa, stechiometria e mole: Quale
approccio privilegiare nella scuola secondaria
di secondo grado? **146**
di **Antonio Testoni**

LA CHIMICA NELLA STORIA

La storia insegna...anche la stechiometria
Esercizi dagli Opuscules di Lavoisier **149**
di **Marco Taddia**

LA CHIMICA NELLE SSIS

Chimica e biologia molecolare:
due facce della stessa medaglia - Parte II **154**
di **Alessandra Barbin**

GIOCHI E OLIMPIADI DELLA CHIMICA

Giochi e Olimpiadi della Chimica 2006 **163**
di **Mario Anastasia**

RUBRICHE

LETTERA AL LETTORE **168**
Inferenza, creatività e sperimentazione
di **Ermanno Niccoli**

LETTERA A CnS **169**

RECENSIONE **170**

Le figure esornative sono tratte dal testo: P.Lugol - Leçons élémentaires
de Chemie - Paris, Librairie Classique Eugène Belin - 1905

Per la V Conferenza Nazionale di Firenze: spunti per un dibattito.

E' intenzione del direttore e della redazione di CnS portare in anteprima questo numero della rivista al congresso di Firenze della Società Chimica Italiana, congresso nel quale (come è ormai ben noto ai lettori) confluisce la V Conferenza Nazionale sull'Insegnamento della Chimica, organizzata dalla Divisione di Didattica. Non sappiamo se l'operazione potrà essere portata a termine: la stampa di una rivista è cosa lunga, e le incognite in agguato sono molte. Purtroppo i tempi di una Conferenza Nazionale sono brevi, e nella quasi totalità contingentati, per cui l'apertura di un dibattito serio risulta pressoché impossibile. CnS si è più volte offerta come sede di discussione, ma i risultati non sono stati brillanti.

Siamo arrivati al momento del rinnovo della presidenza e del direttivo della Divisione: un momento di estrema importanza che va valutato per tutte le sue implicazioni. A giudizio di chi scrive, vi sono alcuni punti fermi che possono essere così schematizzati:

- La presidenza della Divisione è diventata, senza mezzi termini, un'attività a tempo pieno. Qualsiasi tentativo di tornare a una presidenza "a tempo parziale" è destinato a produrre conseguenze assai serie sul ventaglio di iniziative intraprese, soprattutto su quelle che implicano rapporti con le altre associazioni (AIF e ANISN) e con i ministeri. In buona parte questo vale anche per la vicepresidenza.

- Da alcune "legislature" si nota un marcato interesse della Divisione di Didattica per i segmenti scolastici di base, quelli nei quali traggono origine gli interessi fondamentali degli allievi. E' un interesse che dobbiamo continuare a coltivare, senza naturalmente trascurare i problemi di tutti gli altri livelli scolastici, università compresa.

- Per quanto riguarda il direttivo, non possiamo nascondersi un dato abbastanza preoccupante: la difficoltà di rinnovamento. Nessuno se ne abbia a male, ma in questo modo rischiamo nel nostro piccolo di copiare uno degli aspetti più deleteri dell'università

italiana, quello della gerontocrazia. Sia ben chiaro: nessuno sottovaluta l'importanza della presenza di persone di grande esperienza; d'altra parte la mancanza di persone giovani è evidentissima.

- E' un dato sicuramente negativo (che il prossimo direttivo dovrà affrontare in modo professionale) quello del sito WEB, poco aggiornato e soprattutto poco dinamico. E' attraverso la rete che deve passare il grosso della comunicazione riguardo a tutte le attività della Divisione e a tutte le notizie che possono avere interesse per i soci.

Cambiamo argomento e guardiamo al quadro politico più generale: i problemi sul tappeto sono principalmente due, la riforma dell'ordinamento scolastico e la riforma del sistema di formazione degli insegnanti.

Quella dell'ordinamento scolastico è un'autentica patata bollente, e su questo punto appare prematuro qualsiasi pronunciamento. Vorrei però sottolineare alcuni aspetti:

- Qualsiasi modifica dell'esistente è automaticamente destinata a scontentare qualcuno; d'altra parte, se si continua a procedere con sistema del "prima si fa, poi si disfa", non si arriva da nessuna parte.

- Appare abbastanza ridicolo parlare di "riforme del millennio" o simili: l'ordinamento scolastico deve essere estremamente flessibile, in modo da poter adottare rapidamente le modifiche che si rendano necessarie. Molte delle difficoltà attuali derivano proprio dalla mancanza di ciò che possiamo chiamare la cultura dell'aggiornamento.

- La cultura scientifica deve assumere la posizione che le compete: privilegiando a tutti i livelli la cultura umanistica si rischia seriamente di perdere i contatti con le nazioni scientificamente e tecnologicamente più avanzate.

L'altra partita riguarda la formazione degli insegnanti. Un certo numero di anni fa parte in Italia la formazione tramite Scuola di Specializzazione post laurea (SSIS). Dopo poco arriva la prima difficoltà: con

l'avvento del nuovo ordinamento universitario (laurea triennale e successivo biennio di laurea specialistica), qual è il titolo di accesso alla SSIS, la laurea triennale o la laurea specialistica? Sul problema si scatena la bagarre accademica: chi vuole tre anni, chi ne vuole cinque, chi ne vuole quattro (tre più uno di integrazione). Le cose sembrano appianarsi con una riforma adottata nella passata legislatura; questa riforma cancella le SSIS introducendo al loro posto un biennio di Laurea Magistrale che segue la laurea triennale. Alcune osservazioni:

- Non è molto frequente il caso dell'abolizione di una struttura di recentissima creazione senza neppure tentare una verifica sul suo funzionamento; e va detto che le SSIS, dal punto di vista della qualità del prodotto, danno risultati mediamente più che apprezzabili.

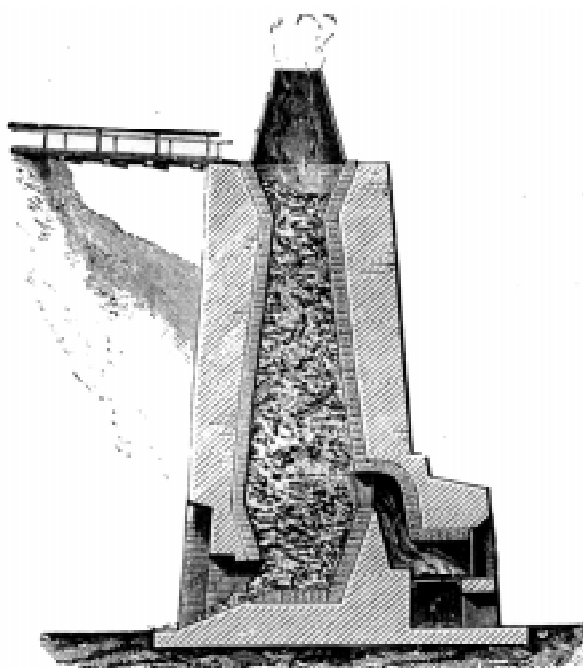
- Il percorso progettato per l'immissione in ruolo dei nuovi insegnanti è estremamente più macchinoso di quello già reso operativo con la SSIS.

- La laurea magistrale appare immediatamente alquanto indefinita. Come deve essere gestita: interfacoltà, interateneo o che altro?

Fatto sta che la legge c'è, ma il provvedimento non decolla: anno dopo anno la SSIS, abolita *de jure* viene prorogata *de facto*.

Alcuni rischi sono in agguato. Prima di tutto, lo spostamento del tirocinio al di fuori del biennio di laurea magistrale priverebbe la nuova struttura di quelle fondamentali figure che sono state costituite dai supervisori di tirocinio; inoltre è estremamente reale il pericolo che la formazione degli insegnanti tenda a concentrarsi più sugli aspetti disciplinari che su quelli didattici.

E a questo punto mi fermo: la carne messa al fuoco è tanta e i motivi di dibattito durante e dopo la Conferenza non mancano. I temi proposti dovrebbero fra l'altro riguardare tutto il Congresso della Società Chimica Italiana: dopo tutto per la Chimica quello della formazione non è un problema del tutto secondario.



Four à chaux (four à quatre).
Four à chaux (four à quatre).

Primo Levi

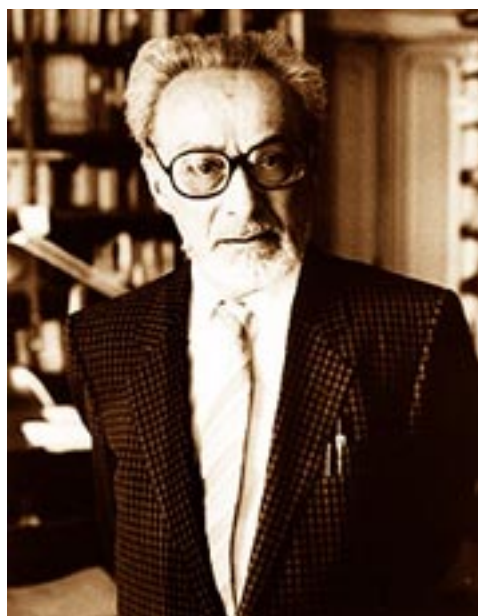
Torino, 1919 – Torino, 1987

di ENRICO MANSUETI

Quest'anno non cade alcun anniversario di Primo Levi. Abbiamo lo stesso deciso di dedicargli questa copertina di CnS perché Levi fu un grande chimico italiano, la continuità con la precedente dedicata a Giulio Natta è quindi accomodata. Il ritratto di Levi scienziato, prima e a fondamento di Levi scrittore, è ben illustrato nel lavoro di Enrico Mansueti che, oltre a tracciarne un profilo biografico, riferisce sui lavori della conferenza dedicatagli durante il Festival della Scienza di Genova. Buona lettura.

Se non ci avesse prematuramente lasciato, il 31 Luglio noi chimici (e non solo) avremmo festeggiato l'ottantasettesimo compleanno di Primo Levi; per chi lo ha conosciuto e ne ricorda il carattere mite ed educato non è difficile immaginarlo festeggiare tale ricorrenza in famiglia, magari in una di quelle passeggiate in montagna che tanto amava. Vogliamo qui rivolgere un pensiero a Primo Levi chimico e scienziato, profittando anche di quanto emerso dalla conferenza a lui dedicata dal Festival della Scienza 2005 (3 Novembre, Palazzo Ducale, Sala del Minor Consiglio, in collaborazione con il Centro Primo Levi di Genova) che ha riscosso enorme successo per il valore degli interventi e la notevole partecipazione di pubblico, soprattutto di giovani.

Primo Levi nasce a Torino il 31 luglio 1919. L'interesse e la razionalità scientifiche sono ben nitidi già nell'adolescenza. La carriera scolastica di Levi è testimoniata dal fascicolo conservato nella Biblioteca dell'Istituto Chimico dell'Università di Torino. Frequenta il liceo classico Massimo d'Azeglio dove ottiene il diploma di maturità con la media di 7/10. I voti più bassi sono due sei (latino e greco) compensati dagli otto in Scienze naturali, Storia dell'arte, Chimica e Geografia. Nel 1937 si iscrive al corso di Chimica presso la Facoltà di Scienze dell'Università di Torino con una fortissima determinazione: "[...] la nobiltà dell'uomo, acquisita in cento secoli di prove ed errori, era consistita nel farsi signore della materia [...] mi ero iscritto a Chimica perché a questa nobiltà mi volevo mantenere fedele [...] vincere la materia è comprenderla, e comprendere la materia è necessario per comprendere noi stessi, e che quindi il sistema Periodico di Mendeleev, che proprio in quelle settimane imparavamo laboriosamente a dipanare, era una poesia, più alta e più solenne di tutte le poesie digerite in liceo", ("Il Sistema Periodico", "Ferro"). Nella prima sessione del 1941 si laurea a soli 22 anni e con il massimo dei voti (100/100 e lode). Dai documenti risulta un curriculum universitario brillante con una lode all'esame di Istituzioni di Matematica. I voti più bassi sono agli esami di Chimica agraria, Chimica farmaceutica, Chimica Biologica e Chimica industriale. Ma all'epoca queste materie erano esterne al corso di laurea (i professori del corso di Laurea in Chimica erano pochi) e



per gli esami esterni il voto di riferimento era 28/30. La brillantezza dello studente è testimoniata anche dal fatto che nel 1940 riesce a sostenere tutti gli esami del terzo anno (sette) in un mese: a giugno. Rimarrà legato all'Istituto di Chimica per tutta la vita, continuando a frequentare la biblioteca anche in tarda età e serbandosi ricordi di particolari, persone e testi sui quali aveva studiato: "*Dal Zentralblatt venni rimbalzato al Beilstein [...] in cui, come in un' anagrafe, viene descritto ogni nuovo composto, insieme con i suoi metodi di preparazione*" ("Il Sistema Periodico", "Azoto"). Emblematico un altro testo: il Manuale di chimica organica pratica, *Die Praxis Des Organischen Chemikers*, di Ludwig Gattermann del quale riporta un brano sulla prevenzione degli infortuni nell'antologia personale "La ricerca delle radici" col titolo: "Le parole del padre". Il destino gli riservò di "incontrare" il Gattermann anche nell'esame per l'ammissione al laboratorio di Pannwitz e Muller ad Auschwitz: "[...] e anche questo è assurdo e inverosimile, che quaggiù, dall'altra parte del filo spinato, esista un Gattermann in tutto identico a quello su cui studiavo a casa mia" ("Se questo è un uomo").

Nel 1938, con le leggi razziali, si istituzionalizza la discriminazione contro gli ebrei, cui è vietato l'accesso alla Scuola pubblica; Levi, in regola con gli esami, ha notevoli difficoltà nella ricerca di un relatore per la sua tesi (sotto il fascismo gli ebrei non possono accedere all'Università; gli studenti ebrei già iscritti possono terminare gli studi ma non possono lavorare a tesi sperimentali) e trova le porte sbarrate nella quasi totalità dei casi. Riuscirà alla fine a laurearsi con due sottotesi ("Comportamento dielettrico del sistema ternario Benzene-Clorobenzene-Cloroformio", relatore Dalla Porta, e "I raggi elettronici", relatore Mario Milone) e con una tesi compilativa dal titolo "L'inversione di Walden", relatore Giacomo Ponzio. Sul suo diploma di laurea, così come sui vari certificati della sua carriera scolastica, è riportata la menzione "di razza ebraica". Nel 1941 la famiglia è in gravi difficoltà economiche (il padre è morente di tumore) e Levi trova un lavoro

semiclandestino nel laboratorio di una cava di amianto in Val di Lanzo; nel 1942 lavora a Milano (alla Wander, industria svizzera di medicinali, a ricerche sul diabete). Il 13 dicembre 1943 viene arrestato come partigiano. Dopo 13 mesi di Lager viene liberato dall'Armata Rossa e inizia un lunghissimo viaggio di ritorno. Inizia a scrivere quello che diventerà il suo libro più famoso: "Se questo è un uomo". Nel 1946 lavora alla Duco-Montecatini di Avigliana (vernici). Nel 1947 sposa Lucia Morpurgo, avvia una breve attività autonoma con un amico, quindi lavora alla Siva (smalti isolanti per conduttori elettrici di Rame), ne diventa direttore e nel 1975 va in pensione, dopo quasi 30 anni. Lavora per due anni ancora come consulente per la stessa azienda e poi si dedica in pieno all'attività di scrittore. Muore a Torino l'11 aprile 1987.

Lettura e analisi della figura di Primo Levi hanno patito nel tempo omissioni, ritardi e semplificazioni; oggi è conosciuto dai più come il principale e autorevole testimone dei campi di concentramento nazisti, e del resto chiunque si accinga a cercarne notizie sulla rete è immediatamente 'accontentato' con definizioni come "scrittore ebreo piemontese" oppure "scrittore e testimone delle deportazioni naziste". La stessa accettazione come scrittore è stata lunga e osteggiata in vario modo da un mondo, quello letterario, difficilmente permeabile e comunque restio ad accogliere qualunque novità (a maggior ragione quella di un autore proveniente dal mondo della scienza). Nel campo scientifico per motivi ancora misteriosi l'attenzione per la sua figura è stata finora ancor più limitata e parziale, per cui oggi sono pochi coloro in grado di poterne dare una lettura completa. Iniziative come quella del Festival della Scienza, mirano ad evidenziare la sua immagine di scienziato, e di chimico in particolare, con l'aiuto di persone che a vario titolo vi si sono avvicinati. Andrea Levi, per ovvi motivi di parentela, per aver scritto un interessante articolo su Primo Levi, ma soprattutto perché fa risalire l'origine della sua passione per la scienza a un libro avuto in prestito quando questi tornò da Auschwitz ("Le terre del cielo" di Flammarion); Renato Portesi, che fra i presenti ha avuto modo di conoscerlo meglio di tutti e di lavorare con lui; Roberto Compagnoni, che ha fatto una panoramica generale sui minerali (e sull'asbesto in particolare) e ha fornito indicazioni sull'esperienza di lavoro di Primo Levi nella miniera di Balangero; Massimo Bergamini, che si occupa dei problemi legati alla dismissione della stessa miniera; Edoardo Garrone, che ha illustrato due temi che attrassero l'attenzione di Primo Levi: le reazioni chimiche oscillanti e l'asimmetria delle molecole biologiche; Gianlorenzo Marino, che ha analizzato le parole chimiche presenti nell'opera letteraria di Primo Levi. Infine il sottoscritto, che ha fatto una ricerca sui testi e sui luoghi della formazione scientifica di Primo Levi.

In apertura di conferenza è stato subito puntualizzato come la cultura scientifica di Primo Levi fosse eccezionalmente vasta e profonda, superiore a quella della maggior parte non solo delle persone, ma anche degli scienziati. Questo aspetto, come brillantemente sottolineato da Andrea Levi, serve a evitare l'equivoco di una scienza vista come ornamento supplementare all'esperienza di tragedia e saggezza di Primo Levi. Primo Levi era uno scienziato in quanto conoscitore profondo di scienza, ma le analisi (apparentemente) più approfondite della sua figura risultano aver dato come risultato quello che egli stesso sembrava qua e là suggerire, nei libri come nelle interviste. Sono da molti

sottolineate le ormai note definizioni di "ibrido" tra le due culture, umanistica e scientifica, e i richiami alla mescolanza che per vari motivi si trovano nelle sue opere. In questo contesto si invocano spesso anche immagini mitologiche a lui care come quella del "centauro". È facile arrivare a una definizione di Primo Levi come quella di 'ponte tra due culture', perché è comodo e utile, semplifica un lavoro complicato; inoltre il fatto che talvolta egli stesso abbia affermato che la cultura è una e unica, è preso a pretesto per tentare di nascondere una frattura che purtroppo in una certa misura esiste, aggravata dalla diffusa (e spesso ancor peggio tollerata: ci si può vergognare di non conoscere Alessandro Manzoni ma di certo a nessuno importa di Fibonacci) ignoranza su molte discipline e temi scientifici. Nella conferenza di Genova non si è voluto sminuire il valore di Primo Levi scrittore, né quello di Primo Levi testimone (per ovvie e profonde ragioni), ma si è voluto mettere in evidenza il suo carattere di scienziato, e di chimico in particolare. Siamo coscienti che è difficile ricostruire la personalità di qualcuno che ci ha lasciato, ma soprattutto che, come egli stesso affermava, l'uomo non è un monolite, contiene in sé caratteristiche anche contraddittorie, non è sempre uguale a se stesso, muta nel tempo e secondo le circostanze, ed è fatalmente dissimile da come lo percepiscono le diverse persone che di volta in volta lo incontrano, "[...] ciascuno di noi si costruisce, consapevolmente o no, un'immagine di se stesso, ma essa è fatalmente diversa da quella, o meglio da quelle, a loro volta fra loro diverse, che vengono costruite da chi ci avvicina" ("Lilit", "Il ritorno di Lorenzo"). Corriamo forse il rischio di allargare quella spaccatura che egli stesso ha talvolta sentito, e qualcuno potrà obiettare che si voglia tentare un'operazione sottilmente frodolenta (come era per lui l'arte dei verniciatori), ovvero quella di vestirlo con la casacca (quella dello scienziato) che per ovvie ragioni più ci piace e sentiamo vicina, ma sono convinto che prima di tutto Primo Levi appartenesse alla chimica e alla scienza, che queste fossero compenstrate in lui, e che, nonostante la molteplicità di interessi e la curiosità onnivora, vi sia rimasto fedele come alla squadra del cuore (talvolta anche la pubblicità non mente, sebbene vada qui riportato che il calcio era uno dei pochi argomenti che Levi ignorasse, come ha avuto modo di confermare Renato Portesi).

Perché Primo Levi era uno scienziato? Prima di tutto per le idee che ha avuto sin da ragazzo, le quali hanno condizionato scelte e decisioni lungo il cammino di tutta la sua vita. Primo Levi era un chimico, a cui piaceva fare il chimico, anche se non sempre gradiva il proprio lavoro che, a volte, consisteva nel vendere le vernici più che nel produrle. L'essere chimico gli aveva salvato la vita ad Auschwitz, permettendogli di sopravvivere in condizioni meno bestiali nel secondo inverno di prigionia, che altrimenti gli sarebbe stato fatale. Primo Levi era un chimico organico, e ne "La chiave a stella" spiega a Faussone che i chimici organici si dividono in due classi: quelli che fanno le analisi e quelli che fanno le sintesi, e che lui, Primo Levi, è di quelli che fanno le sintesi. La chimica non era solo un lavoro e una professione, ma un abito mentale di concretezza e concisione, di curiosità e ragione. Egli stesso ha più volte ricordato che la mentalità del chimico gli aveva permesso di registrare in modo analitico (e apparentemente distaccato, ammessane anche la pur remota possibilità, come taluni hanno osservato) anche le espe-

rienze peggiori, e di analizzare lo strambo campionario umano che il destino gli aveva posto davanti. È interessante a questo riguardo la considerazione di Andrea Levi, secondo il quale i libri di Primo Levi sono libri scientifici su cui noi studiamo il nazismo, Auschwitz e l'ingiustizia umana. Sebbene la scienza di Levi fosse la chimica, egli aveva conoscenze e interessi notevoli nel campo della biologia, della fisica, dell'ingegneria e dell'informatica. Renato Portesi ha ricordato come in azienda Levi fu promotore dell'acquisto del primo gascromatografo e del primo spettrofotometro a raggi infrarossi ("lo fece perché era ben convinto della loro utilità e seppe farli rendere a fondo. Tuttavia mantenne sempre nei loro confronti un'aria, un atteggiamento un po' freddi. Secondo me gli sottraevano un pezzo del suo mondo, s'intromettevano in qualche misura tra lui e la natura. Naturalmente si trattava di una reazione emotiva, non razionale"). Primo Levi non amava la Grande Chimica, fatta di lavoro e ricerca collettivi e perciò anonimi, quella "trionfante degli impianti colossali e dei fatturati vertiginosi" e infatti scrive "Il Sistema Periodico" proprio per trasmettere l'essenza di quella che è una lotta con la materia e l'ignoto, ancor più vera quando fatta con mezzi talvolta rudimentali e artigianali. L'intento è talvolta esplicito: in "Argento" ("Il sistema Periodico") scrive che lo scopo del libro è "[...] *convogliare ai profani il sapore forte ed amaro del nostro mestiere, che è poi un caso particolare, una versione più strenua del mestiere di vivere [...] non mi pareva giusto che il mondo sapesse tutto di come vive il medico, la prostituta, il marinaio, l'assassino, la contessa, l'antico romano, il congiurato e il polinesiano, e nulla di come viviamo noi trasmutatori di materia [...] le storie della chimica solitaria, inerme e appiedata, a misura d'uomo, che con poche eccezioni è stata la mia*". Negli anni del lavoro in fabbrica non esita a precipitare una resina dalla sua soluzione in acido acetico, per aggiunta di acqua e sotto violenta agitazione, all'interno di un frullatore, lo stesso elettrodomestico che si usa in cucina per fare i frullati, salvo poi far costruire e adottare in produzione, a prova riuscita, un modello in grande dello stesso, senza variarne neanche la forma. Renato Portesi ha ricordato come molti degli impianti e delle apparecchiature, progettate dallo stesso Levi, sopravvissero grazie alla loro funzionalità anche quando il confronto con le novità proposte dai fornitori le faceva apparire (a prima vista) rudimentali e superate. Pochi, anche fra gli addetti ai lavori, sanno che esiste un brevetto a suo nome riguardante nove prodotti (smalti e vernici con proprietà autolubrificanti; Brevetto 953222, anno 1973).

Massimo Bergamini ha illustrato la storia del giacimento di serpentinite asbestifera (nella varietà fibrosa crisotilo) del Monte San Vittore (Balangero), e in particolare della Società Anonima Cave S. Vittore, che lo amministrò dal 1918 al 1951 (e quindi anche nel periodo in cui vi lavorò Primo Levi). Roberto Compagnoni ha mostrato immagini della miniera alternate a suggestivi brani tratti dal Sistema Periodico (se ne parla nel racconto "Nichel", ma sono di quel periodo e quindi collegati anche "Mercurio" e "Piombo"); quindi il succedersi delle differenti tecniche di lavorazione (il giacimento è stato coltivato a cielo aperto fino agli anni '50 con il metodo "glory hole", che consisteva nella creazione di enormi scavi ad imbuto entro i quali venivano fatti precipitare i blocchi staccati con l'esplosivo). Ha quindi motivato la chiusura della miniera (princi-

palmente) con i rischi sanitari e i problemi ambientali legati all'utilizzo dell'amianto (messo definitivamente al bando con Legge 257 del 27 marzo 1992). Gianlorenzo Marino ha illustrato una lunga analisi condotta sull'elenco dei termini chimici presenti nei principali testi di Primo Levi; Edoardo Garrone ha spiegato in modo mirabile il tema delle reazioni chimiche oscillanti, fenomeno che incuriosì e interessò moltissimo Primo Levi insieme a quello dell'asimmetria nelle molecole biologiche.

Le riflessioni sulla figura di Primo Levi sono importanti e pertinenti perché in tempi di forte discussione, di ricerche e novità nel campo dell'educazione (e della didattica delle discipline scientifiche in particolare) l'opera di Levi, se studiata con occhio attento agli aspetti comunicativo-scientifici, acquista valenze che è difficile cogliere ad una prima lettura (per complessità e difficoltà nel distacco emotivo). La complessità del personaggio è stata risolta attingendo a riserve di parzialità nell'analisi e nella formulazione di giudizi, e questo fino ad ora non ha permesso una lettura obiettiva di quanto ha lasciato; dispiace che anche chi avrebbe potuto (come Calvino, per formazione e interessi comuni, nonché per averlo conosciuto e aver collaborato con lui) non abbia contribuito a chiarire l'equivoco, finendo talvolta invece per alimentarlo, quando ha continuato a insistere su "*i due mestieri di Primo Levi*" (per il quale, è bene ricordarlo, scrivere "*non è propriamente un mestiere, o almeno, non lo dovrebbe essere*"); ma non esiste un'equazione di proporzionalità tra formazione culturale e sensibilità (per fortuna).

Forse prima di chiederci se Primo Levi fosse uno scienziato, dovremmo domandarci chi è (cos'è) uno scienziato. La scienza nasce dalle domande, risponde a una fondamentale dimensione umana, la curiosità, oltre che alla volontà di analizzare la realtà alla luce della logica e, infine, di contribuire a modificarla. Credo che Primo Levi avrebbe condiviso in pieno queste definizioni. Lo scopo di ciò che chiamiamo scienza, scriveva Albert Einstein nel 1951 all'amico Maurice Solvine, è "*quello di stabilire ciò che è*", e stabilire ciò che è e ciò che è stato fu indubbiamente uno dei fili di trama dell'opera letteraria di Levi. In un'intervista a Philip Roth (1986) Levi affermò: "*[...] scienziato avrei voluto diventare, ma la guerra e il lager me lo hanno impedito*". A parere di chi scrive, e secondo quanto emerso dalla conferenza, Primo Levi fu invece *davvero e prima di tutto* uno scienziato. In primo luogo, banalmente, per il lungo tempo dedicato all'attività scientifica, se pure nella prospettiva non sempre entusiasmante di una ricerca industriale di settore. Ma anche al di fuori dell'attività professionale fu scienziato, intimamente: per la passione, il rigore, lo stile di pensiero e – quindi anche – di lucida scrittura.

Enrico Mansueti

Istituto professionale "L. Angeloni", Frosinone (e-mail: enrico.man@libero.it)

Per chi vuole approfondire: Enrico Mansueti, *La comunicazione scientifica nell'opera di Primo Levi: dalle parole della chimica alla chimica delle parole*, in Omaggio a Primo Levi, <http://www.minerva.unito.it/Storia/Levi/Mansueti/LeviComun1.htm>. E, naturalmente, "Il sistema periodico" e "La chiave a stella".

Struttura molecolare: storia, prospettive e problemi

GIOVANNI VILLANI*

1. Introduzione

Il concetto di struttura è fondamentale in molti campi del sapere e, tanto in ambito epistemologico quanto in quello scientifico, ha acquisito di recente ulteriore importanza con il tramontare dell'approccio riduzionista ed il sorgere delle Scienze della Complessità e della Teoria Generale dei Sistemi. Infatti, il concetto di struttura è strettamente collegato tanto al concetto di "complessità", sebbene questo sia un termine vago e polisenso, sia al concetto di "sistema". Compito di questo lavoro non può essere quello di evidenziare questi possibili collegamenti come pure i collegamenti che il concetto di struttura ha con i concetti di ordine, entropia, ecc. sia per motivi di spazio sia perché qui intendiamo concentrarci unicamente sulla struttura molecolare. Tuttavia, un cenno a questi ambiti generali non può neppure essere del tutto eliminato.

In chimica il concetto di struttura è utilizzato in più contesti: si parla di struttura cristallina, di struttura molecolare, ecc. Qui noi ci occuperemo solo della struttura molecolare, evidenziando sia le problematiche storiche, e concentrandoci in particolare sul XIX secolo fondamentale per questo concetto, che quelle recenti, come la chimica supramolecolare o le sovrastrutture biologiche. Scopo principale di questo lavoro è mostrare che la molecola non è un aggregato di atomi ed è, quindi, diversa dalla somma dei suoi costituenti proprio in virtù del concetto di struttura. Andrebbe, quindi, utilizzata e valorizzata la dizione di "sistema molecolare", nel senso della Teoria Generale dei Sistemi.

Poniamoci ora la domanda se un insieme di palle da biliardo disposte in un certo modo su di un tavolo costituisca o meno un ente strutturato. Certo ogni insieme di oggetti fermi ha una determinata posizione relativa e se sono in movimento periodico se ne può considerare la posizione media. Se per struttura si intende solo la disposizione spaziale (come spesso avviene nei testi di chimica) quest'insieme di palle su di un tavolo da biliardo ha una sua determinata struttura. Io credo, tuttavia, che il concetto di struttura nel caso delle molecole implichi senz'altro una disposizione spaziale delle parti costituenti, ma non si esaurisca in essa. Credo che più corrispondente all'uso che la scienza, e la chimica in particolare, fa del concetto di struttura sia l'evidenziare le seguenti proprietà. Si dice che un ente è dotato di struttura quando l'insieme delle parti costituenti presenta due caratteristiche: tali parti sono in certe relazioni stabilite, e per un tempo sufficientemen-

te lungo rispetto ai fenomeni che si stanno considerando, e tali relazioni modificano i componenti rendendo specifica ed unica questa aggregazione. Sul concetto poi di struttura molecolare deve essere chiaro anche un ulteriore fondamentale aspetto. È ben noto a qualunque studente di chimica che la formula di struttura deve essere in grado di "rimuovere" la degenerazione della formula bruta e darci non solo i rapporti quantitativi tra i costituenti, non solo la disposizione spaziale di essi, non solo permettere la modifica dei costituenti, ma anche evidenziare chi è legato a chi. È, infatti, una fondamentale caratteristica dell'interazione chimica quella di essere "selettiva" e ciò implica che solo alcuni atomi sono legati all'interno della molecola. Questo aspetto della "forza chimica" va un po' chiarito. La visione newtoniana prima e coulombiana poi della "forza chimica" aveva portato a concepire una molecola come un insieme di corpi tutti interagenti. Affinché si facesse strada il moderno concetto di struttura molecolare occorreva superare questa visione e concetti chimici come "valenza" e "legame" hanno storicamente svolto questo ruolo. Non è compito di questo lavoro esaminare in dettaglio questo aspetto che, tuttavia, è per la chimica caratterizzante. In un lavoro sulla struttura molecolare, comunque, non poteva essere del tutto sottaciuto. Un altro limite della visione newtoniana (o coulombiana) delle forze che agiscono all'intero di una molecola è rappresentato dal fatto che tale tipo di forza (nell'accezione ottocentesca non in quella moderna di campo) non modifica i soggetti interagenti. Questo, ancora una volta, rendeva l'aggregazione atomica (molecola) di tipo meccanico, inteso in senso estensivo oltre che letterale, e non in grado di spiegare il "nuovo" che emergeva.

In pratica, il concetto di struttura ci deve consentire di spiegare tre cose: (a) perché diciamo che la molecola del metano è tetraedrica e non quadrato planare; (b) perché scriviamo l'alcool etilico come $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (o anche solo $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), cioè differenziamo vari tipi di idrogeno nella molecola e possiamo dire che questi idrogeni sono diversi da quelli della molecola d'acqua, da quelli della molecola del metano, del benzene o dell'idrogeno atomico o molecolare; (c) ed, infine, perché, sempre nell'alcol etilico, diciamo che l'ossigeno è legato ad un carbonio e ad un idrogeno e non all'altro carbonio e agli altri idrogeni. Una volta che il concetto di struttura sarà stato chiarito in questi termini possiamo senz'altro affermare che un insieme di palle su di un tavolo da biliardo non costituisce una struttura ed un insieme di atomi in una molecola sì.

Dal punto di vista storico, una tale determinazione del concetto di struttura si riconnette alla difficoltà, già evidenziata altrove¹, per l'atomismo classico di concepire tale concetto nell'ottica odierna e di spiegare, quindi, l'insorgere delle proprietà "nuove" in un composto. È in questo senso che si può affermare che il concetto di struttura molecolare è un concetto recente e che, quindi, tanto

gli atomisti classici quanto i primi atomisti moderni non possedevano un tale concetto. Invece, gli aspetti generali, l'importanza del problema delle parti e delle loro qualità all'interno del tutto erano stati intuiti da Aristotele ed erano fondamentali per i filosofi medievali. Dal punto di vista scientifico odierno è evidente che gli atomi all'interno di una molecola sono "particolari": essi non sono uguali a quelli isolati e, talvolta, si parla di atomi *in situ*. Quindi, le definizioni classiche della struttura molecolare, per esempio ^{2,3,4}, in termini di costituzione, configurazione e conformazione possono andare bene se, definita la costituzione come la sequenza dei legami, si metta poi in evidenza la modifica che tali legami generano sugli atomi costituenti. È questa modifica, dovuta all'interazione specifica ed unica tra gli atomi, che costituisce la molecola, che crea un ente unico e nuovo. È in questo senso, come visto, che si può affermare che un gruppo di palle da biliardo, disposte in un certo modo su di un tavolo, non costituisce un'entità strutturata perché le palle continuano ad essere identiche alle stesse palle separate.

Va precisato che nella situazione odierna, con l'avvento della meccanica quantistica, a molti è apparso finalmente superato il problema di spiegare l'interazione tra gli atomi e la nascita della struttura: ora si è in grado di studiare sia il legame chimico e sia la molecola come entità nuova, legata principalmente alla sua struttura. Tuttavia, il programma riduzionista, esplicito tanto nei filosofi greci che nei fisici (da Galileo ai giorni nostri) non ha trovato, a mio avviso, giovamento dalla "risoluzione" di questo problema. Uno dei compiti di questo lavoro è spiegare perché. Va poi evidenziato che le molecole non sono strutture statiche. In esse il tempo gioca un ruolo fondamentale. Questo aspetto dinamico della struttura molecolare sarà solo accennato in questo lavoro.

Questo lavoro sarà strutturato come segue. Si partirà con l'evidenziare la difficoltà epistemologica dell'atomismo classico e dei primi atomisti moderni a concepire una reale struttura molecolare. Ci si concentrerà poi sul XIX secolo, fino alla disputa tra Kekulé e Butlerov, che chiarisce definitivamente il problema della struttura molecolare, e alla nascita della stereochimica. Infine esamineremo i recenti problemi connessi a tale concetto, problemi creati dalle macromolecole organiche e biologiche, dalla chimica supramolecolare e dalla meccanica quantistica.

2. Il concetto di struttura nell'atomismo antico e rinascimentale

Abbiamo detto che il concetto di struttura molecolare non implica solamente la disposizione spaziale degli atomi, ma partiamo dall'analizzare proprio questo aspetto, sicuramente presente in tale concetto. Da un punto di vista storico, gli atomisti classici avevano una chiara posizione rispetto all'importanza della disposizione spaziale degli atomi: essa era fondamentale per spiegare i mutamenti macroscopici. Per loro infatti, mentre le proprietà dei corpi erano dovute alla forma e alla grandezza degli atomi, il continuo divenire del mondo, la nascita e la morte tanto degli oggetti inanimati quanto di quelli animati era da essi attribuito al formarsi e al dissolversi degli aggregati di atomi e, quindi, alla modifica della disposizione spaziale degli atomi in questi aggregati. Tuttavia, questi aggregati erano estemporanei e non portavano mai ad un vero riordinamento delle parti per formare un ente nuovo, ad un vero e proprio "sistema" come "realtà strutturata". Queste

aggregazioni erano, infatti, meccaniche, dovute al trovarsi per un certo tempo nello stessa regione spaziale di più atomi e, per le caratteristiche assunte dai loro atomi, mai potevano portare ad una reale loro modifica. Tali atomi erano, infatti, impenetrabili, indistruttibili, ma soprattutto imm modificabili. Il semplice fatto che questi "aggregati" non possedevano una loro individualità, ad esempio un loro nome, evidenzia la mancanza di un concetto di struttura come quello odierno. Questo costituì il limite principale della visione atomica e ciò fu evidenziato già da Aristotele.



Atomo di Democrito

Quello da evidenziare in questo contesto è che l'errore (ovviamente non in senso letterale) degli atomisti non fu una cosa accidentale, ma era connesso alla loro idea di scienza. Ancora più importante è il fatto che tale idea non fu una loro esclusiva caratteristica ed anzi ancora oggi è l'idea predominante in ambito di analisi filosofica e generale della scienza. Dietro l'idea di ridurre il macroscopico al microscopico, il qualitativo al quantitativo ed il differenziato macroscopico all'indifferenziato microscopico era presente, infatti, l'idea filosofica identificata attualmente come "riduzionista". Vale la pena di spenderci qui qualche parola su tale visione del mondo, perché di questo si tratta, anche se essa è stata da me già trattata ampiamente altrove ⁵. Quello che ci interessa in questo contesto dell'ottica riduzionista è il fatto che utilizzando, almeno in linea di principio, una catena di spiegazioni che connettono i singoli "fatti" agli elementi ultimi ed elementari, le entità complesse intermedie vengono svuotate della loro originalità e peculiarità per divenire puri e semplici insiemi completamente determinati di particelle elementari. La visione atomistica è, da questo punto di vista, esemplare. Sono gli atomi con la loro forma, dimensione e movimento a determinare tutte le proprietà e le modificazioni degli oggetti macroscopici e non è necessario introdurre piani intermedi tra loro e tali oggetti: niente molecole, cellule, ecc. A un certo livello un essere umano può non essere altro che un insieme di 10^{27} protoni, neutroni ed elettroni, ma a livello del comportamento che esso può esibire è indubbio che è più dell'ammasso di particelle, più della somma delle sue parti a causa del modo in cui gli atomi sono legati tra loro a formare materiali di tipo particolare e del modo in cui tali materiali sono connessi in cellule, tessuti, organi ed apparati, del modo in cui gli organi sono correlati nel comportamento, ecc. Non giova a niente dire che se si includessero tutte le relazioni si ritterrebbe l'uomo. Chi sostiene questo non ha presente che significa esplicitare tutte le relazioni di 10^{27} protoni, neutroni ed elettroni, per fermarci a queste particelle che ancora non sono elementari. Le proprietà degli esseri umani sono una manifestazione del particolare livello e tipo di complessità

considerato. Quindi, se riduzionismo significa che tutte le spiegazioni della complessità vanno ricercate a un livello inferiore, e in definitiva nel mondo dei costituenti più elementari della materia, allora il riduzionismo è totalmente falso, in linea di principio oltre che da un punto di vista pratico. Viceversa, ci si può attendere di trovare nuovi tipi di organizzazione complessa ad ogni livello, via via che si procede dal mondo dei quark a quello dei nucleoni, e poi a quelli degli atomi, delle molecole e degli aggregati di materia. Ciascuno di questi nuovi comportamenti sarà, sostanzialmente, una manifestazione di un particolare livello di organizzazione raggiunto in particolari condizioni ambientali. Dice Sommerhof: “Anche se sapessimo che cosa accade all’interno della più piccola struttura cellulare presente in un organismo vivente, ci troveremmo ugualmente dinanzi al fatto che un sistema vivente, in quanto entità organizzata esprime, per effetto della natura distintiva della sua organizzazione, forme di comportamento uniche le quali debbono essere studiate e comprese al livello che è loro e ciò perché l’importanza di tutte le cose viventi dipende proprio da questo”⁶.

L’atomismo riscoperto nel XVII secolo con Gassendi e Boyle, non modificò di molto la situazione, se non nella percezione dell’importanza della disposizione degli atomi all’interno della molecola e verso l’esterno. Segnaliamo, infatti, gli importanti concetti di *situs* e *ordo* introdotti da Gassendi. Accanto alle proprietà della *moles* (la dimensione), della *figura* (la forma), del *pondus*, (il peso) che appartenevano ai singoli atomi, questo filosofo introduceva altre proprietà che si riferivano a gruppi di atomi. Queste erano il *situs*, la situazione di un atomo rispetto all’ambiente che lo circondava e l’*ordo*, il modo in cui gli atomi erano disposti nei composti. Tuttavia, il problema principale era nello stesso concetto di atomo. Tutte le sue caratteristiche: particella elementare, senza struttura interna, impenetrabile ed immutabile, rendevano l’interazione tra gli atomi inspiegabile e con essa anche la struttura molecolare.

Lo stesso Dalton, considerato padre dell’atomismo moderno perché matematizzando, (attraverso il peso) l’ipotesi atomica le diede dignità scientifica, partendo da un atomo sotto questo aspetto democriteo non percepì realmente il concetto e l’importanza della struttura molecolare. Tuttavia, qualche passo nella giusta direzione si iniziò a fare ragionando sulle “interazioni” degli atomi. Per esempio, Dalton riteneva impossibile che due atomi simili si legassero tra di loro e, quindi, la molecola di CO₂ doveva avere il carbonio al centro e i due ossigeni ad esso legati. Già in questa forma la molecola cominciava ad avere una struttura, nel senso odierno del termine, perché si legava la disposizione spaziale all’interazione esistente tra gli atomi. Tuttavia, è con lo studio della nuova e possente branca della chimica, chiamata da Berzelius chimica organica nel 1806, che parte il processo che, svolgendosi in tutto il XIX secolo, darà una definizione di questo concetto.

3. Secolo XIX. Prime teorie della struttura molecolare

Il concetto di struttura molecolare implica che all’interno della molecola esistano gli atomi e siano correlati, anche spazialmente tra di loro. È possibile concepire una visione atomistica della natura che tuttavia non preveda nemmeno questo aspetto minimo, e come detto, insufficiente della struttura molecolare. Un esempio è costituito dalla cosiddetta “filosofia dinamica” di epoca romantica. Essa

sosteneva, infatti, che nelle reazioni chimiche gli atomi dei reagenti si fondessero, “mutua penetrazione dei corpi”, per dare vita ad una molecola completamente nuova e senza componenti e così spiegavano perché una nuova sostanza aveva proprietà chimiche diverse dai reagenti. Tale visione del mondo partiva dal presupposto che la materia era il risultato della tendenza in senso opposto di due forze, una attrattiva e l’altra repulsiva di origine elettrica, idea che possiamo far risalire a Boscovich. In questa teoria gli atomi, al momento della loro combinazione chimica, si penetravano mutuamente e la neutralizzazione delle loro proprietà chimiche consisteva proprio in questa mutua penetrazione.

Uno dei primi a introdurre questa visione fu il chimico ungherese Jakob Joseph Winterl che in un suo trattato del 1800 aveva sostenuto che gli atomi della materia potevano assumere delle proprietà acide o basiche a secondo della loro combinazione con i due principi immateriali dell’acidità e dell’alcalinità e nella neutralizzazione tali atomi fondendosi portavano tali principi a fondersi e quindi ad annullarsi. Anche il più importante chimico di impostazione romantica, Humphry Davy, nonostante i numerosi riferimenti a Newton, assunse una tale visione poiché in realtà la sua filosofia della natura era di tipo “dinamico” e si rifaceva a Boscovich. Per Boscovich gli atomi erano punti inestesi e la materia era un insieme discontinuo di questi punti, connessi unicamente da forze attrattive o repulsive a seconda della loro reciproca distanza. Ogni punto era, dunque, un centro di forze e l’estensione dei corpi non era dovuta a una sostanza materiale, ma all’effetto delle forze agenti su tali punti. Davy, nelle *Consolations in travel*, faceva dire ad uno degli interlocutori del dialogo che le particelle materiali (definite “molecole”) non possedevano le proprietà dei corpi a cui davano luogo, poiché dovevano essere considerate, con Boscovich, semplicemente come punti dotati di peso e di forze attrattive e repulsive, in grado di comporre, a seconda delle circostanze dei loro arrangiamenti, o piccole sfere o solidi regolari, e capaci di assumere l’una o l’altra forma. La sfericità delle “molecole” è sempre stata il segno che esse erano considerate immutabili, sempre identiche a se stesse, e quindi le proprietà dei corpi dovevano necessariamente derivare dalle “forme” delle loro disposizioni, che erano diverse a seconda delle “circostanze”, naturali o sperimentali, nelle quali tali forme si costituivano. Il fenomeno chimico, in base al quale le proprietà dei composti erano nuove e non avevano nessun rapporto con quelle dei corpi componenti, veniva ricondotto a una continuità più fondamentale, grazie alla quale le proprietà dei componenti scomparivano perché il prodotto della reazione era considerato qualcosa di unitario, continuo, e non risolubile in parti separate: esso, cioè, era il risultato di un cambiamento complessivo di “forme”. Queste idee erano state espresse già da Schelling e furono riprese da Michael Faraday.

Berzelius si oppose vivacemente a tale visione del mondo proprio in virtù dell’accettazione dell’idea daltoniana di atomo. Per Berzelius ciò non voleva dire respingere l’ipotesi dell’esistenza di forze che agivano in opposizione l’una rispetto all’altra, né quella di una polarità essenziale degli atomi. La polarità di tipo elettrico poteva essa stessa essere concepita come una realtà discreta. Per Berzelius, infatti, ogni corpo possedeva una polarità elettrica positiva o negativa concentrata distintamente in due punti opposti e solo all’interno di una teoria atomica della materia

era possibile concepire l'idea di una polarità elettrica diversa che spiegasse la reattività differente degli atomi e delle molecole.

La prima indicazione della possibilità di avere qualcosa di più della pura composizione qualitativa delle sostanze organiche venne dall'esperienza che certi gruppi di atomi, detti radicali, si ripetevano nella composizione di molte molecole. L'importanza di questo concetto fu particolarmente messa in evidenza da Gay-Lussac nelle sue ricerche sul cianogeno. Egli trovò che il gruppo (CN) possiede caratteristiche simili agli anioni degli alogeni. Per radicale Berzelius intendeva gruppi di atomi capaci di passare inalterati da un composto all'altro e che si combinavano con i vari elementi come un'entità indipendente ed unitaria. La tesi fondamentale della teoria dei radicali di Berzelius era che i composti organici, come quelli inorganici, avevano una struttura polare. In essa vi era una parte elettronegativa (ossigeno, se era presente nel composto) ed una elettropositiva.

Il primo a mettere in dubbio la teoria dei radicali fu Laurent, poi nel 1834 Dumas realizzò la sostituzione dell'idrogeno idrocarburico con il cloro e questa sostituzione avveniva senza che le proprietà chimiche e fisiche delle sostanze subissero notevoli variazioni. Di per sé questo non contraddiceva la teoria dei radicali, ma solo la parte della teoria che assumeva nella molecola un legame polare tra una parte elettronegativa ed una elettropositiva. Come era possibile che l'elettropositivo idrogeno fosse sostituito dall'elettronegativo cloro? Solo nel 1839 con la scoperta dell'acido tricloroacetico la maggior parte dei chimici si convinse di questa possibilità. Partendo da questa scoperta Laurent e poi Dumas svilupparono la teoria della sostituzione nella quale le proprietà dei composti erano determinate non tanto dalla *natura* degli elementi quanto dalla loro *disposizione*. Nelle reazioni di sostituzione, infatti, la gran parte della molecola rimane inerte e solo, un suo pezzo viene sostituito da un altro.

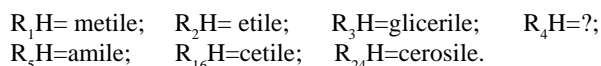
Dal lavoro di sistematizzazione e classificazione degli anni 40 del XIX secolo, Gerhardt elaborò la teoria dei tipi e del sistema unitario. Nel 1848 in *Introduction à l'étude de la chimie par le système unitaire* Gerhardt chiarì il suo concetto di sistema unitario. La molecola era un sistema unitario cioè un qualcosa che non andava pensato come formato da due o tre parti, ma da tanti atomi tenuti insieme dall'attrazione della materia. In particolare egli negava l'esistenza nelle molecole di parti aventi cariche opposte, tenute insieme dall'attrazione elettrica. Nel 1852, dal lavoro sulle anidridi degli acidi organici, egli elaborò la sua teoria dei tipi. Egli affermava che i composti organici potevano essere ricondotti a quattro tipi diversi che erano l'acqua, l'idrogeno, l'acido cloridrico e l'ammoniaca. Per sostituzione di uno o più idrogeni di questi gruppi si potevano ottenere gli alcoli, gli acidi, gli eteri, le anidridi, i composti clorurati, le ammine, ecc. In questa teoria il radicale non era un gruppo autonomo esistente in un dato composto, ma il residuo che si formava da una molecola per eliminazione di un qualche suo elemento e che, combinandosi con il residuo di un'altra molecola, dava origine ad un altro composto. La "teoria dei residui" era stata elaborata da Gerhardt nel 1839 ed entrò come parte integrante nella teoria dei tipi. Nel 1854 Kekulé introdusse il tipo dell'idrogeno solforato e nel 1857-58 la distinzione tra tipi principali e accessori. Le formule tipiche mettevano chiaramente in evidenza alcune proprietà di valenza degli elementi: la monoatomicità degli alogeni, la biatomicità dell'ossigeno e dello zolfo, la triatomicità

dell'azoto ecc., ma Gerhardt insistette sempre sul fatto che le sue formule non avevano nessun rapporto con la struttura molecolare. Per Gerhardt esse riguardavano le trasformazioni (il passato e il futuro) non la struttura (il presente) dei composti. Il complicarsi dei tipi, se da un lato minava lo sforzo di Gerhardt di ricondurre tutti i composti organici a pochi tipi dall'altro preparava il terreno all'elaborazione della vera teoria della struttura molecolare.

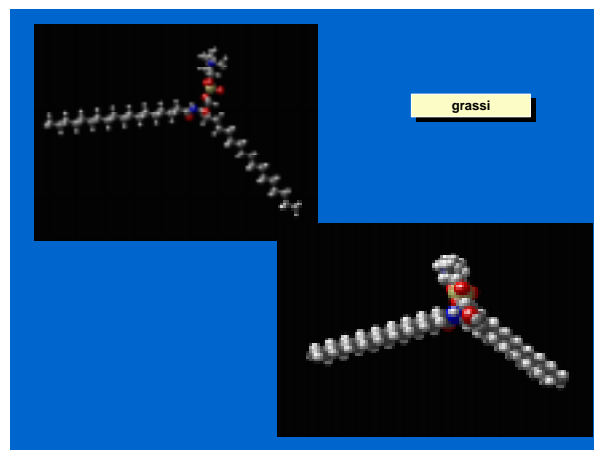
3a. La nascita del concetto di serie omologa

Alla metà del XIX secolo i chimici non si accontentavano più delle formule empiriche, ma li interessava le relazioni all'interno delle varie classi di composti organici e tra le classi. È in tale contesto che fu introdotto il concetto di omologia, che permetteva di spiegare alcuni rapporti tra composti e il rapporto tra composizione e alcune proprietà dei composti. Proprio allora venne stabilita l'esistenza, per i composti organici, di 'serie' i cui termini mostravano una variazione regolare nella loro composizione, parallela alla variazione delle proprietà di queste sostanze.

Nel 1842 J. Schiel mostrò che "i radicali delle sostanze che si usa chiamare alcoli non solo costituiscono una serie semplice e regolare, ma che nelle proprietà di queste sostanze può essere messa in evidenza una corrispondente regolarità. Se in un idrocarburo si indica con R il gruppo CH₂ e con H un equivalente d'idrogeno, i differenti radicali possono essere rappresentati come segue:



Se si confrontano i punti di ebollizione dei derivati ossidrilici dei radicali (alcolici) fino all'amile, cioè fino ai termini che sono ancora volatili, appare evidente che per ogni nuovo R (cioè per ogni CH₂) il punto di ebollizione cresce di 18 °C; così il punto di ebollizione dell'idrossido di metile è 60 °C, quello dell'idrossido di etile 78.4, e per l'idrossido d'amile 132 °C, cioè (78°+3*18)"¹⁴⁴. Nell'opinione di Schiel "in chimica organica possono senza dubbio essere costruite altre serie analoghe a quella sopra indicata"¹⁴⁴. Il merito di Schiel è dunque quello di avere costruito delle serie di sostanze analoghe e di aver scoperto la regolarità della variazione delle proprietà delle sostanze al variare della loro composizione. Egli notò che, nella formazione di tali serie, la composizione cambiava di una quantità costante (C₂H₂) stabilendo con ciò per primo la 'differenza omologica' tra i due termini successivi della serie degli alcoli.



Nel 1843 Dumas annunciò l'esistenza di una serie omologa di acidi grassi i cui elementi differivano per C_2H_4 . In quegli anni Gerhardt avanzò l'idea che l'omologia fosse una proprietà generale per tutti i composti organici ed espresse in questi termini il concetto di omologia: "Esistono composti del carbonio che rispondono alle medesime funzioni chimiche, che seguono le stesse leggi di trasformazione e che contengono la stessa quantità degli elementi idrogeno, ossigeno, cloro, azoto, ecc., aumentata o diminuita di un CH_2 . Queste sostanze io chiamo corpi chimicamente omologhi. Le serie omologhe mi hanno indicato il modo di classificare le sostanze organiche in famiglie naturali partendo dalle funzioni chimiche che esse contengono"¹⁴⁵. Gerhardt dimostrò per primo che la differenza omologa è di un CH_2 ; prima di lui le differenze proposte erano C_2H_2 (Schiel) e C_2H_4 (Dumas). Questa classificazione, secondo Gerhardt: "ha il vantaggio di indirizzare l'attenzione ai problemi che si debbono risolvere e di indicare anticipatamente il posto che dovranno occupare nella serie i corpi ancora da scoprire; essa prevede perfino il comportamento di detti corpi, se sono note le reazioni di alcuni termini della serie"⁷.

Gerhardt definì anche altri due tipi di serie: 'la serie isologa', composti di comportamento chimico simile ma non omologhi, e 'la serie eterologa', nella quale i composti non erano legati dalle proprietà, ma erano preparati uno dall'altro per semplici reazioni. Egli sosteneva che, entrambe le serie, isologhe ed eterologhe, aiutavano i chimici con classificazioni verticali e orizzontali dei composti organici. Per Laurent, tuttavia, questi erano giochi e le serie omologhe erano poco più che un nome.

Nel 1858 F. A. Kekulé dedusse la legge matematica delle serie omologhe: "Se si uniscono più di due atomi di carbonio, per ogni atomo di carbonio aggiunto aumenta di due la capacità di legare altre unità del sistema. Ad esempio il numero di atomi d'idrogeno che n atomi di carbonio uniti tra loro possono legare, sarà dato da : $n(4-2)+2=2n+2$ "⁸.

Procedendo nelle serie si modificavano gradualmente le loro proprietà fisiche (temperatura di ebollizione e di fusione, densità e altre) mentre le proprietà chimiche erano costanti, per esempio era sempre un alcool. Nelle serie omologhe si evidenziava anche la dipendenza delle proprietà delle sostanze dalla loro composizione. La classificazione dei composti organici in serie omologhe permise di mettere ordine nell'abbondante materiale della chimica organica che si era accumulato in quegli anni.

Nel 1861 D. I. Mendeleev così caratterizzò il significato delle serie omologhe: "Dare la descrizione di un singolo termine di una serie omologa e descrivere i composti che da esso derivano significa dare la descrizione generale del gran numero di omologhi e loro derivati, dare cioè un sistema a un enorme numero di corpi"⁹.

4. Teoria della struttura molecolare e la stereochimica

La teoria della struttura di una molecola venne posto all'ordine del giorno dalla scoperta e dallo studio dei fenomeni di isomeria e omologia che inducevano a pensare che nella molecola si stabilisse un ordine definito di distribuzione delle forze dell'interazione tra i costituenti atomici. Occorrerà tuttavia ancora del tempo per potere determinare nella molecola la distribuzione dei legami tra gli atomi. Comunque venivano già considerati problemi di primaria importanza il chiarire come fossero disposti gli atomi nei compo-

sti, come si distribuisse l'azione delle "forze chimiche" di ogni atomo nella molecola, e se questi, direttamente o indirettamente, influissero gli uni sugli altri.

Le premesse fondamentali che prepararono il terreno al sorgere della teoria strutturale furono: la teoria della valenza e dei legami tra gli atomi, il riconoscimento che gli atomi di carbonio potevano unirsi in catene, l'esatta definizione di atomo e di molecola, la messa a punto di metodi per la determinazione precisa dei pesi atomici e molecolari. Riguardo alla struttura molecolare, due opposte visioni si contrapposero. Da un lato si schierò Kekulé che diceva che le formule razionali erano formule di trasformazione e non già di costituzione. Esse non potevano in alcun modo esprimere la costituzione, cioè la posizione degli atomi nei composti. Questa opinione si fondava sulla speranza che attraverso la separazione di atomi dalle molecole che si decomponessero, o comunque si trasformavano, era impossibile sapere come tali atomi erano disposti nel composto originario. Kekulé, infatti, nel *Lehrbuch der organischen Chemie* (1858-61) sosteneva che "è stupefacente che molti chimici credano ancora oggi che attraverso lo studio delle trasformazioni chimiche si possa con sicurezza definire la costituzione di un composto e che questa, cioè la disposizione degli atomi, si possa esprimere con formule chimiche"¹⁴⁹. Per l'autore infatti "non è possibile aggruppare sul piano di un foglio di carta gli atomi che sono disposti spazialmente, l'uno accanto all'altro nelle molecole, in modo che nella stessa formula siano disposti vicini gli atomi che rimangono nel composto nelle sue varie trasformazioni e che le posizioni relative degli atomi nella formula diano una rappresentazione delle proprietà più importanti del composto"¹⁰.

Dall'altro lato, la scuola russa. Un notevole passo avanti nella "teoria della struttura" fu compiuto grazie agli studi del chimico russo A. M. Butlerov il quale sostenne che le proprietà delle singole molecole dei composti chimici, in particolare di quelli organici, potevano essere spiegate solo attraverso la definizione dei legami fra i *singoli atomi* componenti tali molecole: se le sostanze dotate di una identica composizione differivano per le loro proprietà, questo fenomeno doveva essere spiegato da una differente struttura chimica. Butlerov nel 1861 scriveva che "Conclusioni sulla struttura chimica delle sostanze possono assai verosimilmente essere basate sullo studio della loro formazione per sintesi e, principalmente, su quelle sintesi che hanno luogo a temperature poco elevate e, in genere, in condizioni alle quali sia possibile seguire l'andamento del graduale complicarsi delle particelle chimiche. Per ogni corpo sarà possibile una sola formula razionale e, quando saranno note le leggi generali della dipendenza delle proprietà chimiche dei corpi dalla loro struttura chimica, tale formula sarà l'espressione di tutte queste proprietà"¹¹. Inoltre Bazarov, nel 1873 sosteneva che "Una reazione chimica dà la più fedele rappresentazione della struttura dei composti e quanto più svariate saranno queste reazioni, tanto più chiara risulterà tale struttura, allo stesso modo che la conoscenza della costituzione anatomica di un organismo sarà tanto più completa e definita, quanto più piccole saranno le parti in cui l'avremo sezionato, e quanto più varia la direzione delle dissezioni"¹². Il termine "struttura chimica" era già stato utilizzato prima di Butlerov, ma egli gli diede un nuovo significato applicandolo alla definizione del concetto di disposizione dei legami interatomici nelle molecole. Nel 1861 egli definì la

struttura chimica: “La natura chimica delle particelle composte è determinata da quella dei componenti elementari, dal loro numero e dalla struttura chimica. Ogni atomo chimico che entra nella composizione del corpo prende parte alla formazione di quest’ultima e agisce con la quantità determinata di forza chimica (affinità) che gli è propria. Io chiamo *struttura chimica* la distribuzione dell’azione di questa forza, in conseguenza della quale gli atomi agendo direttamente l’uno sull’altro si uniscono in una particella chimica”¹³. Nello stesso anno Butlerov evidenziò due aspetti importanti della struttura chimica: l’unicità della struttura per ogni sostanza ed il collegamento tra la struttura molecolare ed il piano macroscopico delle proprietà delle sostanze: “Per ogni corpo sarà possibile una sola formula razionale e, quando saranno note le leggi generali della dipendenza delle proprietà chimiche dei corpi dalla loro struttura chimica, tale formula sarà l’espressione di tutte queste proprietà”¹⁴.

La spiegazione del problema dell’isomeria non poteva essere data né con la teoria dei radicali né con quella dei tipi. Fu Butlerov che ne diede la giusta spiegazione alla luce della teoria della struttura. Egli predisse molti casi di isomeria (per idrocarburi ed alcoli), dimostrando sperimentalmente la sua teoria. Per esempio nel 1864 egli predisse, e nel 1866 sintetizzò, il trimetilmetano o isobutano (CH₃)₃CH. Particolarmente importanti furono i lavori di V.V. Markovnikov¹⁵ che per primo dimostrò l’esistenza di isomeri negli acidi grassi. Tra il 1862 e il 1866 Butlerov espresse in forma generale il principio fondamentale dell’isomeria reversibile, poi da P.C. Laar chiamato tautomeria nel 1885. Secondo Butlerov, il meccanismo dell’isomerizzazione reversibile consisteva nella scissione della molecola, avente una struttura, e nella riunione dei frammenti a formare l’altra molecola, con un’altra struttura.

La situazione però era più complicata. Due altri problemi concettuali richiedevano di essere analizzati. Li esemplifichiamo sempre con Butlerov.

1) Il numero di legami in una molecola. Egli pensava che in ogni molecola esistessero tanti legami e così disposti in modo che *ogni atomo* fosse legato direttamente o indirettamente a tutti i rimanenti atomi della molecola.

2) La natura degli atomi nelle molecole. Nel 1864 egli sviluppò il suo pensiero sull’azione reciproca degli atomi che entravano nella composizione di una data molecola: “Due atomi identici nella loro natura, entrando nella composizione di una stessa molecola assumono differente carattere chimico quando l’influenza che ciascuno di essi esercita sulle altre parti componenti di questa molecola è differente”¹⁴.

Con la tesi di Markovnikov *Materiali sulla questione della reciproca influenza degli atomi nei composti chimici* la teoria della struttura ebbe un ulteriore sviluppo. Egli aveva chiaro che le forze di affinità (in linguaggio moderno i legami chimici) che un atomo poteva formare allo stato libero erano diverse da quelle che si trovavano per lo stesso atomo in un composto. All’interno della molecola, le azioni reciproche indebolivano o rinforzavano i legami tra gli atomi. Tali azioni andavano a diminuire con la distanza nella catena tra i due atomi. Infatti, egli diceva, che più lunga era la catena che formava il composto e tanto più debole diventava l’influenza reciproca dei suoi membri, in dipendenza della distanza che li separava. Che la situazione non fosse così semplice ed univoca lo si può vedere in Mendeleev che, nella sua memoria sulla legge di periodicità

del 1871, ricollegandosi alla visione newtoniana della forza chimica, diceva che: “È necessario supporre che gli atomi nella particella si trovino in un qualche equilibrio dinamico e agiscono l’uno sull’altro. L’intero sistema è legato da forze, appartenenti alle diverse parti, e non è lecito pensare che due parti qualunque dell’insieme si trovino in dipendenza da una terza e non influiscano l’una sull’altra, tanto più se tutto ciò che sappiamo su queste sue parti ci orienta verso il riconoscimento di una loro chiara e costante interazione ‘chimica’ ”¹⁶.

Un altro problema aperto era la struttura dei composti insaturi. Nel 1870 Butlerov riteneva risolto il problema della struttura dei composti saturi mentre la conoscenza della struttura dei composti organici insaturi, anche dei più semplici tra essi, rimaneva ancora incerta. Nel 1865 E. Erlenmeyer aveva ipotizzato l’esistenza di legami multipli nei composti insaturi e la conferma sperimentale di tale ipotesi venne dai lavori sperimentali di Butlerov e Markovnikov. Nel 1899 F. K. J. Thiele propose la teoria delle valenze parziali per spiegare la reattività che i composti insaturi mostravano nelle reazioni di addizioni. Secondo Thiele era come se in un doppio legame vi fosse stato un residuo di valenza che egli chiamò “valenze parziali”. La cosa che sembrava strana ai chimici di fine Ottocento era che la rottura del legame avveniva più facilmente in corrispondenza dei doppi e tripli legami, mentre dalla teoria della struttura si pensava che sarebbe dovuto accadere il contrario, dato che nel caso di un legame doppio la forza di affinità tra due atomi avrebbe dovuto raddoppiarsi o quanto meno aumentare.

Un discorso a parte merita il caso della struttura dei composti aromatici. Guardiamola un po’ in dettaglio. Lo svilupparsi della chimica del catrame aveva portato alla luce molti composti tra cui il benzene. Fu M. Faraday che lo scoperse nel 1825 e gli diede il nome di “idrogeno bicarburato” e gli assegnò la formula C₂H. Il successivo nome di “benzolo” fu proposto da J. Liebig. Altri composti simili furono ben presto ottenuti: nel 1845 N.N. Zimin preparò l’anilina; presto fu noto l’acido benzoico ed i suoi derivati ed in seguito si ottennero composti ancora più complessi. Il nome di “aromatici” fu introdotto da Kekulé nel 1860. Nel 1858 Kekulé aveva osservato che questi composti hanno un contenuto di carbonio nettamente maggiore di tutti gli altri composti organici. Nel 1865, utilizzando la teoria di Erlenmeyer sull’esistenza di legami multipli, Kekulé elaborò la teoria della struttura dei composti aromatici. Essa si basava sul postulato: tutti i composti aromatici contengono un raggruppamento comune, qualcosa come un nucleo, formato da sei atomi di carbonio.

Nell’analisi di tale nucleo vennero fuori tre nuovi postulati:

- 1) Tale nucleo era una struttura chiusa a forma esagonale;
- 2) Gli atomi di carbonio erano legati alternativamente da legami singoli e da legami doppi;
- 3) I sei atomi di idrogeno erano equivalenti.

Tale teoria dei composti aromatici incontrava grandi difficoltà nella determinazione degli isomeri dei prodotti sostituiti. Nel 1879 Ladenburg fece notare che dalla struttura del benzene proposto da Kekulé due sostituenti in orto (cioè su atomi di carbonio vicini) potevano stare su di un doppio legame o su di un singolo e quindi vi dovevano essere due differenti derivati. Fu allora che Kekulé rispose all’obiezione ammettendo che i doppi legami del benzene non occupassero posizioni fisse, ma oscillassero e questo portò alla doppia formula del benzene. Nel 1899 fu

Thiele che, in applicazione della sua teoria delle valenze parziali, propose una formula simile a quella odierna. In conclusione possiamo dire che l'introduzione della teoria della struttura molecolare modificò radicalmente la situazione della chimica organica. L'empirismo e l'ignoranza del meccanismo delle reazioni (soprattutto di quelle complesse della chimica organica) fu soppiantato da un atteggiamento attivo e cosciente nella sintesi di nuovi composti, secondo un piano studiato a tavolino. Invece dei tentativi alla cieca, si seguì uno schema basato sulla conoscenza della struttura dei prodotti di partenza e di quelli a cui si voleva arrivare. La sintesi di nuove sostanze ottenute in questo modo, più di ogni altro fatto, testimoniò la fertilità della teoria della struttura molecolare, la cui validità nessuna delle successive scoperte ha messo in dubbio, portando anzi ad una sua conferma e ad un suo completamento.

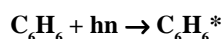
Le ricerche sull'isomeria rivelarono in molti casi l'esistenza di un numero d'isomeri superiori a quello prevedibile dalla teoria della struttura molecolare, nella cui cornice non si inserivano l'isomeria ottica e quella geometrica. Lo studio delle cause di queste isomerie portò alla creazione della stereochimica che non è in opposizione con la struttura molecolare ma ne costituisce un approfondimento. Nel 1872 Markovnikov scriveva che "La teoria della struttura vuole solo indagare in che modo è distribuita la forza di affinità chimica tra i singoli atomi di una molecola. Parlando degli aggruppamenti degli atomi, non intende affatto entrare nel merito delle posizioni relative degli atomi nello spazio occupato dalle molecole. Tuttavia risulta difficile immaginare che tra interazione chimica e posizione fisica degli atomi nella molecola non esistono delle relazioni dirette e definite. Quali siano tali relazioni per ora non possiamo dire: ma questa è una delle questioni più urgenti, che dovrà essere risolta in un modo o nell'altro"¹⁵.

Due sono i fatti sperimentali che contribuirono decisamente alla nascita della stereochimica¹⁷. Tra la fine del XVIII e l'inizio del XIX secolo furono scoperte due sostanze alle quali venne assegnato il nome di acido lattico. Infatti, studi chimico-fisici permisero di accertare che l'acido lattico del latte e quello dei muscoli non erano la stessa sostanza. La prima ipotesi fu che si trattasse di una comune isomeria, ma alla fine di molti esperimenti si giunse alla conclusione che erano due sostanze diverse con la stessa situazione di legame. L'altro contributo è quello degli studi di Pasteur sull'acido racemico. Il sale doppio di sodio ed ammonio di questo acido dava cristalli asimmetrici, ma non presentava attività ottica. Ciò era in contrasto con tutti gli altri esempi simili, compresi gli altri sali dello stesso acido. Osservando al microscopio i cristalli di questo sale doppio Pasteur si accorse che vi erano due tipi di cristalli asimmetrici, uno l'immagine speculare dell'altro. Separati manualmente questi due tipi di cristalli asimmetrici presentavano attività ottica, ma di segno opposto: l'acido racemico era quindi una miscela in parti uguali delle due forme di acido tartarico.

La risposta a questi problemi fu data da van't Hoff nel lavoro del 1874. A livello molecolare l'asimmetria non era legata ad una forma di tetraedro distorto, ma al fatto che quattro gruppi diversi legati al carbonio danno due configurazioni speculari non sovrapponibili. In particolare, quando le quattro valenze del carbonio erano saturate da quattro gruppi differenti, il suo atomo doveva essere considerato *asimmetrico* ed era la presenza di un atomo di

carbonio asimmetrico a produrre la rotazione destra o sinistra del piano di polarizzazione della luce. Una conseguenza di tale ipotesi era che i composti organici che contenevano atomi di carbonio asimmetrici, ma erano otticamente inattivi, potevano essere risolti in composti otticamente attivi. Sempre nel 1874 il francese Jean Achille Le Bel, riprendendo i lavori di Pasteur, giunse alla stessa conclusione di Van't Hoff, La teoria di van't Hoff dell'atomo di carbonio asimmetrico faceva prevedere che in natura dovessero esistere molte sostanze otticamente inattive che in realtà non erano altro che una miscela equimolecolare di sostanze otticamente attive. Quando infatti si formano queste sostanze, solo opportune condizioni permettono di realizzare una configurazione invece che l'altra. Dopo van't Hoff e Le Bel, l'ipotesi del carbonio tetraedrico continuò ad essere studiata in tutte le sue conseguenze¹⁸. Bischoff nel 1890 stabilì i criteri della rotazione libera intorno ai legami semplici, e pose le basi dell'isomeria rotazionale. Fischer nel 1890 dimostrò, mediante la sintesi, l'esistenza di tutti gli stereoisomeri previsti dalla teoria di van't Hoff per i saccaridi contenuti in atomi di carbonio asimmetrici. Nel 1893 infine, la teoria venne estesa da Werner per spiegare la struttura di coordinazione nei sali complessi.

Il caso degli isomeri ottici, le cui molecole hanno strutture che si differenziano solo per la loro reciproca specularità e le cui hanno tutte le proprietà fisiche identiche (eccetto la rotazione del piano della luce polarizzata), ma alcune proprietà chimiche (quelle che si esprimono nella reattività con altre sostanze otticamente attive) e fisiologiche diverse, merita qualche ulteriore considerazione. Uno dei scopi principali, forse il principale in assoluto, dello studio della struttura molecolare è quello di un collegamento univoco tra quest'ultima e le proprietà molecolari. Nel caso della stereoisomeria qualche problema a tale collegamento viene. In realtà questo non è l'unico caso. Consideriamo il caso della sostituzione isotopica. La trasformazione di una sostanza in una sostanza 'marcata' non altera la struttura delle sue molecole e non ne modifica la reattività. Sono invece modificate le proprietà spettroscopiche. Infine, abbiamo il caso delle molecole nello stato elettronico eccitato. Le molecole del benzene sono sempre molecole di questa sostanza anche quando sono nel primo stato eccitato, ma la loro geometria e la loro reattività è profondamente mutata: ci potremmo quindi chiedere quanto di trasformazione e quanto di invarianza sia rappresentato dalla scrittura:



In questi tre casi (chiralità, sostituzione isotopica e stati eccitati) il collegamento tra il concetto di struttura e l'insieme delle proprietà molecolari diventa problematico.

5. Il concetto di struttura molecolare alla fine del XX secolo

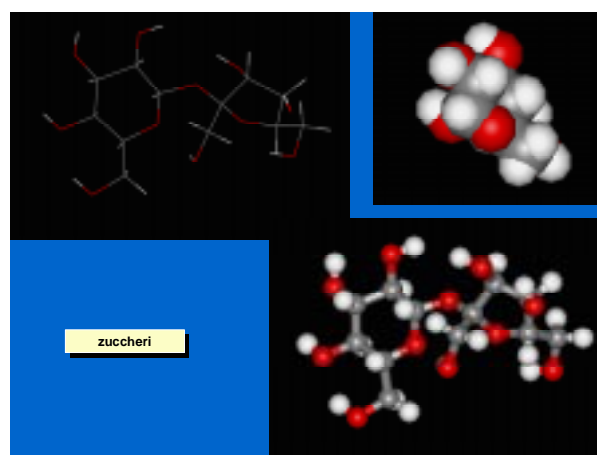
Il concetto di struttura molecolare, come abbiamo visto, è stato elaborato nel secolo scorso ed ha ricevuto nel XX secolo importanti conferme e qualche critica. Qui parleremo delle due principali critiche: una teorica, legata alla meccanica quantistica e l'altra legata alle sovrastrutture (o diversi ordini di strutture) delle macromolecole organiche (polimeri) e biologiche (proteine, DNA, ecc.). Vi è poi un altro aspetto generale che, pur non essendo una criti-

ca al concetto di struttura molecolare, ne può ridurre l'importanza. Partiamo proprio da questo punto. Per molto tempo la sintesi e lo studio delle proprietà delle molecole è stato per il chimico il lavoro praticamente esclusivo. Da una trentina d'anni l'attenzione di molti chimici si è rivolta allo studio di sistemi complessi di molecole, tenuti insieme da legami non covalenti, e questa branca della chimica ha costituito una regione a sé stante in espansione: la chimica supramolecolare. Per riassumerla ai non chimici, essa utilizza delle molecole come base di partenza per formare sistemi organizzati di più molecole, fortemente specifici, e che possono essere utilizzati come "macchine molecolari"¹⁹. Parole, come per esempio "computer chimico", potranno tra qualche anno etichettare dispositivi reali. Io credo che la chimica supramolecolare non rappresenti un ridimensionamento del concetto di struttura molecolare, ma, anzi, un suo naturale sviluppo ed una dimostrazione di come, questo concetto vecchio ormai di più di un secolo, sia ancora vivo ed in espansione.

La meccanica quantistica pone due tipi di critiche al concetto di struttura molecolare. A prima vista la meccanica quantistica, e la natura ondulatoria delle particelle quantistiche, sembra collidere con una loro strutturazione. In realtà è proprio la natura ondulatoria degli enti microscopici che permette di chiarire l'aspetto globale (ed individualizzante) di una struttura, permette cioè di comprendere uno dei suoi aspetti fondamentali. La seconda critica che la meccanica quantistica pone al concetto di struttura è che essa viene sostanzialmente dall'approssimazione di Born-Oppeneimer che separa il moto elettronico da quello nucleare. Questa separazione è un'approssimazione e sembra, quindi, che un concetto fondamentale della chimica, e della scienza in generale, venga fuori più dalla nostra incapacità a trattare in maniera completa, elettroni e nuclei insieme, un sistema molecolare che in maniera autonoma. Inoltre tale approssimazione viene meno in particolari casi e con essa dovrebbe venire meno il concetto di struttura.

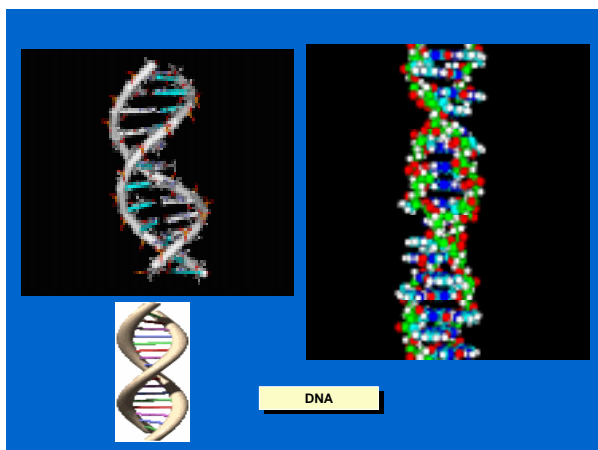
Ci sono molti modi di rispondere a questa obiezione, ma non voglio dilungarmi a considerarli in dettaglio in quanto credo sia la meccanica quantistica a dovere essere in grado di spiegare l'enorme mole di "fatti" razionalizzati dal concetto di struttura molecolare e non viceversa. Un aspetto generale va comunque evidenziato, perché di notevole significato epistemologico. L'approccio allo studio di un sistema composito, separandone i costituenti ed analizzandone i fenomeni e le proprietà del sistema globale in termini dei fenomeni e delle proprietà delle parti è un metodo generale e la funzione di tale dissezione è quella di rendere possibili confronti tra enti che, se non decomposti, sarebbero unici ed inconfrontabili. Sullo stesso piano epistemologico si pone la separazione temporale dei fenomeni, implicata appunto nella Born-Oppeneimer. Anche tale separazione è generale nella scienza e svolge una funzione essenziale da evidenziare. Le critiche, quindi, alla separazione dei tempi della Born-Oppeneimer, e di conseguenza, le critiche al concetto di struttura molecolare, non sono specifiche, ma generali ad un metodo della scienza, e a guardare bene anche della vita comune, quello di sezionare i processi e gli enti, che nella pratica di tutti i giorni dimostra la sua efficacia e che ha solide radici concettuali. In pratica, possiamo dire che il concetto di "approssimazione" va rivisto alla luce del concetto di scale quantiche, sia delle energie (e delle dimensioni) che dei

tempi. Trattare un livello di complessità che, sebbene non sempre coincidente con un gradino della scala quantica di energia, sicuramente ad essa strettamente connesso, equivale a "trascurare" altre strutture perché irrilevanti in quel contesto. A una temperatura molto bassa, le molecole di ogni sostanza costituiscono una sola grande unità, un cristallo la cui coesione è elevata e nel quale ogni singola parte è identica alle altre. Se portiamo questo cristallo a una temperatura più alta otteniamo una fusione e un'evaporazione e ne risultano dei liquidi o dei gas. Alla temperatura normale, in un gas ogni singola molecola segue un percorso diverso, urtando le altre molecole nel suo movimento irregolare. I moti delle molecole cessano di essere uguali, cambiano di continuo e corrispondono a quanto possiamo prevedere in base alla meccanica classica. Le molecole, come tali, sono tuttavia identiche l'una all'altra. Interagiscono come palle di biliardo inerti. Le energie d'urto non sono abbastanza grandi da distruggere il loro stato quantico. A temperature ancora più alte, l'energia d'urto supera le energie di eccitazione delle molecole. Il moto interno degli atomi e degli elettroni prende parte allo scambio di energia. Ciò avviene alla temperatura a cui il gas comincia ed essere incandescente ed emette luce. Se viene fornita una quantità d'energia ancora maggiore, le molecole si spezzano in atomi e, se l'energia continua a crescere, gli elettroni vengono strappati via dall'atomo. Gli atomi perdono di conseguenza la loro individualità e la loro specificità. Ora, gli elettroni e i nuclei atomici si muovono liberamente e in modo casuale e non esistono due elettroni che si muovono in modo del tutto identico. Questo stato di cose si ha a temperature dell'ordine di grandezza di quelle esistenti all'interno delle stelle. Per certi atomi è tuttavia possibile creare in laboratorio tali condizioni. A queste energie i nuclei atomici si trovano ancora nei loro stati fondamentali. Sono ancora identici e specifici, mentre, privi ormai delle loro qualità specifiche, gli atomi sono invece passati a un comportamento aspecifico e casuale. Proseguendo con l'incremento di energia si entra nella struttura del nucleo e poi delle sue particelle.

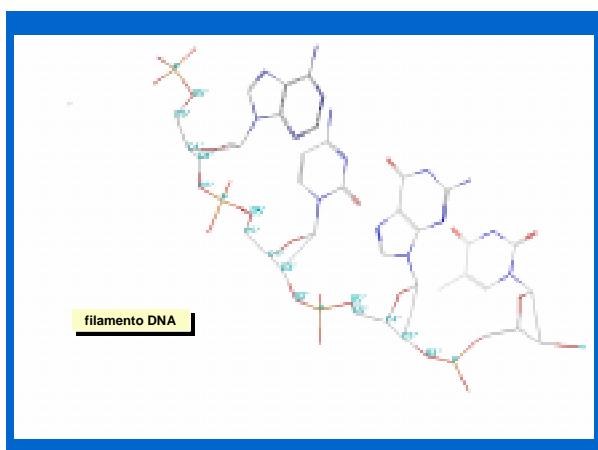


La scala quantica ci ha consentito di scoprire passo dopo passo le strutture del mondo naturale. Quando studiamo i fenomeni delle energie atomiche, non dobbiamo occuparci della struttura interna dei nuclei e quando studiamo la meccanica dei gas, a temperature normali, non dobbiamo occuparci della struttura interna degli atomi. Nel primo caso possiamo considerare come unità identiche e immutabili i nu-

clei; nel secondo caso i singoli atomi. In tal modo i fenomeni osservati risultano più semplici e, fintanto che le energie prevalenti sono basse al punto da consentirci di considerare i costituenti come unità inerti, i sistemi possono venire capiti senza alcuna conoscenza della struttura interna dei costituenti. Inoltre, trattare un fenomeno, scomponendolo in enti statici ed enti dinamici, è stata un'approssimazione che ci ha permesso di decomporre il fluire degli eventi. È questo l'insegnamento che ci viene dalla scienza e che permette di evitare molte aporie filosofiche.



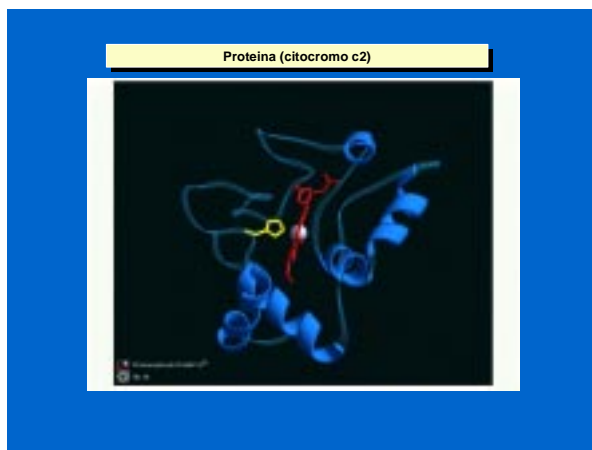
L'altra critica al concetto di struttura poggia sulle macromolecole e la loro possibilità di avere delle sovrastrutture. Vi sono due problemi che le macromolecole pongono a questo concetto. Per prima cosa chiediamoci se il DNA di tutti gli esseri umani è identico. Ovviamente la risposta è negativa e solo i gemelli omozigoti hanno lo stesso DNA. Allora perché chiamiamo con lo stesso nome DNA tante sostanze diverse? Inoltre, le sovrastrutture esistono tanto per le macromolecole organiche, che possono presentare una sovrastruttura di insieme, per esempio formare una molecola globulare, quanto per le macromolecole biologiche.



Per queste ultime le sovrastrutture diventano ancora più importanti. Per esempio le proteine presentano più tipi di sovrastrutture (o differenti tipi di struttura) e si parla di:

- 134** 1. Una struttura primaria che è costituita da una sequenza topologicamente lineare di radicali amminoacidi uniti da legami covalenti. La possiamo identificare, almeno sostanzialmente, con la normale struttura chimica se si accetta la visione che in biochimica le unità di partenza sono le mo-

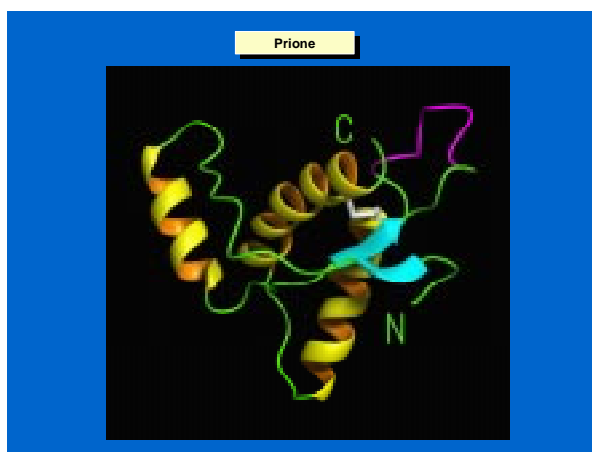
lecole (in questo caso gli amminoacidi) e non gli atomi.



Questa catena, estremamente flessibile, possiede, almeno teoricamente, un numero di conformazioni (situazioni stabili) quasi infinito. Essa è "casuale" nel senso che non esiste nessuna legge, e neppure una regola, che ci consenta di prevedere un amminoacido lungo questa catena. Infatti, anche se conoscessimo i primi 999 amminoacidi di una proteina di mille amminoacidi, niente ci permetterebbe di indovinare l'ultimo amminoacido mancante;

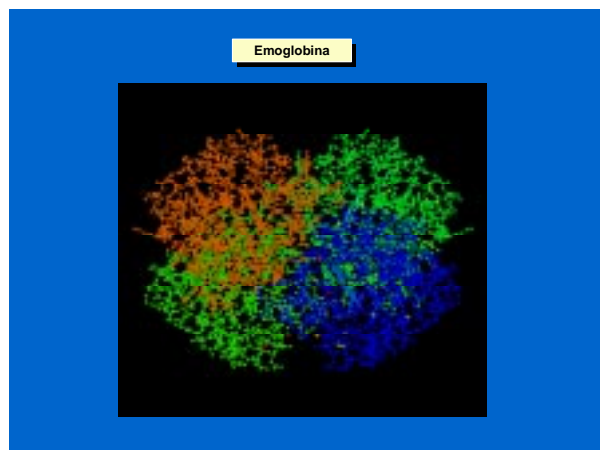
2. una struttura secondaria che definisce il primo livello di comportamento globale della catena peptidica. Per esempio una struttura α -elica. Tale struttura è tenuta in piedi da legami idrogeno e svolge importanti compiti biochimici. Per esempio la separazione tra le due doppie eliche del DNA, e relativa ricostruzione di quella complementare, rende possibile il passaggio dell'informazione da una molecola all'altra;

3. una struttura terziaria legata all'inglobamento di parti idrofobiche, per ridurre il contatto con l'acqua. Questo tipo di struttura mostra come è difficile separare completamente la molecola dell'ambiente per questi sistemi;



4. e, infine, una struttura quaternaria quando la macromolecola si organizza in più subunità polipeptidiche. Il principale problema che queste strutture di ordine superiore pongono al normale concetto di struttura molecolare è il seguente. Dato che queste molecole sono sufficientemente grandi e flessibili, più che l'aspetto chimico viene a contare la forma geometrica che tale molecole assumono. Un chiaro esempio di ciò è il modello di Fischer del 1894 che descrive l'interazione delle molecole

nei termini di chiave e serratura. Tale modello, largamente utilizzato a tutt'oggi in biochimica, rende la struttura chimica della macromolecola solo da supporto per formare un sito (la serratura) particolare dove un'altra molecola (la chiave) va a posizionarsi e a reagire. Ovviamente nel sito l'interazione tra la chiave e la serratura è di natura chimica, ma è la restante parte della molecola ad essere ininfluente. Questo approccio è in parte presente anche nella normale chimica organica dove al concetto di sito si sostituisce quello di gruppo funzionale.



Per questi sistemi macromolecolari inoltre, si può porre il problema se essi definiscono o no un nuovo piano di complessità. La risposta a questa questione è in gran parte convenzionale dovendosi valutare se le proprietà che emergono, come quelle legate alle sovrastrutture, sono tali da differenziare completamente una molecola da una macromolecola. In generale, comunque, per questi sistemi vale quello già detto per la chimica supramolecolare: sono più la riprova della fecondità del concetto di struttura molecolare che un'evidenza delle sue lacune.

Bibliografia

- ¹ G. Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole* (CUEN, Napoli, 2001), Cap. 1 e 7.
- ² K. Mainzer, *Hyle*, 3 (1997) 29-49.
- ³ G. Del Re, *Hyle*, 4 (1998) 81-103.
- ⁴ P. Zeidler, *Hyle*, 6 (2000) 17-34.
- ⁵ G. Villani, *La chiave del mondo, idem*, Cap. 6.
- ⁶ G. Sommerhoff, *Le Caratteristiche Astratte dei Sistemi Viventi*, in *Teoria dei Sistemi*, a cura di F.E. Emery, FrancoAngeli, Milano, 1994, p. 164.
- ⁷ C. Gerhardt, in J. I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri*, Biblioteca della EST, Edizioni scientifiche e tecniche Mondadori, Milano 1976, p. 202.
- ⁸ F. A. Kekulé, in J. I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai giorni nostri, idem*, p. 202.
- ⁹ D. I. Mendeleev, in J. I. Solov'ev, *idem*, p. 203.
- ¹⁰ F. A. Kekulé, *Lehrbuch der organischen Chemie, oder der Chemie der Kohlenstoffverbindungen*, I Erlangen (1861).
- ¹¹ A. M. Butlerov, in J. I. Solov'ev, *idem*, p. 224.
- ¹² A. Barazov, in J. I. Solov'ev, *idem*, p. 224 (nella nota).
- ¹³ A. M. Butlerov, *Opere*, I, Mosca 1953.
- ¹⁴ A. M. Butlerov, *Sulle differenti spiegazioni di alcuni casi di isomeria (1864)*, in *Opere*, I, Mosca 1953.
- ¹⁵ V.V. Markovnikov, *Lavori scelti*, Mosca 1953.
- ¹⁶ D. Mendeliev, memoria su *La legge della periodicità degli elementi chimici*, 1871, in A. Di Meo, *Atomi e molecole fra due secoli (XIX e XX)*, Atti della III^a Scuola Estiva "Fondamenti Metodologici ed Epistemologici, Storia e Didattica della Chimica", Pisa 2000, a cura di E. Niccoli, P. Riani e G. Villani, pp. 87-88.
- ¹⁷ E. Torracca, *La stereochimica e la valenza*, in *Storia della Scienza Moderna e Contemporanea*, diretta da Paolo Rossi, Il Secolo Ventesimo, vol. 1, pp. 629-636.
- ¹⁸ G. Montando, *La Chimica e l'Industria*, 84 (2002) 66
- ¹⁹ V. Balzani e F. Scandola, in *Comprehensive supramolecular chemistry*, edit. J. L. Atwood, J. E. D. Davies, D. D. Mac Nicol, F. Vögtle, Pergamon Press, Oxford 1996, Vol. 10, p. 687.

Anche ad esser s'impara ...

(Calvino)

Riflessioni sul biennio della scuola secondaria superiore

ELEONORA AQUILINI*

Un'opportunità che la vita ci può dare per imparare ad "essere" è quello di darci la possibilità di riconoscere e seguire la nostra vocazione, le nostre attitudini.

Quello che all'inizio del nostro percorso scolare è attitudine, piacere di studiare una materia piuttosto che un'altra, può diventare il nostro principale interesse da adulti e lo strumento essenziale del nostro mestiere. In questo caso il nostro mestiere diventa l'attività in cui concretizziamo le nostre aspirazioni.

Ci sono fattori sicuramente indefinibili nella scelta di un mestiere quando questa scelta è frutto di una spinta interiore, di una vocazione, perché la causa viene spesso da molto lontano, da eventi spesso imponderabili e sotterranei. Credo che la ricchezza più grande che un uomo possa avere è una predisposizione chiara verso un ramo della conoscenza. La vocazione nasce nella storia di ognuno di noi e quando la si riconosce non possiamo tradirla, perché in quel campo non ragioniamo solo con il cervello, *capiamo*, usando l'intuito e l'immaginazione. Vediamo dove gli altri non vedono perché quella strada non è una strada, ma è la *nostra* strada: c'è dentro quello che sappiamo della vita. È la salvezza della nostra vita. È facile avere, trovare, riconoscere una vocazione? Il punto che siamo qui chiamati a discutere è, pensando alla centralità del biennio nella formazione, l'importanza dei tempi lunghi e distesi che occorrono per trovare la strada, la propria strada.

Scrivono Natalia Ginzburg: "...e a volte un ragazzo svogliato, solitario e schivo non è senza amore per la vita, né oppresso dalla paura di vivere, intento a preparare se stesso alla propria vocazione, E che cos'è la vocazione di un essere umano, se non la più alta espressione del suo amore per la vita?

Noi dobbiamo allora aspettare accanto a lui, che la sua vocazione si svegli, e prenda corpo. Il suo atteggiamento può assomigliare a quello della talpa o della lucertola, che se ne sta immobile fingendosi morta: ma in realtà fiuta e spia la traccia dell'insetto, sul quale si getterà con un balzo.

Accanto a lui, ma in silenzio e un poco in disparte, noi dobbiamo aspettare lo scatto del suo spirito.

...Quali possibilità abbiamo noi di svegliare e stimolare...la nascita di una vocazione? Non ne abbiamo molte: e tuttavia ne abbiamo forse qualcuna. La nascita e lo sviluppo di

una vocazione richiede spazio: spazio e silenzio: il libero silenzio dello spazio."¹

Le scelte precoci lasciano spazi angusti, non hanno alle loro spalle il tempo. Sono non scelte, è la strada tracciata dalla nostra condizione sociale e culturale, quella dei nostri genitori, la scelta dipende dalla famiglia di appartenenza. Si dirà che a volte può andare bene lo stesso o che comunque è difficile cambiare la rotta...sì, ma non rinunciamo alle possibilità che ci dà il tempo....

Cosa possiamo fare noi insegnanti?

L'adolescenza è il periodo dominato da forti contrasti: contempliamo dentro di noi solo paesaggi incendiati o vaste distese di ghiacciai ed entrambi ci appartengono, li riconosciamo. Lasciamo i climi temperati e i paesaggi collinari agli altri, agli adulti, perché a noi non dicono nulla.

La scuola deve tenerne conto. In che senso? Nel senso che la capacità di appassionarci tanto o per niente, senza mezze misure, a quell'età è il nostro limite ma anche la nostra forza.

Le discipline, gli strumenti principali della formazione degli alunni, devono essere coinvolgenti per essere prese in considerazione dagli alunni, da tutti gli alunni, sia da quelli che vivono in ambienti culturalmente fecondi che da coloro che vivono in ambienti culturalmente aridi.

Faccio l'esempio delle scienze. In questo mondo dominato da un'irrazionalità che porta ad esempio ad identificare la tecnologia con la magia appassionarsi alle discipline scientifiche è difficile. Non si diventa scienziati appassionati studiando i freddi libri di scienze che ci forniscono le scuole dalle elementari fino all'università.

La via alla scienza per i bambini dovrebbe essere inizialmente *atteggiamento scientifico*: osservare, fare ipotesi e verificarle, essere curiosi, saper parlare e scrivere di quello che si sta studiando, usando un linguaggio sempre più adeguato ma senza le formulazioni scientifiche totalmente estranee alla comprensibilità che si leggono nei sussidiari. Si tratta di conoscere alcuni fenomeni dando dei nomi e delle definizioni alla fine di un percorso in cui si sono acquisite dei concetti. Nel biennio poi i ragazzi impareranno come sono nate le idee e i problemi scientifici e come sono stati risolti. Il problema della contestualizzazione storica ed epistemologica è delicato e di grande importanza nella vita della persona, del suo sviluppo. Questo passaggio è fondamentale perché è nell'acquisizione di formulazioni e definizioni riassuntive che definitivamente si può bruciare la curiosità dei ragazzi. Nel dogmatismo senza appello della scienza presentata dai libri di testo finisce la voglia di sapere e di comprendere. Per un ragazzo è fondamentale sapere che i suoi problemi, le sue credenze sono, ad

¹ N. Ginzburg. Le piccole virtù, Torino. Einaudi, 1976, p.134.

esempio, quelli degli uomini nella fase prescientifica; allora non si sente sciocco, stupido, uno che dovrebbe avere tutto chiaro e invece non capisce nulla. C'è una bella differenza fra ricevere come messaggio che certe problemi non erano chiari neanche ai grandi scienziati dal recepire dall'insegnante che tutto è ovvio, scontato e che ogni concetto scientifico si può comprendere semplicemente con logica deduttiva.

Anche nel condividere le idee di altri in altri tempi, ripercorrendo la storia delle idee, *siamo*: ci rispecchiamo e ci riconosciamo in una storia umana, in una comunità e *impariamo ad essere*.

Cosa fare nel biennio reale?

Se la scuola di base ideale fosse veramente il regno dell'operatività, quello in cui si lavora in modo concreto sui problemi per sostituire le definizioni libresche con le definizioni operative² in modo che i ragionamenti vengano intessuti su fatti concreti e non su parole che spiegano altre parole, allora il biennio della scuola media superiore potrebbe essere pensato come il periodo di passaggio dalla concretezza all'astrazione. Il problema è che spesso già nella scuola media inferiore si spinge fortemente verso la formalizzazione precoce e il compito del biennio è ancora più arduo: c'è da valorizzare il pensiero concreto a cui è stata sovrimposta una patina di disciplina astratta. Spesso nella scuola media ci si spinge avanti solo con le parole, facendo trasportare i concetti solo con formulazioni verbali spesso vuote. Si tratta allora di recuperare un'operatività che non è stata quasi mai praticata, con alunni che non hanno dieci anni ma ne hanno quattordici.

Questo non per una questione di principio di tipo attivista ma per una riflessione sul curriculum di scienze: prima di sapere le leggi bisogna conoscere i fenomeni.

Allora si tratta di avere in mente un curriculum "ideale" (quello che è adatto per la scuola media, quello che è adatto per la scuola media superiore), valutando i tempi, considerando ciò che fondamentale conoscere di quella disciplina e poi lavorare nella realtà della classe. In un certo senso c'è da tornare indietro per poi andare avanti sulla strada che va verso formalizzazioni e astrazioni che non sono astrattezze.

Il caso della chimica

La chimica del biennio dovrebbe essere centrata sull'acquisizione del concetto scientifico di sostanza, semplice e composta, distinguendolo dal concetto di miscela³. Si tratta in pratica di andare a definire gradualmente di che cosa sono fatti i vari materiali, classificandoli non su basi percettive ma in base ai criteri che ci vengono forniti dalle leggi della chimica classica.

Occorre realizzare nel biennio il passaggio dall'approccio fenomenologico e qualitativo delle trasformazioni chimiche a quello teorico e quantitativo.

Questa è un'operazione che tiene conto della storia del pensiero chimico. Prima di Lavoisier c'erano moltissime conoscenze empiriche: erano note varie tecniche di combustione per ricavare, metalli, leganti, laterizi; venivano

usati gli acidi minerali per sciogliere solidi insolubili in acqua, il fuoco era l'agente principale per le trasformazioni chimiche. D'altra parte le sostanze venivano fuse ed evaporate realizzando anche quelle che noi chiamiamo trasformazioni fisiche. Nessuno però aveva compreso la differenza fra questi tipi di trasformazioni, nessuno era andato più in là dell'uso artigianale delle varie tecniche.

Con Lavoisier si comincia a capire che cosa sono le trasformazioni chimiche perché si studia il ruolo dell'aria della combustione, si misura e si "prova" la conservazione del peso, si capisce che la composizione delle sostanze che reagiscono è legata intimamente a quelle che si formano. La misura entra nella chimica, grazie alla matematizzazione e la chimica nasce come scienza.

Nella scuola di base si dovrebbe ripercorrere la fase prescientifica, artigianale, della chimica, visto che "la situazione psicologica del non esperto di fronte al mondo dei materiali, delle sostanze e delle trasformazioni non è molto diversa da quella dello scienziato o dell'artigiano di 4-5 secoli fa. Se si vogliono costruire conoscenze che siano in consonanza con le strutture cognitive dello studente e con il suo mondo percettivo, occorre dedicare gli anni della scuola di base a realizzare questo passaggio graduale dalla materia indistinta della percezione quotidiana all'individuazione di alcuni materiali, di alcune sostanze e di alcune classi di sostanze"⁴

Ovviamente si scelgono le fenomenologie connesse a problematiche chimiche significative: la combustione, le soluzioni, gli acidi le basi e i sali. Si studiano proprietà fisiche come la temperatura di ebollizione e di fusione, il peso specifico, la solubilità in modo da poter caratterizzare le sostanze. Si distinguono gradualmente le trasformazioni chimiche da quelle fisiche.

Idealmente nel biennio della scuola media superiore si dovrebbe ripartire da qui centrando poi il lavoro sulle leggi classiche della chimica iniziando dal ruolo che il concetto di gas ha avuto nel promuovere la nascita della chimica moderna e proseguendo con l'opera di Lavoisier, Proust, Dalton, Avogadro...

Nella scuola attuale però molto difficilmente gli alunni hanno questo tipo di bagaglio alle spalle ed è fondamentale non ignorare questa realtà. Nella prima classe, considerando che il passaggio dai concetti di senso comune a quelli scientifici si dovrebbe compiere nel biennio e che gli alunni di 14-15 anni non hanno ancora molto sviluppata la capacità di pensiero logico-astratto, crediamo sia importante dedicare almeno una parte dell'anno a studiare le fenomenologie indicate per la scuola di base.

Questo non solo permette di recuperare i concetti chimici utili per la formalizzazione successiva ma permette anche di far lavorare gli alunni utilizzando prevalentemente ragionamenti induttivi, più semplici e adatti ai più deboli. Si tratta in pratica di ricostruire a scuola quelle conoscenze che avevano permesso la caratterizzazione di quelle sostanze che poi Lavoisier ha sistematizzato gerarchicamente dopo che ha compreso il ruolo dell'ossigeno: i combustibili, i metalli, le calci metalliche, gli acidi, i sali.

Nel biennio ci devono essere quindi due fasi di lavoro in cui l'uso del laboratorio ha un ruolo completamente diverso. Nella prima fase, quella in cui si lavora prevalentemente induttivamente, il laboratorio è essenziale per conoscere le fenomenologie e capirle in quanto da lì hanno

²A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli, pp 371, 372, 373, 374, 384,387, 380, 381

³ C. Fiorentini, E. Roletto, *Ipotesi per il curriculum di chimica*, in *La Chimica nella Scuola*, 2000, n. 5, pp. 158-168;

⁴ C. Fiorentini, *La Prima Chimica*, Milano, Angeli, 1990.

inizio tutti i ragionamenti e le riflessioni. Nella seconda fase cambia il metodo di lavoro in quanto è dalla contestualizzazione storica ed epistemologica che si arriva alla comprensione delle varie problematiche. Il laboratorio non serve per scoprire nulla ma per porre l'accento su alcune questioni chimiche, nodi concettuali che poi sono state risolte e compresi creando delle teorie.

Alunni adolescenti e insegnanti adulti

Siamo consapevoli che il cammino che facciamo insieme ai ragazzi adolescenti è lungo è difficile e che non è detto che il lavoro fatto nei vari ambiti disciplinari porti al riconoscimento di una vocazione.

Ci sono, fra noi e i nostri alunni spesso problemi di comunicazione. Questi ragazzi così diversi da come eravamo noi, non li capiamo..... non siamo in grado di intercettare i loro pensieri nel percorso che fanno verso la conoscenza. Questo percorso lo consideriamo tanto più maldestro, quanto più si discosta da quello che è stato ed è il nostro.

Se il nostro principale riferimento è la disciplina che abbiamo imparato all'università difficilmente siamo in grado, attraverso essa, di entrare in comunicazione con la mente degli alunni e sfruttiamo allora le nostre capacità di esseri umani di avvicinarsi empaticamente agli altri. Ci spostiamo quindi su un altro piano e diventiamo il padre, la madre, l'amico e siamo un po' a disagio perché siamo fuori dal nostro ruolo. Per stare bene nel rapporto con gli alunni rimanendo dentro il mestiere d'insegnante vorremmo che nel processo d'insegnamento della nostra disciplina ci fosse coinvolgimento e passione ...e che la crescita degli alunni fosse accompagnata da chiarezza e riflessione sui concetti fondamentali..

Quando la disciplina è rivista in funzione dell'età degli alunni allora è possibile comunicare con gli alunni anche attraverso la disciplina, rimanendo nel nostro ruolo.

Lavorando sulla disciplina, in questo senso, diventiamo insegnanti adulti.

Dobbiamo cioè far diventare la disciplina d'insegnamento materiale psicologicamente adatto all'età degli alunni e non ripetere all'infinito la sequenza delle verità assolute, senza storia e senza tempo che ci hanno insegnato nel periodo universitario e che i libri di testo ripropongono. Dobbiamo lasciare le certezze che hanno caratterizzato la fase iniziale dell'insegnamento. Questo è difficile, difficile come quando nella nostra adolescenza e giovinezza abbiamo dovuto crearci nuovi modelli di vita e nuovi ideali. Questo lo abbiamo fatto mettendo noi stessi dentro modelli di vita presi a prestito da altri o inventandone di nuovi per provare a vivere la vita.

Diventare insegnanti adulti è complicato come attraversare il tempo dell'adolescenza. Richiede uno studio e un impegno che è spesso "senza rete" perché pochi sono disposti a condividere critiche all'insegnamento tradizionale, pochi sono disposti a provare a cambiare il modo d'insegnare. La maggior parte dei colleghi è ancorata alle sicurezze che dà la disciplina proposta dai libri di testo e si è quindi molto soli quando ci si vuole distaccare da queste sicurezze, spesso allora preferiamo tacere. Quando però finalmente capiamo quello che dobbiamo insegnare ai nostri alunni, quello che è per loro, per la loro età,

ve la Ginzburg, diventando adulti, cogliamo il senso, troviamo le parole peril nostro mestiere.....“ E adesso siamo veramente adulti, pensiamo, e ci sentiamo stupiti che essere adulti sia questo, non davvero tutto quello che da ragazzi avevamo creduto, non davvero la sicurezza di sé, non davvero un sereno possesso di tutte le cose della terra. Siamo adulti per quel breve momento che ci è toccato di vivere.....e d'un tratto le cose della terra ci sono apparse al loro giusto posto sotto il cielo, e così anche gli esseri umani e noi stessi sospesi a guardare dall'unico posto giusto che ci sia dato: esseri umani, cose e memorie, tutto ci è apparso al suo posto giusto sotto il cielo. In quel breve momento abbiamo trovato un equilibrio alla nostra vita oscillante, e ci sembra che potremo ritrovare in quel momento segreto, ricercare là le parole per il nostro mestiere.....”⁵

Bibliografia

- 1) A. B. Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Bologna, Zanichelli,
- 2) Roletto, B. Piacenza, *Il concetto di sostanza: una indagine sulle concezioni degli studenti universitari*, in *La chimica nella Scuola*, 1993, n. 5, pp. 11-15.
- 3) P. Mirone, *Per un più efficace insegnamento delle scienze*, in *Nuova Secondaria*, 1995, n. 5, pp. 21-24.
- 4) P. Mirone, *Per una definizione operativa del concetto di reazione*, in *Nuova Secondaria*, 1996, n. 2, pp. 84-86.
- 5) P. Mirone, *Perché la chimica è difficile?* In *La Chimica nella Scuola*, 1999, n. 3, pp. 67-70.
- 6) C. Fiorentini, *Quali condizioni per il rinnovamento del curriculum di scienze?*, in F. Cambi (a cura di), *L'arcipelago dei saperi. Progettazione curricolare e percorsi didattici nella scuola dell'autonomia*, Firenze, Le Monnier, 2000,

⁵ N.Ginzburg, *Le piccole virtù*, Torino, Einaudi, 1976, p.118.

Fondamenti e Storia della Chimica Analisi, proposte e sinergie con la didattica

LUIGI CERRUTI*

“Eppur si muove”, la supposta frase galileiana è piuttosto diffusa in Rete, e sta a significare nel linguaggio corrente che malgrado tutto - malgrado le dure incertezze della situazione contingente - qualcosa sta cambiando. Nel caso che intendo qui trattare, ciò che sta cambiando è l’atteggiamento spontaneo dei chimici accademici nei confronti della storia e della epistemologia della chimica. Per la verità siamo ancora a livello dei primi segnali: all’Incontro di Spettroscopia Analitica (ISA 2006) Marco Taddia ha tenuto una relazione ad invito di carattere storico,¹ all’inizio di settembre una mia conferenza sulla storia della sintesi dell’indaco e delle sue conseguenze sociali aprirà a Bari un Congresso internazionale sugli eterocicli, e qualche giorno dopo, Marco Ciardi ed io, ricorderemo l’opera di Amedeo Avogadro ai chimici italiani riuniti a Firenze per il Congresso della Società Chimica Italiana. Noi tutti speriamo che non si tratti di segnali di fumo, destinati ad esaurirsi con il fuoco di paglia che li avrebbe innalzati. Ho scritto il presente articolo un po’ per questo timore, e molto di più per rivolgere ai didatti proposte concrete di collaborazione nei campi contigui della storia e dell’epistemologia della chimica.

I contributi della storia e dell’epistemologia della chimica

Si fa un gran parlare a proposito dell’introduzione di storia ed epistemologia nella didattica delle scienze; si tratterebbe di proporre agli studenti almeno qualche indicazione sullo sviluppo storico delle discipline e qualche tratto dell’identità epistemologica delle grandi partizioni del sapere scientifico. Al gran parlare segue ben poco, per varie ragioni che vanno dal tempo esiguo lasciato dallo svolgimento dei programmi ‘normali’ alla difficoltà di reperire fonti affidabili e metodologie praticabili. Qui di seguito, della ricerca storica ed epistemologica esaminerò quei risultati che sono più immediatamente fruibili dalla didattica delle scienze sperimentali.

I risultati della ricerca storica

Vi sono almeno due gruppi di risultati della ricerca storica da cui la didattica potrebbe ‘pescare’ a piene mani. Il primo gruppo riguarda la molteplicità/diversità delle *procedure di scoperta*, una molteplicità tale che si potrebbe forse dire che ogni scoperta rilevante nella storia della

scienza costituisce un caso a sé. Scegliamo una manciata di eventi nell’interminabile elenco dei casi rilevanti.

Nel 1858 il nostro Stanislao Cannizzaro (32 anni) era impossibilitato a fare ricerche sperimentali perché ancora privo di un laboratorio decente nella sede di Genova, di cui aveva conquistato la cattedra di chimica due anni prima. Sotto attacco da parte della destra clericale, in quanto immigrato siciliano, condannato per attività rivoluzionaria e apertamente miscredente, Cannizzaro venne sollecitato dal suo maestro Raffaele Piria a pubblicare qualcosa, qualunque cosa purché andasse a stampa una testimonianza dell’attività scientifica del giovane neo-cattedratico. Il ‘qualunque cosa’ fu il *Sunto di un corso di filosofia chimica*, un capolavoro della letteratura scientifica che non contiene un solo dato sperimentale dovuto a Cannizzaro, e che per dichiarazione dello stesso Autore nacque dal suo impegno didattico. Il *Sunto* fu il risultato di una riflessione puramente teorica e cambiò il peso atomico accettato di 19 elementi, fra cui il carbonio, il silicio, il mercurio, il ferro ecc.²

Assolutamente diverso era stato il processo di scoperta messo in atto da uno studente diciottenne di nome William Perkin. Durante le vacanze di Pasqua del 1856 Perkin stava trafficando nel suo piccolo laboratorio allestito in casa, e stava cercando di ottenere la chinina ($C_{10}H_{12}NO$, secondo le scritture dell’epoca) ossidando l’alliltoluidina ($C_{10}H_{12}N$). Noi ora sappiamo che l’impresa era impossibile, per via dell’estrema diversità strutturale dei due composti, e persino dal punto di vista stechiometrico, dato che l’effettiva formula bruta della chinina è $C_{20}H_{24}N_2O_2$. Quando il ragazzo eseguì la reazione ottenne un precipitato molto colorato, tra il violetto e il porpora - interessante, ma amorfo e quindi inutilizzabile per ulteriori caratterizzazioni analitiche. Fu a questo punto che Perkin violò il codice di comportamento del buon chimico. Incuriosito, invece di buttar via il precipitato, ne saggiò le proprietà tintorie, proprietà che risultarono eccellenti sulla lana. Dopo un contatto positivo con una tintoria industriale scozzese, Perkin avviò con impianti pionieristici la produzione del primo colorante di sintesi.

Nel caso di Cannizzaro trionfa la riflessione teorica, in quello di Perkin emerge l’(in)esperienza sperimentale. In una situazione intermedia e più complessa si trovava Gilbert Newton Lewis nel 1916. Lewis era un ottimo elettrochimico sperimentale, con ampi interessi teorici. Le sue riflessioni sulla struttura atomica datavano da parecchio tempo, ma la proposta sul *Journal of the American Chemical Society* del modello di ‘atomo cubico’ fu anche la conseguenza di altri contributi pubblicati dal fisico inglese J.J. Thomson. Il meraviglioso articolo di Lewis risultò da creatività teorica, competenza sperimentale e com-

* Dipartimento di Chimica Generale e Organica Applicata, C.so M. D’Azeglio 48 Torino e-mail: luigi.cerruti@unito.it

petizione all'interno della comunità scientifica.

La didattica potrebbe fruire di un secondo gruppo di risultati acquisiti dalla storia della chimica, di quei risultati che dimostrano l'irrompere nella ricerca della *personalità degli scienziati* e della specifica *situazione economico-sociale* in cui essi operano.

Esistono stili di ricerca nella scienza così come esistono stili di creatività artistica, ma questi forse sono un po' troppo 'sottili' per essere d'impatto nella didattica. Gli aspetti legati alla personalità degli scienziati risaltano ancor più nei momenti di contrasto. Il fondatore della chimica macromolecolare, il tedesco Hermann Staudinger operò per molti anni, fra il 1920 e il 1930, con la forte opposizione della potente comunità dei chimici che in Germania si occupavano delle sostanze naturali polimeriche importanti nell'industria, quali il caucciù e la cellulosa. Mentre i chimici, accademici e non, osteggiavano Staudinger, questi continuò ad avere cospicui finanziamenti da parte di tutti i principali protagonisti dello scenario industriale, dalla BASF alla Bayer. Se non fosse stato per la determinazione da gladiatore di Staudinger e per non disinteressata lungimiranza dei dirigenti dell'industria chimica tedesca la chimica macromolecolare avrebbe tardato a nascere - forse di un decennio.

Non meno interessante, e più vicino a noi, è il caso della scoperta dei polimeri isotattici. Tutti conoscono gli elementi essenziali del successo di Giulio Natta: vasta competenza nello stato solido, esperienza ineguagliabile nella messa a punto di nuovi processi industriali, capacità organizzativa, profonda cultura chimica. Tutti anche sanno che senza l'appoggio della Montecatini l'Istituto di Chimica Industriale del Politecnico di Milano non avrebbe potuto competere con i migliori centri di ricerca del mondo nel campo degli alti polimeri. Ciò che forse non si sottolinea abbastanza è che Natta sarebbe potuto pur essere bravissimo, ma senza i finanziamenti e l'appoggio di Giustiniani non sarebbe giunto al premio Nobel, e la Montecatini, pur guidata da un abile imprenditore, non sarebbe diventata (per qualche anno) una multinazionale vincente nei materiali polimerici senza il poderoso contributo scientifico del gruppo di Natta. Aggiungo che non fu estraneo alla sintonia fra l'industria e l'accademia il clima di poderoso rinnovamento sociale ed economico che si visse in Italia durante la Ricostruzione.

I risultati della ricerca epistemologica

Non intendo soffermarmi molto sui risultati delle ricerche di filosofia della chimica perché è a disposizione di tutti il bellissimo libro di Giovanni Villani sulla 'onnipotenza delle molecole'.³ Qui richiamo soltanto alcuni punti, fra i più connessi al mio mestiere di storico della scienza.

Ho sempre inteso l'epistemologia come *studio delle procedure conoscitive*. La definizione è a modo suo banale, ma va confrontata con quella più usuale, almeno fino a qualche tempo fa: "L'epistemologia è una disciplina che studia criticamente la struttura formale della scienza".⁴

Da anni nei miei insegnamenti alla SISS e ovunque quando ne ho l'opportunità, sottolineo che se l'epistemologia è lo studio della conoscenza, e non siamo pedissequamente platonici, la conoscenza non è soltanto quella fisico-matematica, e nemmeno soltanto quella scientifica: esistono anche i 'conoscitori' di opere d'arte, di vini e di tappeti. Il padre 'conosce' il figlio e il figlio 'conosce il padre': due conoscenze simili ma asimmetriche. Gli amanti 'conosco-

no' i loro amati, e la loro 'conoscenza' è diversa da quella dei padri, dei figli, degli intenditori di tappeti, degli ingegneri e dei chimici. Avendo di fronte questo ventaglio di possibili conoscenze la definizione di 'epistemologia' che ho riportato appare subito misera. Ma risulta anche poverissima e sterile se si considerano le procedure conoscitive scientifiche nella loro concreta realizzazione, e in particolare si registra ciò che avviene in laboratorio. In un laboratorio scientifico sono all'opera uomini e donne, strumenti, apparati di ogni tipo, teorie, frammenti di teorie, regole di comportamento pratico e di orientamento teorico, conoscenza cumulativa, pregiudizi, immaginazione, scarti procedurali, errori, improvvisazioni. In termini espliciti e semplici: la conoscenza scientifica si acquisisce all'interno di una *situazione conoscitiva*; uno dei compiti della storia della scienza è la descrizione della dinamica interna ad una specifica situazione conoscitiva, mentre compito dell'epistemologia è la messa in luce dei tratti veramente essenziali, irrinunciabili e caratteristici delle procedure conoscitive. Quando si considera così la chimica, si vede immediatamente che il risultato di una sintesi, la procedura conoscitiva più tipica della chimica, è un esito costituito da due componenti ben diverse: un contributo conoscitivo ed una sostanza materiale; il primo si descrive in un articolo, la seconda si esibisce in una provetta. In fisica non esiste nessuna procedura conoscitiva di questo tipo.

Ad un livello un po' più difficile per i nostri allievi si può sollevare, con un linguaggio opportuno, la questione della duplicità dei livelli ontologici su cui agisce la chimica. Noi umani gestiamo in modo opportuno sostanze macroscopiche per realizzare eventi ad un livello diverso, il livello microscopico degli atomi e delle molecole. La sintesi chimica, cui accennavo, diventa un processo di ineguagliabile potenza, una successione di gesti demiurgici che porta ad essere ciò che non era mai stato o che non era mai stato ottenuto in quel modo. Su un versante diverso, forse meno spettacolare ma non meno utile, opera la chimica analitica, senza la quale la nostra conoscenza del mondo delle sostanze sarebbe semplicemente inesistente. Le procedure classiche della chimica analitica implicavano l'interazione di sostanze con sostanze: la presenza dell'entità microscopica 'ione cloro' era segnalata dall'apparire (in certe circostanze) di un precipitato bianco fioccoso, visibile e quindi macroscopico. Anche le procedure cromatografiche richiedono l'interazione fra sostanze, ma è l'onnipresenza attuale di strumenti spettroscopici di ogni tipo che ha reso così precisa, utile, indispensabile, inesorabile la chimica analitica. Che sia diventata una branca della fisica? La risposta è no, e per diversi motivi. La sociologia delle comunità scientifiche ci insegna che i titolari operativi della chimica analitica sono in stragrande maggioranza chimici.⁵ I chimici analitici, come comunità, hanno da tempo un rapporto simbiotico con i produttori di strumentazione, e tuttavia gestiscono gli strumenti con finalità strettamente pertinenti all'epistemologia chimica. Infatti l'indagine analitica non solo determina la *quantità delle sostanze* presenti in un campione o in un ambiente, ma anche la *qualità delle sostanze*. La posizione di un gruppo funzionale in una struttura può attivare un'azione fisiologica che sarebbe inesistente in una posizione diversa. Così la chimica analitica celebra in ogni suo risultato quella *efficace qualità* delle sostanze - e delle molecole - che è al centro dell'attenzione di Villani.

Storia, epistemologia, didattica: quale obiettivo comune?

Il 'carico didattico' che da qualche anno assilla anche i docenti universitari, è in effetti diventato insopportabile in ogni ordine e grado scolastico, in gran parte per 'merito' delle numerose riforme 'a costo zero'. Per l'Università va anche ricordata una certa predisposizione al suicidio culturale delle più diverse Facoltà, in competizione fra di loro per attrarre il maggior numero possibile di studenti. Il fatto più grave è che sotto la guida di ceti politici sprovveduti la società italiana nel suo complesso ha perso di vista una funzione essenziale della scuola, e cioè che una *cittadinanza attiva e consapevole* ha, o dovrebbe avere, un ruolo decisivo nella formazione dell'individuo. Noi non siamo soltanto didatti, volenti o nolenti siamo educatori.

Una cultura scientifica per il cittadino

Non è certo il caso di lamentarmi con i lettori dell'insipienza scientifica della quasi totalità della classe dirigente politica italiana, da questo punto di vista indifferenziata rispetto al 'colore' politico. Vorrei piuttosto entrare nel merito della pericolosa connessione fra il deficit cognitivo e il deficit conoscitivo in campo scientifico, due tipi di povertà intellettuale tanto pericolosi quanto inavvertiti. Semplificando, si ha un deficit cognitivo in campo scientifico quando non si è in grado di operare con competenza delle scelte nell'utilizzo di particolari modi di conoscere. Noi conosciamo - nella scienza - attraverso varie modalità: l'uso di modelli predittivi, ad es. non è la stessa cosa di una verifica sperimentale. Sistemi complessi come gli ecosistemi per loro stessa natura non sono descrivibili con un unico modello, e la loro trattazione dipende criticamente dalle grandezze fisiche (energia, entropia) o dalle 'unità' biologiche prese in considerazione. Per un sistema complesso un solo modello è sicuramente insufficiente. Il deficit conoscitivo è più facile da spiegare perché, tutto sommato, non è che un nome diverso ed elegante per la più banale ignoranza. D'altra parte, senza la competenza cognitiva il possesso di informazioni specifiche, disciplinari e non, risulta insufficiente e persino pericoloso dal punto di vista di una cittadinanza attiva, perché può dare l'illusione di essere in grado di prendere/favorire decisioni consapevoli su questioni veramente cruciali (il cosiddetto 'sviluppo sostenibile', ad esempio). Le due 'povertà' portano ad un gravissimo deficit di democrazia. Parlamentari e governi credono forse di decidere, ma innumerevoli decisioni sono prese altrove, da gruppi di scienziati e tecnici privi di investitura popolare, e comunque al riparo da qualsiasi controllo democratico.

Impronunciabile e sconosciuto: il GNFSC

Da venti anni il Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica rappresenta il momento più intenso della vita professionale della comunità italiana di storici della chimica. Protagonista di questa efficace attività culturale è il Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica (GNFSC). Il Gruppo è stato fondato nel 1985, e raccoglie al suo interno i migliori storici italiani delle discipline chimiche, operanti sia in strutture accademiche scientifiche e umanistiche, sia nella scuola e nelle professioni. Dalla collaborazione fra Marco Ciardi e Marco Taddia è nata la prima traduzione italiana dei classici *Opuscoli fisici e chimici* di Antoine Lavoisier, traduzione pubblicata nelle edizioni dell'Università di Bologna. Il loro bellissimo volume testimonia che l'integrazione delle 'due culture' è

estremamente proficua.⁶ Dal 1985 il GNFSC ha tenuto con regolare cadenza biennale dieci Convegni, i cui *Atti* sono stati puntualmente pubblicati dalla Accademia Nazionale dei XL. Gli *Atti* sono presenti in tutte le biblioteche specializzate del mondo, e i dieci volumi costituiscono un vasto patrimonio di conoscenze nel campo della storia e dell'epistemologia della chimica. Il primo Convegno del GNFSC fu convocato a Torino nel febbraio del 1985, di qui la scelta di questa Città per celebrare degnamente i 20 anni di attività con l'XI Convegno, tenuto nel settembre 2005.

All'XI Convegno hanno contribuito più di trenta studiosi, con relazioni ad invito e comunicazioni, ma il protagonista dell'incontro è stato il pubblico che ha visto la partecipazione attenta e attiva di molti insegnanti e giovani dottorandi. Il successo del Convegno è dovuto in buona parte alle scelte culturali che hanno caratterizzato l'incontro torinese. Infatti il Gruppo ha dato particolare risonanza all'XI Congresso ampliando i propri lavori disciplinari (quattro sessioni) con sessioni tematiche, dedicate rispettivamente alla storia dell'industria chimica italiana, all'apporto che storia ed epistemologia della chimica e della biologia possono dare all'educazione scientifica, e infine ai rapporti storici ed epistemologici fra chimica e fisica. La sessione sull'educazione scientifica è stata organizzata insieme alla nostra Divisione di Didattica e alla Sezione piemontese dell'ANISN, ed è stata di grande impatto per la partecipazione di molti insegnanti.

In occasione del Convegno è stato eletto un nuovo Direttivo, i cui membri sono ben noti ai lettori di CnS,⁷ e chi scrive è diventato Presidente del GNFSC. È intenzione del nuovo gruppo dirigente del GNFSC di passare da semplici incontri con i 'didatti', utili ma saltuari, ad un raccordo fra le due associazioni che risulti effettivamente di reciproca efficacia.

Tre proposte concrete

Sono almeno tre le proposte di attività di formazione/ricerca che potrebbero vedere coinvolti 'didatti', 'storici' ed 'epistemologi'.⁸ Il doppio termine *formazione/ricerca* intende richiamare il fatto ben noto che qualsiasi attività di informazione e formazione assume anche i connotati di una ricerca vera e propria quando si cambia il pubblico di riferimento, e ancor di più quando a questo cambiamento si associa la collaborazione con colleghi di diversa cultura disciplinare.

Corsi di aggiornamento

Il primo punto di riferimento per una azione comune mi sembra essere quello dei corsi di aggiornamento. Non c'è tematica di aggiornamento che non possa essere arricchita da un numero (limitato) di lezioni, incontri, seminari di carattere storico-critico. Una particolare attenzione potrebbe essere rivolta alle fonti in Rete, in modo da fornire gli strumenti per un successivo auto-aggiornamento. A Torino, fin dall'avvio della Scuola di Specializzazione per Insegnanti si è tenuto un Laboratorio Iperstuale di Storia ed Epistemologia della Scienza destinato a favorire la conoscenza delle pratiche di reperimento e controllo delle informazioni, e la produzione di ipertesti in formato HTML.

L'orientamento

Negli ultimi anni, in molte sedi, si è avuta una ripresa netta delle iscrizioni ai corsi universitari di chimica. È uno dei

risultati positivi dell'attività di orientamento sviluppata nella scuola secondaria, ma a mio parere si dovrebbe agire anche al livello scolastico precedente, per favorire nei ragazzi una scelta consapevole del loro futuro professionale. Gli Istituti Tecnici del nostro Paese costituiscono un grande patrimonio strutturale e culturale che va promosso. Nei modi opportuni, presentazioni di carattere storico potrebbero avvicinare gli allievi delle medie inferiori alla cultura scientifica e tecnologica

Collaborazione *peer to peer*

Ho lasciata per ultima la proposta che ritengo più utile per una cooperazione veramente sinergica fra le due associazioni. In intesa con l'Accademia Nazionale dei XL, il GNFSFC sta preparando un CD-Rom contenente gli *Atti* completi dell'XI Convegno nazionale del Gruppo, e una sorta di repertorio degli studiosi italiani di storia e fondamenti della chimica. Il CD-Rom sarà distribuito al Congresso fiorentino della SCI, e sarà disponibile per tutti i soci della Divisione di Didattica.⁹ Il repertorio indicherà le aree di ricerca degli storici-epistemologi, e non dubito che un certo numero di loro potrebbe partecipare a collaborazioni *peer to peer* con didatti e insegnanti. Tutti noi siamo sottoposti a carichi didattici pesanti, e abbiamo difficoltà a 'trovare il tempo' per attività aggiuntive, ma la posta elettronica e la Rete sono risorse utilissime a mantenere in stretto contatto persone fisicamente lontane (ed affaccendate). Penso che attraverso un rapporto *peer to peer* un docente della scuola secondaria possa accedere a materiali e informazioni, trasformabili e utilizzabili nella sua didattica. Nell'altro polo del rapporto si avrebbe un arricchimento dell'esperienza professionale, stimoli ulteriori per la ricerca e la soddisfazione di un esito nuovo ed interessante dei propri risultati.

Le possibili sinergie

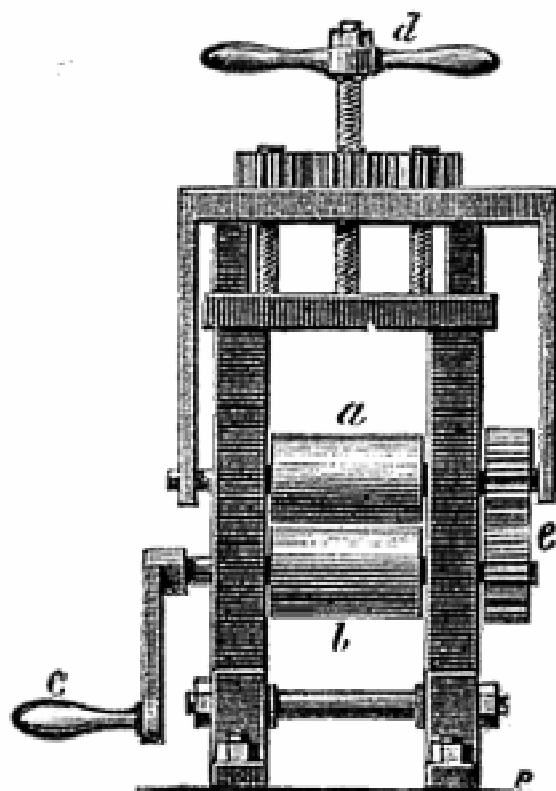
Da quanto ho esposto dovrebbero risultare chiari i vantaggi di una sistematica collaborazione fra le due associazioni. Il Gruppo potrebbe portare alla Divisione un arricchimento diretto della didattica, e forse anche la possibilità di rapporti più intensi con i docenti di altre discipline (compresi quelli di storia e filosofia). La Divisione potrebbe dare al Gruppo le occasioni per un incremento di attività, utilità, visibilità.

Gli esiti sinergici

I vantaggi reciproci non sono ancora sinergie, e tuttavia si possono prevedere diversi esiti sinergici. In primo luogo avremmo un rafforzamento della presenza di didatti/storici/epistemologi all'interno della comunità disciplinare dei chimici, in almeno due componenti, quelle dell'Università e della Scuola¹⁰ (ma non dimenticherei l'Ordine dei chimici). Vi sono poi due effetti sinergici prevedibili all'esterno della comunità dei chimici. Rispetto alle altre comunità disciplinari i chimici hanno una voce flebile anche su importanti temi 'molecolari', siano essi di forte valenza filosofica quali l'origine della vita e la memoria, o di grande impatto sociale come l'equilibrio degli ecosistemi e le questioni energetiche. Infine, l'effetto sinergico più importante potrebbe essere nel medio termine un miglioramento della percezione pubblica della chimica, non più lasciata in balia dell'ignoranza oltraggiosa di molti giornalisti e di non pochi filosofi.

Bibliografia

- ¹ M. Taddia, "Dai nani ai giganti: la spettroscopia stellare e le congetture di Norman Lockyer (1836-1920)".
- ² L. Cerruti, "Il luogo del *Sunto*", in: S. Cannizzaro, *Sunto di un corso di filosofia chimica*, ed. a cura di L. Cerruti, Palermo: Sellerio, 1991, pp. 73-282
- ³ G. Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole*, Napoli, CUEN, 2001.
- ⁴ È la definizione che ho pescato in Rete nella seconda pagina segnalata da Google per la parola chiave 'epistemologia'.
- ⁵ Mi riferisco alla chimica accademica, non a quella di molti, troppi laboratori di analisi cliniche.
- ⁶ M. Ciardi, M. Taddia (a cura di), *Opuscoli fisici e chimici*, Bologna: Bononia University Press, 2005.
- ⁷ Sono membri del Direttivo del GNFSFC: Angelo Bassani, Marco Ciardi, Raffaella Seligardi, Marco Taddia.
- ⁸ Fra i soci del GNFSFC vi è anche un certo numero di 'fondamentalisti', ma il termine non è politicamente corretto.
- ⁹ Il CD-Rom potrà essere richiesto per posta elettronica al mio indirizzo (luigi.cerruti@unito.it) o a quello di Francesca Turco (francesca.turco@unito.it).
- ¹⁰ Nel contesto della Scuola secondaria includo fra i 'chimici' tutti i docenti che insegnano chimica, indipendentemente dalla disciplina in cui si sono laureati.



Laminoir.

Può una reazione acido-base essere anche redox?

CLAUDIO GIOMINI*

GIANCARLO MARROSU*

MARIO E. CARDINALI**

Riassunto

Si cerca di individuare, tra le reazioni acido-base, quelle che possano allo stesso tempo esser considerate anche redox, distinguendo i due casi secondo Brønsted e secondo Lewis. Avendo specificato i requisiti cui le reazioni debbano soddisfare, si discutono alcuni esempi; il numero delle reazioni che pienamente corrispondono a tali requisiti sembra molto limitato.

Abstract

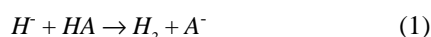
A search for acid-base reactions that can be considered redox as well is presented. A distinction is made between the Brønsted and the Lewis cases. After specifying the requirements to be satisfied, some examples are discussed; the number of reactions that completely match the requirements seems to be quite small.

Introduzione

Le due ampie classi delle reazioni acido-base e redox sono in genere considerate come escludentisi a vicenda. Tuttavia, reazioni che possano allo stesso tempo esser riguardate come appartenenti all'una e all'altra classe effettivamente esistono; individuarle sarà l'obiettivo di questo articolo. Ci limiteremo a considerare reazioni che effettivamente avvengano, e non estenderemo il discorso a reazioni ipotizzate facendo ricorso a specie instabili e inusuali, capaci di esistere solo in condizioni del tutto particolari. Per le considerazioni che seguono, converrà distinguere tra i due casi secondo Brønsted-Lowry e secondo Lewis.

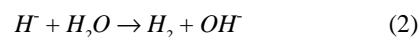
Reazioni secondo Brønsted-Lowry

Il caso generale, ed unico, per le reazioni acido-base secondo Brønsted-Lowry che siano anche redox, è rappresentato dall'equazione (1), dove HA è un qualsiasi acido che reagisca con lo ione idruro per produrre idrogeno molecolare e lo ione A^- :



Discuteremo l'argomento con riferimento all'importante

caso particolare della reazione dello ione idruro con l'acqua, descritto dall'equazione (2) qui di seguito:



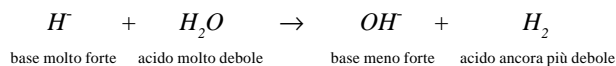
Chiaramente, questa è una reazione redox e, in particolare, è una disproporzione inversa, dove l'idrogeno, unico elemento che subisca variazioni del numero d'ossidazione, è presente con tutti e tre i numeri d'ossidazione che gli sono consentiti, e cioè +1, -1, e 0. Inoltre, uno dei due atomi d'idrogeno della molecola d'acqua conserva il suo numero d'ossidazione +1 anche nello ione idrossido OH^- , cosicché può dirsi che l'idrogeno gioca nella reazione il duplice ruolo di elemento redox ed elemento non-redox.

Ma altrettanto chiaramente la stessa reazione può essere considerata della classe acido-base secondo Brønsted-Lowry. Infatti, in essa ha luogo un trasferimento di uno ione H^+ tra H_2O e H^- , i quali vengono trasformati nei corrispondenti base OH^- ed acido H_2 coniugati.

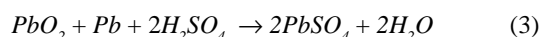
Ulteriori elementi didatticamente rilevanti concernenti questa reazione sono i seguenti:

1) il valore molto negativo del potenziale elettrochimico standard della coppia H_2/H^- (-2,23 V rispetto al semielemento standard ad idrogeno) significa che lo ione H^- è un fortissimo riducente, cosicché la reazione in questione è largamente spontanea nel senso termodinamico del termine;

2) il fatto che H^- sia una base molto forte non le consente di esistere come tale in un mezzo acquoso, ma la obbliga a venir rimpiazzata dalla base OH^- meno forte. Può anche osservarsi che H_2 , acido coniugato di H^- , è un "non acido", e cioè un acido ancor più debole dell'acqua. Come al solito, la reazione acido-base secondo Brønsted procede prevalentemente nella direzione che trasforma acido e base più forti in acido e base più deboli:



3) se fosse possibile costruire una pila basata sulla reazione in questione, l'idrogeno si svilupperebbe sia al catodo sia all'anodo; ovviamente, sarebbe necessario un mezzo non acquoso, almeno per l'anodo. Quest'ultimo particolare è comunque condiviso con tutte le disproporzioni inverse che vengano fatte svolgere per via elettrochimica; basti pensare alla reazione che alimenta gli accumulatori al piombo, descritta dall'equazione (3)



dove il solfato di piombo si forma su ambedue gli elettrodi.

* Dipartimento ICMMPPM - via del Castro Laurenziano, 7 - I-00161 Roma. E-mail: Claudio.Giomini@uniroma1.it

** Dipartimento di Chimica - via Elce di Sotto, 10 - I-61100 Perugia

Può una reazione acido-base essere anche redox?

Reazioni secondo Lewis

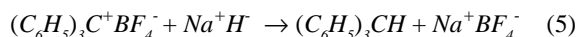
Reazioni acido-base secondo Lewis, che riguardino acidi "primari" diversi dallo ione H^+ , e che possano esser anche considerate reazioni redox, possono esistere, purché, nell'acido primario, l'atomo carente di elettroni, che agisce da accettore della coppia solitaria, sia più elettronegativo dell'atomo donatore della coppia medesima presente nella base.

Ma, ad una prima disamina, esempi così netti come quelli di cui alle equazioni (1) o (2) sembrano difficili da trovare, a meno di non far ricorso a specie chimiche molto inusuali e instabili, o di considerare singoli atti elementari di reazione anziché reazioni complete. Ciò di cui in effetti siamo in cerca è una reazione reale, e non immaginaria, consistente in un unico atto elementare, paragonabile a quella che è la reazione acido-base secondo Lewis "per eccellenza"



nella quale si realizza unicamente la condivisione di una coppia solitaria di elettroni, non accompagnata da altri eventi chimici concomitanti o susseguenti.

Ebbene, i sali di triarilcarbonio, che sono tipici accettori di ioni idruro [1], reagiscono con gli idruri ionici per dare il triarilmetano corrispondente. La reazione, descritta dall'equazione (5) nel caso del tetrafluoroborato di trifenilcarbonio,



dovrebbe soddisfare alle condizioni richieste. Infatti, mentre nessun legame covalente si spezza o si forma (eccetto quello dativo connesso con la condivisione della coppia solitaria di elettroni), il numero d'ossidazione del carbonio terziario varia (almeno nominalmente) da +1 a -1, e quello dell'idrogeno dell'idruro da -1 a +1.

Relativamente a reazioni in fase gassosa, tra gli accettori di coppie elettroniche, l'ossigeno monoatomico, meglio se nello stato eccitato 1D , è quello che mostra i migliori requisiti per soddisfare alle nostre richieste. Ad esempio, è del tutto verosimile che, oltre all'ossigeno molecolare [2], anche quello monoatomico reagisca con la trifluorammina per formare l'ossido di trifluorammina; anzi, il fatto che la reazione si compia in presenza di scariche elettriche avvalorava questa ipotesi. Pertanto, la reazione di cui all'equazione (6)



soddisfarebbe ai requisiti specificati, se non fosse per il fatto che l'ossigeno monoatomico è una specie a vita media breve in condizioni ordinarie.

Tuttavia, esso è abbondante (anche nello stato 1D) e a vita media relativamente lunga nell'alta atmosfera [3], dove si forma continuamente a causa di processi fotochimici, e si distrugge continuamente a causa di processi chimici. In particolare, la reazione dell'ossido nitrico con l'ossigeno monoatomico può effettivamente aver luogo nell'alta atmosfera secondo l'equazione (7)



a causa della presenza dell'ossido nitrico rilasciato dai motori degli aerei supersonici (*en passant*, poiché il sistema NO/NO_2 distrugge cataliticamente l'ozono, questa è una delle ragioni per cui gli ambientalisti si oppongono agli aerei civili che volino a quota molto alta). La stessa reazione può esser fatta avvenire anche in condizioni di laboratorio, e viene usata per rilevare la presenza di ossigeno monoatomico, in quanto è accompagnata da una chemiluminescenza giallo-verdastra [4]. Questa è dunque allo stesso tempo una reazione acido-base secondo Lewis e una redox; l'unico inconveniente che impedisce di considerarla equivalente all'archetipo delle reazioni acido-base di Lewis, rappresentato dall'equazione (4), è che il legame dativo, che è un legame singolo, si trasforma in un legame di ordine 1,5 contestualmente alla sua formazione, a causa della risonanza tra le varie strutture canoniche attribuibili alla molecola NO_2 .

Un'altra reazione che avviene nell'alta atmosfera, e a cui partecipa l'ossigeno monoatomico, è descritta dall'equazione (8)

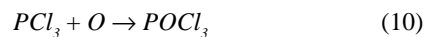


È una reazione molto importante, in quanto ad essa è dovuta l'esistenza dello strato di ozono, il cui diradamento desta tante preoccupazioni. Se siamo d'accordo con l'idea [5] che agli atomi d'ossigeno della molecola dell'ozono debbano assegnarsi numeri d'ossidazione diversi da zero, anche questa è allo stesso tempo una reazione acido-base secondo Lewis e una redox, come quella dell'equazione (7), e con lo stesso inconveniente.

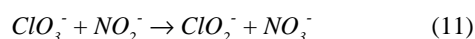
A questo proposito, la reazione di formazione dell'anidride carbonica dal monossido di carbonio e dall'ossigeno monoatomico, descritta dall'equazione (9),



sarebbe ancor meno accettabile, in quanto il legame dativo iniziale si trasformerebbe immediatamente in un legame doppio. Altrettanto poco accettabile sarebbe la reazione, solo formalmente analoga a quella dell'equazione (6), di formazione dell'ossicloruro di fosforo dall'ossigeno monoatomico e dal tricloruro di fosforo



perché il legame fosforo-ossigeno non sarebbe un legame dativo puro, ma piuttosto un legame doppio, implicante la partecipazione degli orbitali d dell'atomo di fosforo. Esempi ancor meno soddisfacenti possono venire da reazioni in fase soluzione come quella dell'equazione (11)



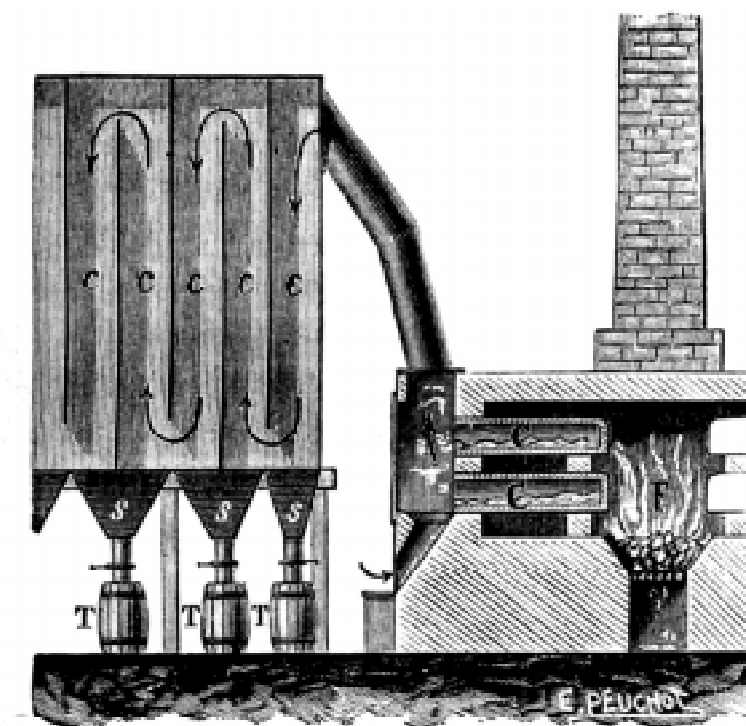
È ben vero che, oltre ad essere una redox, tale reazione può venir considerata come una competizione tra le due basi NO_2^- e ClO_2^- per l'atomo d'ossigeno. Tuttavia essa non soddisfa la richiesta di essere equivalente alla reazione dell'equazione (4), in quanto la formazione del legame dativo, che è al cuore della teoria di Lewis sugli acidi e le basi, è concomitante con la scissione di un altro legame.

Conclusioni

Reazioni acido-base che realmente avvengano e possano, a pieno titolo ed allo stesso tempo, essere considerate anche redox esistono, ma sono molto rare. Quelle secondo Brønsted sono, a nostro parere, tutte riconducibili al caso descritto dall'equazione (1). Per quelle secondo Lewis, date anche le restrizioni che abbiamo posto, i casi pienamente soddisfacenti che siamo riusciti a trovare sono descritti dalle equazioni (5) e (6); casi sempre meno soddisfacenti sono quelli delle equazioni da (7) ad (11).

Bibliografia

- [1] M.T. Reetz, W. Stephan, *Angew. Chem.*, 1977, **89** (1), 46.
- [2] F.A. Cotton, G. Wilkinson, *Advanced inorganic chemistry. A comprehensive text*. 3rd edition, Interscience Publishers, New York (USA) 1972, p. 366.
- [3] C. Baird, *Environmental chemistry*. Chapter 2, W.H. Freeman & Co., New York (USA) 1995.
- [4] J.C. Bailar jr *et al.*, Editors, *Comprehensive inorganic chemistry*. Vol. I, Pergamon Press, Oxford (UK) 1973, p. 197-198, p. 330.
- [5] C. Giomini, G. Marrosu, *Educ. Chem.*, 2004, **41**, 121.



Fabrication du blanc de zine.

CHIMICA QUANTITATIVA, STECHIOMETRIA E MOLE: QUALE APPROCCIO PRIVILEGIARE NELLA SCUOLA SECONDARIA DI SECONDO GRADO?

Come rendere la chimica quantitativa più comprensibile e significativa.

ANTONIO TESTONI*

La chimica quantitativa è comunemente associata al concetto di mole. In particolare, la Stechiometria e la Mole sono due tematiche talmente interconnesse, che è convinzione generale che non si possa trattare l'una (la stechiometria) senza prima aver introdotto l'altra (la mole). Altrettanto condivisa è la consapevolezza, in quanto suffragata da numerosissime ricerche, della difficoltà di comprensione del concetto di mole, in particolar modo da parte degli studenti della scuola secondaria di secondo grado, che si trovano ad affrontare per la prima volta, questi argomenti.

Da parecchi anni si discute sull'opportunità di affrontare o meno questa tematica. Il confronto è fra una posizione minoritaria che sostiene come il concetto di mole non sia adatto a "studenti che frequentano un corso iniziale di chimica" considerando *"una perdita di tempo cercare di insegnare il concetto di mole a soggetti che non sono in grado di pensare in termini di atomi..."*¹ ed i più, che invece intendono la chimica fondamentalmente come una disciplina quantitativa, in cui le misure hanno una notevole importanza. Del resto la mole è una delle sette unità fondamentali del Sistema Internazionale e *"i chimici la usano ogni giorno, in quanto si tratta dell'unità più appropriata per i calcoli stechiometrici"*² per cui si ritiene che chiunque affronti lo studio della chimica non possa fare a meno di conoscerla e utilizzarla.

Noi siamo del parere che i calcoli stechiometrici (elementari), non solo possano, ma debbano essere affrontati in un corso di chimica di base. Pensiamo, invece, che gli aspetti quantitativi della chimica debbano essere affrontati tralasciando, *inizialmente*, la trattazione del concetto di mole.

L'idea che non si possa trattare la chimica quantitativa senza invocare la mole non tiene nel dovuto conto la storia della chimica ed in particolare lo sviluppo dell'ipotesi atomistica avvenuta durante l'ottocento. Di mole ne parla Ostwald nel 1899³ e prima di allora la chimica non era

sicuramente solo qualitativa o descrittiva, tutt'altro! A conferma di ciò, ricordiamo che la prima tabella dei pesi atomici venne stilata agli inizi dell'800 da Dalton, il quale li calcolò seguendo un procedimento geniale, che rappresenta ancora oggi un percorso esemplare per avvicinare gli studenti al cuore della chimica, cioè al mondo degli atomi, delle molecole e delle formule. Riuscire a determinare proprietà atomiche, come il peso atomico, ricorrendo a semplici procedure, è molto importante, specialmente quando viene chiesto al ragazzo un notevole sforzo di astrazione, per immaginare un mondo così diverso, distante e soprattutto invisibile. Difficoltà non molto diverse da quelle che i chimici di inizio ottocento si trovarono ad affrontare: *"Leggere Dalton, leggere degli atomi, mi fece scivolare in una sorta di rapimento... avevo la sensazione che, usando l'immaginazione come un microscopio, mi fosse consentito di vedere un mondo in miniatura, un mondo elementare, migliaia di miliardi di volte più piccolo del nostro... All'inizio dell'800 occorsero un'immaginazione e un coraggio enormi per ipotizzare l'esistenza di entità così completamente fuori della portata di qualsiasi dimostrazione empirica praticabile all'epoca"*⁴.

Proprio per superare queste difficoltà, troppo spesso sottovalutate, è necessario innanzitutto dedicare il dovuto tempo alla costruzione del modello atomistico daltoniano. Modello che, agli occhi del ragazzo, deve mostrarsi non solo comprensibile e plausibile, ma anche *utile*.

Le reazioni chimiche bilanciate e i relativi calcoli stechiometrici, senza "l'appesantimento" della mole, offrono un terreno particolarmente adatto e fecondo, per prendere confidenza con il modello atomistico. I semplici calcoli stechiometrici richiedono conoscenze matematiche elementari e i relativi riscontri sperimentali *non* necessitano di attrezzature e di abilità particolarmente raffinate. Del resto, già dagli anni 1826-1831⁵, quando ancora sui pesi atomici e sulle formule vi erano molte incertezze, il modello atomico veniva utilizzato per la risoluzione di semplici problemi stechiometrici, seguendo procedure basate sulla nascente teoria atomistica e sul concetto di peso atomico, così come era stato definito da Dalton. Resta ben inteso che non ci si deve preoccupare eccessivamente per quelle formule e per quei pesi atomici, che oggi consideriamo "sbagliati", ma che costituirono un riferimento importante per coloro che iniziarono un percorso che a poco a poco si affinò, fino a giungere alla perfezione

della moderna rappresentazione atomico/molecolare. Ciò che più importa sono i procedimenti e le strategie che vennero messe in campo dai Dalton, dai Berzelius, dagli Avogadro, dai Cannizzaro ..., per raccordare molecole, formule e sostanze. Il riconoscimento di questa storicità, dal punto di vista didattico, è fondamentale, perché se viene a mancare l'ambito più concreto, proprio del canone interpretativo classico, ben difficilmente il ragazzo riuscirà a collegare il livello macro con quello micro e a comprendere il significato delle formule: "Dai tempi di Dalton, cioè da due secoli, la chimica fa uso di due livelli di descrizione della materia: il livello *macroscopico*, o fenomenologico, delle proprietà e delle trasformazioni delle sostanze, e il livello *microscopico* (o più esattamente submicroscopico) degli atomi e delle molecole. I chimici si sono da tempo adattati a questa duplicità di livelli, sviluppando una *forma mentis* che consente loro di passare con naturalezza da un livello all'altro pur tenendoli ben *distinti*. Ma ciò non è affatto ovvio per gli studenti che si avvicinano per la prima volta alla chimica, specialmente se sono molto giovani..." soprattutto quando "l'insegnamento è fortemente sbilanciato a favore del livello microscopico come avviene molto spesso nelle scuole italiane ..."⁶

Mantenere distinti ma non separati i due livelli, far comprendere il significato e l'utilità, dal punto di vista chimico, della rappresentazione microscopica della materia (atomi, molecole, formule) rappresentano le difficoltà maggiori dell'insegnamento/apprendimento della chimica. Per cui, *invece di affannarsi e dedicare molto tempo all'insegnamento di un concetto così ostico come la mole (spesso con dubbi risultati), non sarebbe più proficuo recuperare, in chiave didattica, quel tipo di argomentazioni e di strategie proprie della chimica classica, che hanno permesso l'affermarsi del modello atomico/molecolare?*

Riportiamo, a titolo di esempio, due schede tratte da una dispensa⁷ utilizzata in dodici classi di un biennio ITI, che seguono una programmazione relativa all'insegnamento della chimica centrata su questo approccio. Tralasciamo volutamente il contesto all'interno del quale queste esemplificazioni trovano la loro collocazione ideale, per focalizzare l'attenzione solo sugli aspetti quantitativi, che sono l'oggetto di questo lavoro.

Il peso atomico, concetto costitutivo dell'atomismo Daltoniano

"... Il passaggio dalla composizione elementare delle sostanze composte al peso atomico degli elementi componenti costituisce il fondamento della teoria atomistica di Dalton. Ci proponiamo di illustrare il ragionamento di Dalton con un esempio di particolare rilevanza, la determinazione del peso atomico dei costituenti dell'acqua, la cui composizione (costante) in peso era rappresentata dai valori 87.4% per l'ossigeno e 12.6% per l'idrogeno, stabilita alcuni anni prima da Gay Lussac ed Humboldt... Tale ragionamento può essere schematizzato in 5 punti:

1. il punto di partenza consiste nell'ipotizzare che una data quantità di acqua sia costituita da un numero finito, seppur grande, di particelle piccolissime (molecole);
2. la seconda ipotesi consiste nel supporre che le molecole di acqua siano tutte uguali. Questa ipotesi è una conseguenza del fatto che l'acqua risulta avere una composizione costante; questa seconda ipotesi, che Dalton

applica a tutte le sostanze composte, è strettamente connessa alla legge di Proust;

3. consideriamo una quantità finita di acqua, per esempio 100g :

$$\text{acqua}(100\text{g}) = \text{ossigeno}(87.4\text{g}) + \text{idrogeno}(12.6\text{g})$$

Indichiamo con p le molecole corrispondenti a 100g di acqua ed effettuiamo i seguenti rapporti:

$$100 \text{ g/p} = 87.4 \text{ g/p} + 12.6 \text{ g/p}$$

Qual è il significato di questi rapporti? Mentre il primo rapporto corrisponde al peso di una molecola di acqua, gli altri due indicano soltanto il peso rispettivamente dell'ossigeno e dell'idrogeno contenuti in una molecola di acqua. Se p non è noto, non è possibile ricavare questi valori (e questa situazione caratterizzò la chimica ottocentesca durante tutta la rigogliosa fase di costruzione dei principi fondamentali della chimica classica), ma è possibile comunque ricavare informazioni di grandissima importanza; si può innanzi tutto determinare, con una semplice operazione il rapporto in peso tra l'ossigeno e l'idrogeno contenuti in una molecola d'acqua.

$$\frac{87.4 \text{ g/p}}{12.6 \text{ g/p}} = \frac{87.4 \text{ peso ossigeno contenuto in una molecola d'acqua}}{12.6 \text{ peso idrogeno contenuto in una molecola d'acqua}}$$

Siamo già arrivati ad una prima affermazione di grande rilevanza: la composizione macroscopica dell'acqua (e più in generale di tutte le sostanze composte) coincide con la composizione molecolare. Vi è però una differenza sostanziale: mentre a livello macroscopico i due numeri che indicano la composizione hanno delle ben definite dimensioni, a livello molecolare, non conoscendo p , è soltanto un rapporto fra numeri.

4. Il passaggio successivo consiste nell'attribuzione all'acqua di una determinata formula. Dalton, in base al principio della massima semplicità⁸, ipotizzò che la molecola d'acqua fosse costituita da un atomo di ossigeno ed uno di idrogeno.

5. Al punto 3 avevamo ricavato che:

$$\frac{87.4}{12.6} = 6.93 = \frac{\text{peso ossigeno in una molecola d'acqua}}{\text{peso idrogeno in una molecola d'acqua}}$$

Con l'ipotesi formulata al punto 4 si può effettuare questo passaggio:

$$6.93 = \frac{\text{peso dell'atomo di ossigeno}}{\text{peso dell'atomo di idrogeno}}$$

approssimando 6.93 a 7 si ottiene:

$$\text{peso dell'atomo di ossigeno} = 7 \times \text{peso dell'atomo di idrogeno}$$

È proprio l'atomo di idrogeno (il più leggero) che viene preso da Dalton come riferimento dei pesi atomici;

il peso atomico dell'idrogeno viene assunto per convenzione 1

quindi il peso atomico dell'ossigeno risulta essere 7.

Il peso atomico di un elemento è quindi un numero relativo che indica quanto pesa l'atomo dell'elemento in relazione all'atomo di idrogeno considerato come unità..."

Le titolazioni acido/base

"... Un problema di grande importanza, che si presenta spesso, consiste nel determinare, in un dato campione, la quantità di una specifica sostanza in esso presente. Ad esempio, per il latte e l'aceto di vino la legge prevede che, per essere commercializzati, debbano contenere una determinata quantità, rispettivamente, di acido lattico e di acido acetico.

Com'è possibile verificare che il prodotto posto in commercio rientra nei limiti imposti dalla legge?

In questi casi, il chimico ricorre ad una analisi particolare - anch'essa prevista dalla legge - che prende il nome di titolazione acido/base ...

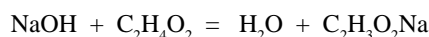
Conoscendo la quantità di base che ha reagito, come possiamo risalire alla quantità dell'acido?

Ammettiamo, ad esempio, di aver impiegato 10 ml di una soluzione di idrossido di sodio (4g/l) per neutralizzare l'acido acetico presente in 1 ml di aceto. Sono stati quindi necessari 0.04 grammi di idrossido di sodio puro per neutralizzare tutto l'acido presente in 1ml di aceto.

Calcoliamo i pesi atomici dell'acido acetico e della soda caustica (Na=23; O=16; C=12; H=1) :

PM(NaOH) = 40 ; PM(C₂H₄O₂) = 64 ;

La reazione che avviene è la seguente:



Bilanciamo la reazione per ricavare i rapporti di reazione. Il rapporto di reazione NaOH/C₂H₄O₂ è 1/1, quindi il numero di molecole di NaOH che hanno reagito è uguale al numero di molecole di acido acetico presente. Noi non conosciamo il numero di queste molecole, ma, dai pesi molecolari, sappiamo che una molecola di acido acetico ha una massa che è 64/40 = 1.6 volte quella di NaOH. Di conseguenza, visto che il numero di molecole di acido è uguale a quello della base, anche la massa complessiva di acido acetico risulterà 1.6 volte quella di NaOH, cioè 1.6x0.04g=0.064 grammi.

Passiamo all'aspetto operativo e vediamo come procedere per *determinare la quantità di base strettamente necessaria per neutralizzare l'acido ...*"

Questi sono solo alcuni dei tanti esempi, che si possono (devono) portare in un **corso introduttivo** di chimica. Procedere in questo modo, comporta l'innegabile vantaggio di centrare l'attenzione su quegli **aspetti atomico/molecolari** propri della chimica classica, che hanno un'enorme importanza, non solo storica, ma anche didattica, nel costruire un mondo che è stato, prima di tutto, immaginato e dove i punti di contatto con la realtà sono tutt'altro che ovvi e intuitivi. È vero che ormai si hanno a disposizione strumenti che ci permettono di "vedere" le molecole, ma non dobbiamo dimenticare che questi sono stati realizzati quando già le molecole erano state inventate e "viste" dall'intellet-

to umano. Senza questo straordinario atto creativo, nessuno strumento avrebbe portato l'uomo a pensare la materia in termini molecolari. Ciò non può essere ignorato nell'insegnamento della chimica, soprattutto in una situazione di grave e preoccupante disaffezione degli studenti nei confronti delle discipline scientifiche, percepite, troppo spesso, fredde e noiose⁹. Tenere nella dovuta considerazione questioni del tipo "Come facciamo a sapere che...? Perché crediamo che...? Quali sono le prove per...?"¹⁰ e, più in generale, gli aspetti culturali, storici e filosofici delle scienze, riteniamo che sia ormai una condizione irrinunciabile per un cambiamento nell'insegnamento delle scienze che si rende, ora più che mai, necessario.^{11,12}

Bibliografia e note

- 1) H.Bent, *Should the mole concept be X-rated?* J. Chem. Educ., 62, 59, 1985 op. citata in: E.Roletto, A.Regis, G. Albertazzi, *Costruire il concetto di mole*, CnS, 5, 148, 2003
- 2) G.Gorin, *Should we teach the Mole?* J. Chem. Educ., 62, 192, 1985 op. citata in: E.Roletto, A.Regis, G. Albertazzi, *Costruire il concetto di mole*, CnS, 5, 148, 2003
- 3) F.Turco, L.Cerruti, *Mole e quantità di sostanza*, CnS, 5,147, 2002
- 4) O.Saks, *Zio Tungsteno. Ricordi di un'infanzia chimica*, Adelphi, Milano, 171, 2002
- 5) J.I. Solov'ev, *L'evoluzione del pensiero chimico dal '600 ai nostri giorni*, Mondadori, 1976, Milano. Le reazioni chimiche bilanciate e i relativi calcoli stechiometrici compaiono per la prima volta nei testi di chimica proprio in quegli anni.
- 6) P.Mirone, *Perché la chimica è difficile*, CnS, 3, 67, 1999
- 7) C.Fiorentini, E.Aquilini, D.Colombi, A.Testoni, *Dispensa di Chimica per la scuola secondaria di secondo grado*, CIDI, Firenze.
- 8) Secondo questo principio la molecola di una qualsiasi sostanza dovrebbe essere costituita dai numeri più semplici possibili di atomi degli elementi costituenti. Non essendo possibile determinare sperimentalmente il numero di atomi in una molecola, inizialmente si dovette procedere per ipotesi, accettando quella più semplice (principio della massima semplicità), che fosse in accordo con le osservazioni sperimentali. Questo rappresenta sicuramente uno dei punti più problematici, ma anche più fecondi, della nascente ipotesi atomistica, che non svilupperemo perché non rientra fra le finalità di questo lavoro.
- 9) J. Bruner, *La cultura dell'educazione*, Feltrinelli Editore, 140, 1997
- 10) A.B.Arons, *Guida all'insegnamento della fisica*, Zanichelli, Bologna, 1992, 400
- 11) C.Bernardini, *Il brutto anatroccolo*, Insegnare, 9, 2005: "Io e i miei colleghi abbiamo un difetto grave, condiviso da troppi: viviamo nel presente e consideriamo il passato obsoleto, quasi spazzatura. Come se le idee e i risultati più importanti fossero solo gli ultimi. Come se il contenuto culturale di una storia sofferta fosse pressoché nullo. No, amici e colleghi, è un errore, anche grave ... Via! Un piccolo sforzo: **recuperiamo almeno la nostra storia**. Poi bisognerà studiare il modo di costruire una didattica delle scienze a misura di adolescenti."
- 12) S.Sjøberg (University of Oslo), "Science and Technology Education – Current Changes and Possible Solutions", in Jenkins, Edgar (ed. 2002), *Innovations in Science and Technology Education*, Vol. VIII Paris, UNESCO: "Maggior attenzione dovrebbe essere data agli aspetti culturali, storici e filosofici della Scienza e della Tecnologia nel tentativo di presentarle come attività umane. Questa maggiore attenzione può favorire l'interesse per queste discipline da parte di quegli studenti che tentano di attribuire 'significato' ai loro studi, piuttosto che acquisire informazioni sui fatti e spiegazioni preconfezionate e rigide dei fenomeni naturali."

La storia insegna...anche la stechiometria

Esercizi dagli *Opuscles* di Lavoisier

MARCO TADDIA*

Più di cento anni fa, il filosofo e pedagogista americano John Dewey (Fig. 1), a proposito del ruolo della storia nell'istruzione elementare, faceva acutamente osservare che le domande urgenti che un ragazzo si pone sul presente e sull'avvenire sono tante da allontanarlo dalla storia come semplice memoria del passato [1]. Tuttavia, questa considerazione non è valida se si considera la storia come resoconto delle forze e delle forme della vita sociale. In tal caso, scrive Dewey, "resta sempre con noi e ad essa non si applica la distinzione di passato e presente". Si può concordare con Dewey che non è facile per un ragazzo che vive in un mondo sociale ricco e pieno, come quello odierno, immaginare quanto esso sia costato e da quanti sforzi e quanto pensiero sia stato generato. Così il ragazzo "può essere condotto a tradurre queste risorse belle fatte in termini fluidi, a vedere l'uomo faccia a faccia con la natura, senza strumenti e senza prodotti industriali". C'è, secondo Dewey, una naturale "correlazione" tra storia e scienza, giacché l'interesse storico conferisce un colorito più umano e un significato più ampio allo studio della natura, mentre la conoscenza di quest'ultima aggiunge pertinenza ed accuratezza allo studio della storia. Le considerazioni di Dewey sono ancora valide e si applicano senza alcuna forzatura non solo ai bambini ma anche ai giovani della secondaria e a quelli dell'Università, laddove l'insegnamento delle materie scientifiche prescinde dalla storia del pensiero scientifico, contribuendo a trasmettere un'immagine statica ed acritica (perciò noiosa). A tale proposito, qualche settimana fa, un noto giornalista italiano, corrispondente dagli USA di un quotidiano nazionale, trattando dell'insonnia e i suoi rimedi ha scritto che gli studenti dei licei americani, secondo una statistica, confessano di addormentarsi sul banco di scuola una volta la settimana [2]. "Io non riesco a addormentarmi neppure durante le lezioni di chimica inorganica" lamentava l'Autore, insonne inguaribile, facendo intendere che non vi fosse materia più noiosa. E' facile verificare che questo è il ricordo che molti conservano dei loro studi di chimica, non solo inorganica. Negli anni recenti, anche per far fronte alla crisi delle "vocazioni scientifiche", si è tentato di risvegliare l'interesse per la chimica in vari modi, incluso il ricorso a spettacoli, giochi ed effetti speciali. Questa lodevole attività non basta e i dubbi sulla sua incisività non mancano, soprattutto se ci si interroga sulle odierne motivazioni che spingono ad intraprendere studi scientifici

* Università di Bologna, Dipartimento di Chimica
"Giacomo Ciamician", Via F. Selmi 2, 40126 Bologna
E-mail: marco.taddia@unibo.it

[3]. Preso atto della realtà, è possibile che una incentivazione possa derivare anche da un collegamento con il sapere umanistico attraverso, ad esempio, la storia del pensiero scientifico.

In questo lavoro si tenterà di dimostrarlo.

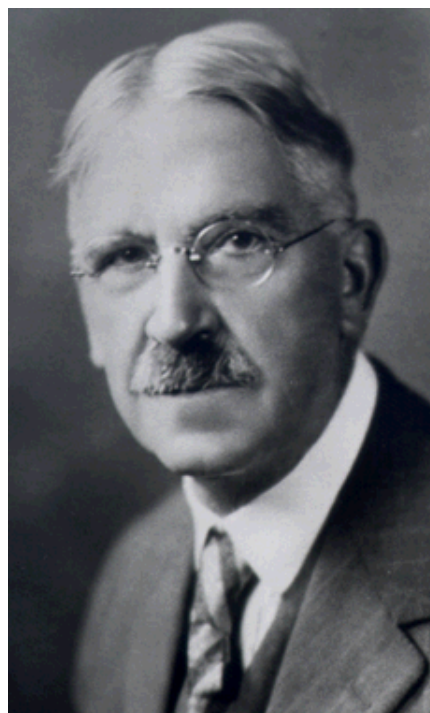


Figura 1. John Dewey (1859-1952).

Didattica e storia

Un importante contributo italiano è il libro "Storia della scienza e didattica delle discipline scientifiche" di Liborio Dibattista, pubblicato circa un anno fa [4]. Esso non è dedicato esplicitamente alla chimica, ma l'estrema rarità di corsi (o moduli) dedicati alla storia della chimica richiederebbe che i docenti di chimica gli prestassero qualche attenzione, ricordando che lo stesso Giulio Natta, Nobel per la Chimica (1963), presentando un libro di Masini raccomandava ai giovani di avvicinarsi a questa disciplina tramite la storia [5-6]. Più recentemente, nel nostro Paese, non sono mancati altri richiami a curare maggiormente questo aspetto della formazione dei chimici

[7-8]. E' difficile, ad esempio, non essere d'accordo con Ciardi secondo il quale "la comprensione dei problemi (non soltanto scientifici, ma culturali e filosofici) a cui un'opera o una teoria hanno tentato di rispondere, attraverso l'analisi e lo studio della loro genesi, faciliterebbe sicuramente anche l'acquisizione delle nozioni squisitamente tecniche

e specifiche peculiari dei manuali.” [7]. Purtroppo, i risultati di queste sollecitazioni sono stati piuttosto scarsi. Forse, il dibattito pur appassionato ed interessante è rimasto finora confinato in ambito troppo ristretto. Così, al momento di incrementare l’offerta didattica delle facoltà scientifiche con la recente riforma degli ordinamenti didattici, la richiesta d’introdurre la storia della chimica non si è manifestata in maniera convincente da parte dei suoi pochi cultori e, così facendo, si è perduta un’occasione. A questo ostracismo accademico, conseguenza del fatto che come ha scritto Di Meo “Dopo l’opera di Giua (1945), per molti anni la comunità chimica italiana sembra ignorare la storia della propria disciplina” [9], almeno fino alla fine degli anni ’70, si sovrappongono difficoltà obiettive di carattere didattico. Non a caso, infatti, da più di quarant’anni ci si interroga, anche all’estero, sull’opportunità e i modi d’introdurre la storia della chimica nei corsi universitari. Intorno alla metà degli anni ’70, ad esempio, un articolo di Stephen Brush, pubblicato dall’autorevole *Science* [10], suggeriva di non utilizzare i risultati più recenti delle ricerche storiche per trasmettere agli studenti l’immagine tradizionale dello scienziato imparziale. Viceversa, qualora si fosse desiderato contrastare il dogmatismo dei libri di testo, presentando la scienza come qualcosa di non disgiunto da considerazioni di tipo metafisico o estetico, si poteva ricorrere alla “nuova” storia della scienza. Altri tempi, forse, e altre preoccupazioni. Benchè alcune di esse, quale quella di non turbare le giovani menti con una descrizione realistica del comportamento degli scienziati, possano apparire superate, resta l’imbarazzo del docente combattuto fra la proposta di un ideale e gli esempi concreti. A seguito del lavoro di Brush, fu proposto di porre l’accento sull’illustrazione di esempi storici che non trascuravano gli aspetti etici [11]. Qui si poneva giustamente l’accento sull’esigenza che i chimici intenzionati ad introdurre elementi di storia della chimica nei loro corsi, conducessero le ricerche storiche con cura e attenzione simili a quelle di chimica. In caso contrario, il suggerimento era quello di lasciare la storia agli specialisti. In tempi più recenti, si è suggerito di evidenziare il ruolo degli errori storici [12], come dimostrazione dell’inesistenza di un metodo che possa definirsi automaticamente scientifico.

Nel presente lavoro si desidera fornire qualche indicazione su come avvicinare i giovani alla storia attraverso la lettura di testi originali, il cui stile e contenuto potrebbe scoraggiarli.

Questo processo può giungere a buon fine se il giovane diventa protagonista del lavoro di analisi del testo controllando, ad esempio, i calcoli dell’Autore classico e criticandone le conclusioni sulla base delle conoscenze moderne. In sostanza, si realizza in parte quanto John Dewey [1] aveva immaginato: “il ragazzo che prende interesse a conoscere il modo in cui gli uomini vissero, gli strumenti che maneggiarono, le invenzioni nuove che fecero e i cambiamenti di vita che furono il prodotto della potenza e agiatezza conseguite, desidera molto ripetere simili processi con la sua azione, rifare gli utensili, riprodurre i procedimenti e maneggiare di nuovo quei materiali”.

L’insegnante avrà un ruolo decisivo nello stimolare l’intelligenza dell’allievo e nell’invitarlo a formulare ipotesi che spieghino eventuali difformità fra valori teorici e sperimentali. Tutto ciò mostrerà che tra la storia della disciplina e l’apprendimento della disciplina medesima non vi

è incompatibilità, anzi i due processi sono integrabili senza sforzo e con reciproco vantaggio. L’occasione per mettere alla prova questa strategia viene offerta dalla recente pubblicazione in lingua italiana degli *Opuscules Physiques et Chymiques* di Antoine-Laurent Lavoisier [13] (Fig.2-3).

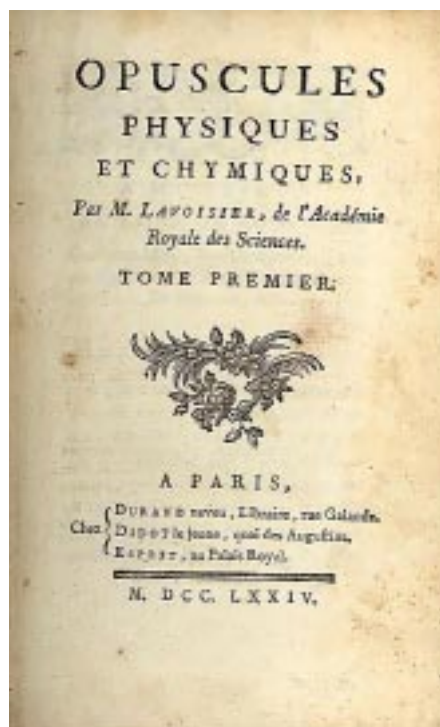


Figura 2. Frontespizio degli *Opuscules* di Lavoisier (1774).



Figura 3. Ritratto di Antoine-Laurent Lavoisier inciso da Gaiani sotto la direzione di Rosaspina, incluso nei *Ragionamenti Chimici* di Pellegrino Salvigni (1816), (Per gentile concessione della Biblioteca Comunale di Imola).

Gli *Opuscules* di Lavoisier

Opera giovanile, datata 1774 ma “apparsa” nel dicembre 1773, diede notevole credito a Lavoisier e ne consolidò la reputazione di chimico. Secondo Partington [14], benchè contenga errori ed omissioni (scusabili per l’epoca), essa

supera qualsiasi lavoro precedente sull'argomento. Sorprende quindi che nonostante sia stata oggetto di studi approfonditi anche in Italia [15], la prima versione integrale nella nostra lingua sia stata pubblicata con più di due secoli di ritardo rispetto a quella inglese di Thomas Henry [16] e a quella tedesca di Christian Ehrenfried Weigel [17]. È un fatto curioso in quanto gli *Opuscoli*, primo libro importante di Lavoisier, furono inviati in copia a società, accademie e studiosi ed ebbero una II edizione nel 1801. Si tratta, com'è noto, di un'opera divisa in due parti. Nella prima Lavoisier raccoglie, in forma di rassegna storico-scientifica, le conoscenze del tempo sulle "arie", in particolare sull'aria "fissa" o "fissata" nei corpi, mentre nella seconda riferisce i suoi esperimenti e relative conclusioni. La rassegna prende avvio da Van Helmont e termina con la trascrizione dell'appendice sull'aria fissa dalla *Chymie* di Baumé, pubblicata un anno prima degli *Opuscoli*. Tra i contributi oggetto della rassegna di Lavoisier emergono quelli di Black, Hales e, soprattutto, quello di Priestley. Vengono inoltre ricordati Boyle, Boerhaave, Stahl, Venel, Cavendish, Meyer ed altri. L'unico italiano citato è il Conte di Saluzzo (Giuseppe Angelo Saluzzo di Monesiglio, 1734-1818).

La seconda parte degli *Opuscoli*, assimilabile ad un quaderno di laboratorio dei giorni nostri, contiene anche una serie di dati quantitativi facilmente verificabili con calcoli stechiometrici alla portata di uno studente di chimica. È proprio questa verifica che può portare a meglio interpretare alcuni risultati di Lavoisier.

La conservazione della massa

Benchè molti attribuiscono proprio a Lavoisier la paternità della legge sulla conservazione della massa nel corso delle reazioni chimiche è noto che Jean Rey (ca.1582/3-1645) era giunto a conclusioni simili più di cento anni prima. Secondo Rey infatti "La pesanteur est si étroitement jointe à la première matière des éléments que, se changeant de l'un en l'autre, ils gardent toujours le même poids" [18]. Il concetto, espresso nel VI saggio della raccolta di Rey dedicata alle cause che provocano l'aumento di peso di stagno e piombo a seguito della calcinazione, non fu assunto quale chiave interpretativa degli esperimenti condotti da altri nel corso del secolo XVII. Come giustamente osservato da Whitaker [19], fu lo stesso Rey a fornirne la ragione. Si tratta in sostanza di una sorta di scetticismo verso il responso strumentale (quello della bilancia) a vantaggio della ragione. D'altronde, se pensiamo alla combustione di un pezzo di legno, è facile dedurre che il principio della conservazione della massa non è collegato all'esperienza sensoriale.

Molti anni dopo Rey, ma prima di Lavoisier, lo scozzese Joseph Black (1728-1799) calcinando la magnesia alba ($4 \text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg(OH)}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [20], avrebbe non solo scoperto la cosiddetta aria fissa (cioè CO_2) ma, nel tentativo di compiere il percorso inverso, proprio come Lavoisier negli *Opuscules*, pur aspettandosi la conservazione della massa doveva constatare che i valori sperimentali non coincidevano con quelli attesi.

Calcoli Stechiometrici e considerazioni

Primo esempio

È tratto dalla VII esperienza descritta nel capitolo I della Seconda Parte degli *Opuscoli* [13]. L'esperienza si propone di "Ricostituire della terra calcarea o della *craie*, resti-

tuendo alla calce l'acqua e il fluido elastico di cui è stata privata con la calcinazione", laddove il termine *craie* (in inglese *chalk* e in tedesco *Kreide*) designa un sedimento calcareo incoerente, biancastro, formato da gusci di foraminifere, contenente almeno il 98% di CaCO_3 , di cui è ricca una particolare regione della Francia (Fig. 4).



Figura 4. Regione francese di estrazione della *craie*.

In pratica, si tratta di rifare il carbonato di calcio ripercorrendo in senso inverso il processo di decomposizione termica che aveva condotto a calce viva (CaO), acqua e fluido elastico (per noi CO_2). La reazione viene effettuata con una delle apparecchiature mostrate nella Tav. 1 degli *Opuscoli* (Fig. 5-6).

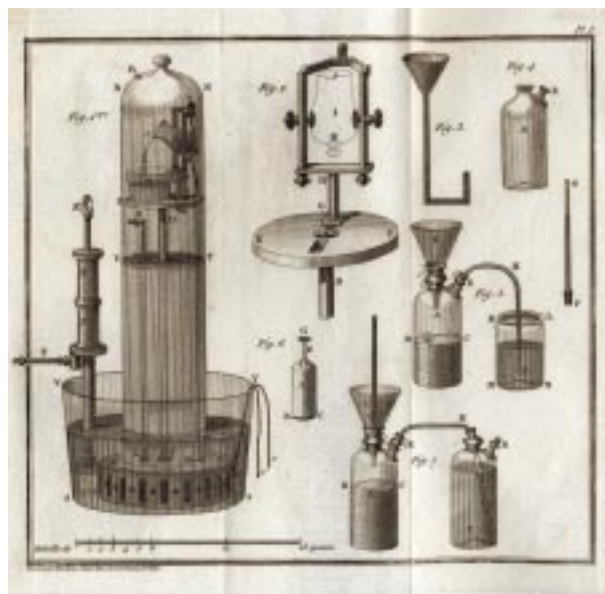


Figura 5. Tavola 1 degli *Opuscules* che mostra le apparecchiature di Lavoisier.

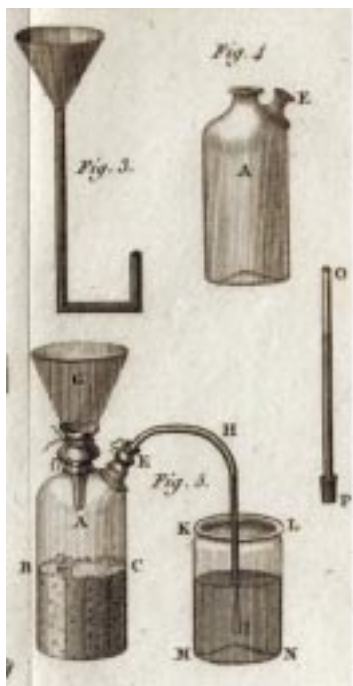
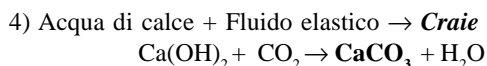
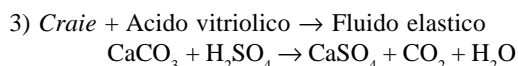
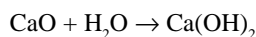
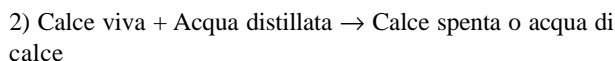
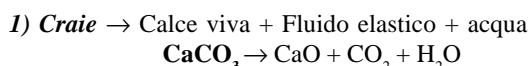


Figura 6. Particolare della Tav. 1 con l'apparecchio utilizzato nel primo esempio di calcolo.

Le unità di misura di Lavoisier sono oncie, grossi, grani, pinte ecc.. ma nella versione italiana sono riportati i fattori di conversione e, per motivi di semplicità, qui si dà per scontato il calcolo. Nel vaso di destra (KLMN) vengono introdotti g 20,28 di CaO e 7,6 L di acqua. Nel vaso di sinistra la *craie* (1/3 del volume totale) poi, tramite l'imbuto a tenuta, acido vitriolico (H₂SO₄) fino a reazione completa. Prima dell'aggiunta dell'acido i due recipienti vengono collegati in maniera che il fluido elastico sviluppato vada a gorgogliare nella calce spenta. La reazione viene protratta fino ad "addolcimento" totale dell'acqua sovrastante il precipitato (neutralità).

Riassumendo:



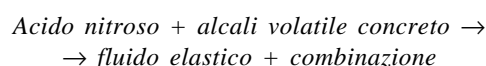
Ne risulta un precipitato che lasciato decantare e seccare alla temperatura di ebollizione del mercurio (356,6 °C) pesa 36,32 g. Lavoisier si aspettava 0,95 g di *craie* in più e attribuisce la perdita al fatto che una piccola quantità sia rimasta attaccata al recipiente oppure che la calce non si sia saturata di fluido elastico come avrebbe dovuto. A parte questa differenza, che l'A. non reputa molto significativa, il risultato lo porta a concludere che "è sufficiente restituire alla calce, con qualsivoglia metodo, il fluido elasti-

co che ne è stato scacciato, per renderla dolce, insolubile in acqua e in grado di far effervescenza con gli acidi; in breve, per ristabilirla nello stato di terra calcarea o di *craie*".

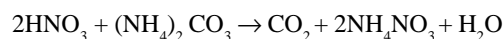
L'insegnante potrà far notare che Lavoisier non teneva conto del fatto che il prodotto finale della reazione era carbonato di calcio puro e non vera *craie* cioè carbonato al 98% ca. Ripetendo i calcoli, la difformità fra il trovato e l'atteso è solo -0,6%, un valore tale da ritenere assai accurato il procedimento di Lavoisier e da sottolineare, semmai ce ne fosse bisogno, l'importanza delle determinazioni gravimetriche nella storia della chimica. Può essere anche utile far notare che il ricorso al metodo scientifico, come evidenziava Giunta [12], non mette al riparo da errori interpretativi dei risultati. Tuttavia la grandezza di Lavoisier sta anche nel non essersi arreso di fronte a questo tipo di incongruenze assegnando loro il giusto rilievo, conscio dell'imperfezione dei suoi mezzi e, soprattutto, dei limiti propri di qualsiasi attività sperimentale.

Secondo esempio

Questo è ricavato dai dati dell'esperienza VII, inclusa nel II capitolo della Seconda Parte. Ha come oggetto la "Dissoluzione dell'alcali volatile concreto nell'acido nitroso", laddove l'acido nitroso indica l'attuale acido nitrico e l'alcali volatile concreto indica il carbonato di ammonio. Tradotta in termini moderni la reazione:



è la seguente:



Poiché la reazione si svolge in ambiente aperto, il diossido di carbonio sfugge dal contenitore. Pesando il contenuto prima e dopo la reazione si osserva una perdita di massa che Lavoisier confronta con la perdita attesa dai calcoli. Partendo da 183,5 g di acido nitroso e 86 g di alcali volatile concreto si osserva una perdita di massa pari a 40,8 g. Confrontandola con quella attesa (39,4 g) si ha una differenza del 3,4%. L'individuazione delle cause di questo apparente "errore" può dare lo spunto a varie riflessioni e domande. Ad esempio si dovrebbe tenere conto dei seguenti fattori:

1. Solubilità di CO₂ in acqua
2. Equilibrio dell'acido carbonico
3. Incertezza sulla composizione dell'alcali volatile concreto
4. Ruolo di eventuali impurità di idrogeno carbonato

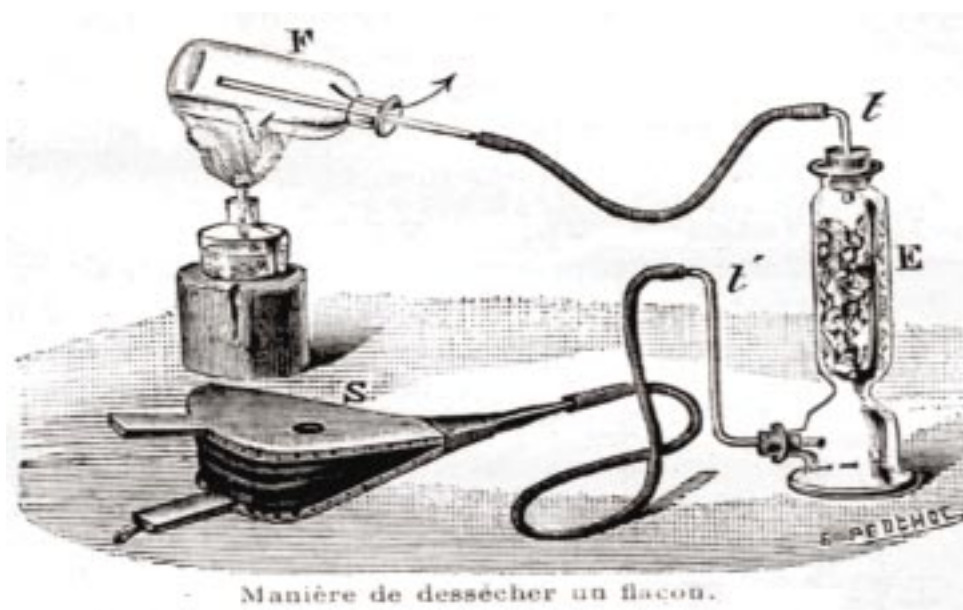
Un ottimo supporto per approfondire il punto 2) è costituito dal testo di chimica analitica quantitativa di Harris [21] il quale dedica un apposito box proprio al comportamento, a prima vista anomalo, dell'acido carbonico come acido diprotico. Per quanto riguarda il punto 4) si potrebbe calcolare il risultato ottenibile con carbonato all'1% di idrogeno carbonato. Si potrebbe inoltre ricavare la concentrazione dell'acido utilizzato da Lavoisier e valutare i risultati che si otterrebbero impiegando il carbonato d'ammonio attualmente in commercio (miscela di carbonato d'ammonio e carbammato d'ammonio, in proporzioni variabili).

Conclusioni

Il testo di Lavoisier qui proposto, con esperimenti facilmente riconoscibili, ripetibili e perfezionabili dagli studenti di chimica, li farà sentire partecipi di quello che Enriques [22] ha chiamato “il grande sforzo costruttivo della scienza” che accomuna “popoli, maestri e scolari, scolari d’oggi e maestri di domani”. Così il sentirsi parte di un’impresa comune e l’incontro con il pensiero originale di un grande del passato, senza mediazioni, li rinfrancherà nel loro impegno e li avvicinerà alla storia vera, non quella che si limita agli aneddoti. Il passo successivo sarà capire che la tecnologia è stata sviluppata in passato per creare *un mondo a misura d’uomo*, che non è priva di valori, anzi ne è intrisa in maniera complessa e, magari, che essi andrebbero inglobati nelle sue realizzazioni per modellare consapevolmente il mondo in cui viviamo [23].

Bibliografia

- [1] J. Dewey, *Scuola e Società*, La Nuova Italia Editrice, Firenze, 1964, p. 119 e segg.
- [2] V. Zucconi, *La Repubblica D*, 1 luglio 2006, 14
- [3] P. R. Jenkins, P. Chaudhuri, *Ed. Chem.*, 2003, **40**(4), 107
- [4] L. Dibattista, *Storia della scienza e didattica delle discipline scientifiche*, Armando Editore, Roma, 2004.
- [5] G. Masini, *Gli architetti delle molecole*, Giunti Bemporad Marzocco, Centro Internazionale del Libro, Firenze, 1972.
- [6] M. Taddia, *La Chimica e l’Industria*, 2005, **87**(8), 58.
- [7] M. Ciardi, *Il ruolo della storia e dell’epistemologia nella costruzione del curricolo verticale: per una storia della didattica della chimica e una rivalutazione del ruolo culturale della chimica in Italia*, I nuovi curricoli e le esigenze della società - Atti del XII Congresso Nazionale della Divisione di Didattica Chimica (Trieste 7-10 Novembre 2001) p. 61-70, p. 63.
- [8] M. Ciardi, *CnS - La Chimica nella Scuola*, 2005, **XXVIII**(1), 37.
- [9] A. Di Meo “G.B. Marini Bettolo e la storia della chimica in Italia” in “G.B. Marini Bettolo (1915-1996) La figura e l’opera”, Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL. Roma, 1999, p. 289
- [10] S. G. Brush, *Science*, 1974, **183**, 1164.
- [11] H. Goldwhite, *J. Chem. Ed.*, 1975, **52**, 645.
- [12] C. J. Giunta, *J. Chem. Ed.*, 2001, **78**, 623.
- [13] A.L. Lavoisier, *Opuscules physiques et Chimiques*, Paris, 1774, versione italiana a cura di M. Ciardi e M. Taddia, Bononia University Press, Bologna, 2005.
- [14] J.R. Partington, *A history of chemistry*, v.3, Martino, Mansfield Centre CT, 1970, p.393
- [15] F. Abbri, *Le terre, l’acqua, le arie. La rivoluzione chimica del Settecento*, Il Mulino, Bologna, 1984.
- [16] Lavoisier, *Essays physical and chemical*, Joseph Johnson, London, 1776.
- [17] Lavoisier, *Physikalisch-chemische Schriften*, Anton Ferdinand Roese, Greifswald, 1784
- [18] J. Rey, *Essais sur la recherche de la cause pour laquelle l’étain et le plomb augmentent de poids quand on les calcine*, nouvelle édition revue sur l’exemplaire original et augmentée sur les manuscrits de la Bibliothèque du Roi et des Minimes de Paris, avec des notes, par M. Gobet, Paris, Ruault, 1777, p. 21.
- [19] R. D. Whitaker, *J. Chem. Ed.*, 1975, **52**, 658.
- [20] J. Black, *Experiments upon magnesia alba, etc.*, Alembic Club Reprints, No. 1, E.& S. Livingston Ltd., Edinburgh, 1963.
- [21] D. C. Harris, *Chimica analitica quantitativa*, Zanichelli, Bologna, 2005, p.119.
- [22] F. Enriques, *Il significato della storia del pensiero scientifico* (a cura di M. Castellana e A. Rossi) Barbieri, Manduria (TA), 2004.
- [23] T.P. Hughes, *Il mondo a misura d’uomo. Ripensare tecnologia e cultura*. Codice, Torino, 2006.



CHIMICA E BIOLOGIA MOLECOLARE: due facce della stessa medaglia – Parte II¹

*“Per comprendere la struttura di una proteina
dovremmo considerare non solo la sua composizione chimica e
le sue proprietà fisiche, che corrispondono alla sua anatomia,
ma anche le sue specifiche reazioni e funzioni biologiche.”*
(Langmuir)

ALESSANDRA BARBIN*

Introduzione

Gran parte delle problematiche dell'insegnamento si evidenziano in relazione al rapporto di quest'ultimo con la realtà. Ne consegue che un percorso educativo efficace dovrebbe sempre partire dalla consapevolezza che la realtà presenta molteplici sfaccettature e che queste vengono colte solo parzialmente da ogni singola disciplina. Si delinea quindi come necessario il tentativo di sviluppare negli alunni la progressiva coscienza di questa pluralità, unitamente al desiderio di una riorganizzazione unitaria del sapere.

Tale riflessione riconduce ad un altro aspetto centrale nel processo di apprendimento: la ricerca del filo logico che lega l'osservazione, l'esperienza diretta, il sedimentato di tale esperienza, traducibile nella formalizzazione di "immagini" quali metafore di quanto osservato ed esperito, e il loro utilizzo nel processo di costruzione di propri schemi mentali. Solo percorrendo le tappe di questo processo è possibile plasmare nei discenti la capacità di intuizione e di "saper vedere" con sguardo critico e consapevole la realtà molteplice che li circonda.

Nel presente contributo si è inteso descrivere il percorso didattico realizzato in un laboratorio d'informatica del Liceo Scientifico Statale 'A. Righi' di Bologna con gli studenti di una classe quarta "tradizionale".

Tale lavoro è stato progettato allo scopo di collegare e applicare le nozioni generali acquisite in aula, in relazione alla struttura delle proteine, alle nuove conoscenze inerenti la *Green Fluorescent Protein* (GFP), precedentemente apprese durante la partecipazione della classe a un percorso formativo di biologia molecolare presso i laboratori del "Life Learning Center" (LLC) della stessa città. A tal fine, si è ritenuto che potesse risultare di grande efficacia l'utilizzo di un programma di visualizzazione molecolare tridimensionale: *RasMol* 2.7.2.

Premessa metodologico-didattica

Alla fine degli anni '70, lo sviluppo delle tecnologie del DNA ricombinante e la pubblicazione delle prime sequenze di acidi nucleici fecero emergere nella comunità scientifica l'esigenza di poter disporre di archivi informatici di libero accesso in cui immagazzinare i numerosi dati che si andavano accumulando e che sarebbero stati prodotti nel tempo in quantità sempre maggiore. In genere, è a tale periodo che si fa risalire la nascita della *bioinformatica*, quale materia multidisciplinare il cui scopo principale è la gestione e l'analisi dell'enorme mole di dati provenienti dagli studi della moderna biologia e dalle biotecnologie. Relativamente di recente le attività di bioinformatica sono state raggruppate con diversi altri approcci matematici, quali la simulazione, il "modelling" e la statistica, in una nuova disciplina a cui è stato attribuito il nome di *biologia computazionale* (*Nature*, Vol. 420, pag. 205, novembre 2002). Sono proprio le metodologie bio-computazionali che consentono di effettuare le analisi più innovative sulle biomolecole: confronto di biosequenze per la ricerca di regioni di similarità, studi di evoluzione molecolare, studi di predizioni strutturali.

Ad oggi, le *banche dati biologiche* sono numerosissime e in esse sono raccolte le informazioni e i dati relativi alle principali molecole biologiche (DNA, RNA, proteine) di svariati organismi.

In riferimento alle proteine, l'analisi della loro sequenza amminoacidica riveste un ruolo fondamentale nello studio e nella comprensione della loro funzione. In generale, infatti, è la sequenza amminoacidica che determina la struttura tridimensionale di una proteina e quindi la sua funzione, sebbene sia stata identificata una serie di peptidi, detti *chaperonine*, che intervengono nel determinare il corretto ripiegamento di alcune proteine. Inoltre, in molti casi solo l'analisi della struttura 3D di una macromolecola può aiutare a comprendere in quale modo e per quale motivo una determinata sequenza possa codificare una specifica funzione.

¹ Il lavoro è tratto da una tesi di specializzazione svolta nell'ambito della SSIS-Bologna, indirizzo Scienze Naturali, classe A060: "La chimica di base per comprendere la struttura e le proprietà di molecole complesse: le proteine" di Alessandra Barbin, a.a. 2003/2004.
² A tale proposito si veda l'articolo "Chimica e biologia molecolare: due facce della stessa medaglia. - Parte I" pubblicato in CnS, anno XXVIII, n° 1, 2006.

Attualmente, nonostante sia nota la sequenza amminoacidica di un numero molto elevato di proteine, non è ancora stato messo a punto un sistema che, a partire dalla sola sequenza, riesca a predire la struttura proteica corrispondente in modo affidabile. I due principali metodi utilizzati a tal fine rimangono, quindi, la cristallografia a raggi X e la spettroscopia a risonanza magnetica nucleare (*Nuclear Magnetic Resonance*, NMR) che consentono di determinare le coordinate degli atomi costituenti la struttura molecolare. Tali coordinate cartesiane, archiviate in files di formato standard facilmente scaricabili da Internet consultando una delle tante banche dati proteiche disponibili (tra cui, ad esempio, *Protein Data Bank 3*, PDB) e per questo identificati di solito come *files PDB4*, vengono poi utilizzate per analisi computazionali e grafiche al fine di ricostruire la struttura atomica del peptide analizzato. È quest'ultimo aspetto che presenta significative ricadute didattiche in relazione al tentativo di aiutare gli studenti a costruirsi corrette ed efficaci "immagini mentali" riguardanti gli aspetti curriculari affrontati.

Tra i programmi di grafica molecolare, scaricabili gratuitamente dalla rete, vi è *RasMol*. Tale programma presenta due importanti caratteristiche: la notevole semplicità di utilizzo e la possibilità di produrre rappresentazioni tridimensionali "dinamiche" di discreta qualità.

In particolare, *RasMol 2.7.25* (versione utilizzata nel progetto) consente di ricostruire diversi tipi di rappresentazioni strutturali 3D di una specifica proteina. Il tipo di

³ Indirizzo web del *Protein Data Bank*: <http://www.rcsb.org/pdb/>

⁴ Per ulteriori informazioni relative alla *bioinformatica* e ai *file PDB* si consiglia di fare riferimento al testo "Introduzione alla bioinformatica" riportato in bibliografia e all'articolo "La didattica in 3D: come studiare le proteine al computer" di Giovanni Casavecchia - CnS, anno XXVII, n° 5, 2005.

rappresentazione prescelto dipende dal particolare aspetto della struttura proteica che si desidera analizzare.

Da quanto appena riportato, risulta evidente il carattere multidisciplinare e interdisciplinare dell'approccio bioinformatico allo studio delle molecole proteiche, metodo di analisi che si avvale in gran parte di competenze chimiche.

Visualizzazione tridimensionale della proteina verde fluorescente

Nei giorni precedenti l'esercitazione, tutto il "materiale" didattico necessario alla realizzazione dell'intervento (programma *RasMol 2.7.2* e *file PDB* relativo alle coordinate atomiche della GFP) era stato memorizzato nella cartella "Documenti" di ciascun computer del laboratorio informatico, in modo tale che fosse di facile accesso per gli studenti.

La lezione ha quindi avuto inizio con l'apertura del programma grafico *raswin* (versione di *RasMol* eseguibile per Windows) che consente la visualizzazione tridimensionale della struttura proteica considerata. Cliccando sull'icona relativa si aprono due finestre: la prima (*RasMol Version 2.7.2*), a sfondo nero, dove si crea l'immagine tridimensionale, l'altra, a sfondo bianco (*RasMol Command Line*), in cui è possibile digitare specifici comandi grazie alla presenza di una linea di testo.

Al fine di visualizzare la GFP nella prima delle due finestre, gli studenti sono stati invitati a digitare i primi comandi riportati su una dispensa consegnata loro in precedenza e recante la successione delle operazioni da effettuare.

⁵ Scaricabile dal sito <http://www.bernstein-plus-sons.com/software/rasmol>

SCHEDA 1 - Visualizzazione tridimensionale della proteina verde fluorescente (GFP: Green Fluorescent Protein) mediante il programma *RasMol 2.7.2*

La proteina verde fluorescente (GFP), utilizzata nelle esercitazioni di laboratorio effettuate presso il "Life Learning Center", è stata isolata dalla medusa tropicale *Aequorea victoria*. Tale organismo, come molti altri celenterati, manifesta il fenomeno della bioluminescenza, riconducibile alla presenza della proteina GFP all'interno di cellule specifiche. Questa proteina ha una caratteristica forma cilindrica (β -barile) e, al suo interno, racchiude un cromoforo sensibile alla luce ultravioletta. Esso, infatti, se colpito da tali lunghezze d'onda, tende a emettere a sua volta luce visibile nella lunghezza d'onda del verde.



Il nostro scopo, nella presente esercitazione, è di visualizzare la proteina e analizzarne le principali caratteristiche.

Apriamo il programma *raswin* cliccando sull'icona relativa.

Utilizzando la barra dei comandi (BC) del programma di visualizzazione apriamo il *file PDB*, relativo ai dati cristallografici della GFP, premendo in successione:

File → Open → Cartella contenente il programma PDB (ad esempio: "EsercitazBioInf") → *File PDB* contenente i dati cristallografici (ad esempio: "1EMA-GFP") → Apri.

[La proteina viene visualizzata in modalità wireframe (Display) e CPK (Colours)].

Innanzitutto, cerchiamo di riconoscere le diverse porzioni della struttura secondaria della proteina.

A tal fine, digitiamo nella *RasMol Command Line* (CL), che si apre insieme a *raswin*, i seguenti comandi:

CL zoom 150 → Invio
 CL structure → Invio
 BC Colours → Structure
 BC Display → Cartoons
 BC Options → Specular
 (CL select turns → Invio)

Nella struttura della proteina, costituita nella rappresentazione da 1717 atomi, si possono riconoscere 4 α -eliche, 11 β -foglietti e 20 loop (originati dalla presenza di specifici legami a idrogeno tra porzioni contigue della catena amminoacidica ove questa è priva di una specifica struttura secondaria). È evidente la forma a barile della proteina che risulta essere attraversata per tutta la sua lunghezza da un'unica α -elica solo apparentemente suddivisa in quattro porzioni distinte (Figura 1).

CL select protein → Invio
 CL hbonds on → Invio
 BC **Display** → Backbone

Vengono evidenziati i numerosi legami a idrogeno (161) che legano stabilmente tra loro i β -foglietti conferendo alla proteina la sua caratteristica struttura secondaria. Questi stessi legami stabilizzano anche le α -eliche ed i loop. Si tratta di legami deboli che si formano per interazione tra l'ossigeno carbossilico di un amminoacido ed un gruppo amminico di un altro amminoacido della sequenza (Figura 3).

Ora mettiamo in evidenza il cromoforo (questo nel *file PDB* viene indicato con la sigla *cro*).

CL select cro → Invio
 CL colour green → Invio
 BC **Display** → Ball and stick

Il cromoforo, porzione più delicata di tutto il complesso molecolare, è collocato nel centro geometrico della proteina in una posizione protetta (Figura 4). Con il termine *cromoforo* s'intende un gruppo atomico insaturo presente in alcune molecole o composti organici che ha la capacità di assorbire radiazione elettromagnetica nella regione del visibile e dell'ultravioletto e che rende colorate le sostanze in cui è contenuto. Talvolta sono necessari più gruppi cromofori affinché una sostanza cromogena (ossia un composto contenente uno o più cromofori) appaia colorata.

CL select protein → Invio
 BC **Display** → Strands
 CL hbonds off → Invio

Ora evidenziamo gli amminoacidi polari e non polari della proteina. Queste porzioni sono diversamente distribuite nella struttura proteica e la loro posizione relativa ha grande importanza in rapporto alla solubilità della proteina stessa.

CL select polar → Invio
 CL colour red → Invio
 BC **Display** → Ball and Stick
 (sfere e bastoncini)

CL select hydrophobic → Invio
 CL colour white → Invio
 BC **Display** → Ball and Stick
 CL select backbone → Invio
 BC **Display** → Ribbons
 (nastri)

È evidente una maggiore distribuzione dei residui amminoacidici polari sulla superficie esterna del β -barile e, conseguentemente, una maggiore presenza di residui idrofobici all'interno della struttura proteica (Figure 5 e 6). Questo è dovuto al fatto che la GFP, essendo una proteina citoplasmatica, deve poter essere solubile in un ambiente acquoso. Tuttavia, la non trascurabile presenza di residui idrofobici direttamente a contatto con l'ambiente esterno rende questa molecola facilmente purificabile mediante cromatografia ad interazione idrofobica (HIC).

CL select protein → Invio
 BC **Display** → Spacefill
 (sfere piene)
 BC **Options** → Specular

Cliccando con il tasto sinistro del mouse su uno degli amminoacidi della proteina se ne può leggere la natura sulla *RasMol Command Line*.

Ora osserviamo più da vicino il cromoforo.

Cliccando con il tasto sinistro del mouse su uno degli atomi del cromoforo se ne può leggere la natura chimica sulla *RasMol Command Line*. Oppure si può utilizzare la funzione Pick Label (sotto la funzione Settings nella barra dei comandi) con la stessa

CL restrict cro → Invio
 CL zoom 250 → Invio

BC **Colours** → CPK
 CL zoom 150 → Invio
 CL colour green → Invio

La colorazione CPK distingue gli atomi in base alla loro specie chimica. Il cromoforo è costituito da tre amminoacidi (Ser o Thr65 - Tyr66 - Gly67) in seguito a loro ciclizzazione, deidratazione e ossidazione. Esso in realtà è direttamente collegato all' α -elica centrale. Gli anelli a 5 e 6 atomi di carbonio sono complanari e l'intero cromoforo è provvisto di un esteso sistema di doppi legami coniugati: caratteristiche alla base delle sue proprietà fluorescenti (Figure 7e8).
 [Cromoforo → "croma" = colore + "foro" = porto]

Evidenziamo alcuni dei principali amminoacidi polari che interagiscono direttamente, mediante legami a idrogeno, con il cromoforo contribuendo, in tal modo, sia alla sua stabilità sia probabilmente alle sue proprietà fluorescenti. (Anche in questo caso le informazioni relative agli amminoacidi si ottengono dalla lettura del *file PDB*).

CL select protein → Invio
 BC **Colours** → Structure
 BC **Display** → Backbone
 CL select 69,94,96,148,203,222 → Invio
 BC **Display** → Balls and sticks
 CL restrict 69,94,96,148,203,222,cro → Invio
 CL zoom 250 → Invio
 BC **Display** → Spacefill

Cliccando con il tasto sinistro del mouse su un residuo amminoacidico se ne può leggere la natura sulla *RasMol Command Line*.

La proteina è così apparsa in modalità *wireframe*: questo tipo di rappresentazione consente di visualizzare tutti gli atomi descritti nel file di coordinate (carbonio in grigio, ossigeno in rosso e azoto in bluette) come intersezioni di segmenti che rappresentano i legami chimici esistenti tra gli atomi stessi (Valle et al., 2003).

Gli allievi sono quindi stati esortati a ruotare l'immagine (posizionando il mouse sulla figura e mantenendone il tasto sinistro premuto mentre lo si sposta) e a notare se in essa osservavano "architetture" particolari. Al fine di favorire tale ricerca, sono stati loro suggeriti i comandi per ingrandire la struttura; tuttavia, nemmeno in questo modo gli studenti sono riusciti a distinguere particolari significativi.

Si è allora deciso di far digitare loro i comandi successivi in modo da cambiare modalità di rappresentazione: è apparsa così evidente la struttura terziaria della proteina GFP (Figura 1), costituita da quattro porzioni ad α elica (in fucsia), da undici foglietti ripiegati β (in giallo) e da venti ripiegamenti β o anse (in bluette).

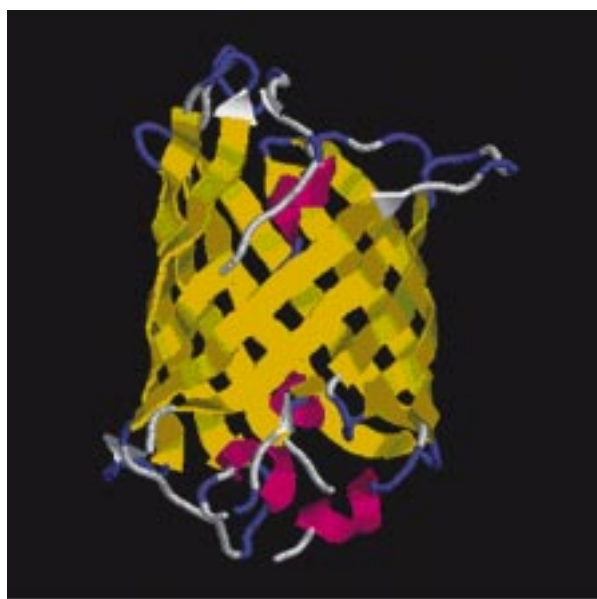


Figura 1 Struttura terziaria di ciascuna subunità proteica.

Per evitare di trasmettere agli studenti concetti errati è stato immediatamente chiarito loro che la figura osservata non era una "fotografia" della realtà, bensì solo un'utile rappresentazione grafica, come pure tutte le immagini che avrebbero esaminato successivamente.

A partire dalla struttura tridimensionale visualizzata, sono quindi state descritte le principali caratteristiche della proteina in esame. La *Green Fluorescent Protein*, costituita da 238 amminoacidi, è stata isolata per la prima volta dalla medusa tropicale *Aequorea victoria* ([http://www.biochemtech.uni-halle.de/...](http://www.biochemtech.uni-halle.de/)). Essa, in realtà, è un dimero funzionale (Figura 2) costituito da due subunità identiche associate tra loro mediante interazioni deboli fra amminoacidi idrofobi e idrofili presenti alla sua superficie (Tsien, 1998).

Ciascuna subunità della proteina presenta una struttura terziaria cilindrica costituita da 11 foglietti ripiegati β , che ne formano le "pareti". Inoltre, mentre tre piccole porzioni ad α elica costituiscono una sorta di "coperchio" o "diagramma" sulle parti terminali di ciascuna struttura cilindrica, la quarta ed ultima porzione (un segmento irregolare ad α elica visibile solo parzialmente nella Figura 1) si snoda lungo l'asse longitudinale di ciascun cilindro

(Tsien, 1998). Nel centro geometrico di quest'ultimo è localizzato il cromoforo, che deriva dalla ciclizzazione di tre amminoacidi appartenenti proprio alla quarta porzione ad α elica. Grazie alla presenza di un elevato numero di legami a idrogeno tra i foglietti ripiegati β , ogni dominio del dimero risulta estremamente stabile e compatto, evitando, in tal modo, l'accesso al cromoforo da parte di ligandi diffusibili potenzialmente nocivi. Nel suo complesso, questo tipo di ripiegamento (*beta-barrel*: barile beta), in cui i foglietti β si dispongono alla superficie e le α eliche all'interno della struttura, rappresenta una nuova classe di pro-



Figura 2 Struttura quaternaria della proteina GFP.

teine definite *beta-can* ([http://dwb.unl.edu/...](http://dwb.unl.edu/)).

Visto il ruolo fondamentale che i legami a idrogeno svolgono nella formazione delle strutture secondarie, si è ritenuto utile visualizzarli in una fase successiva. Al fine di poter osservare più chiaramente questi stessi legami (161), è stata cambiata la tipologia di rappresentazione (*Backbone*: "colonna vertebrale"), in modo tale che la proteina venisse raffigurata mediante una linea spezzata unente i carboni α della catena principale (Figura 3) e i legami a idrogeno apparissero come linee "puntinate".

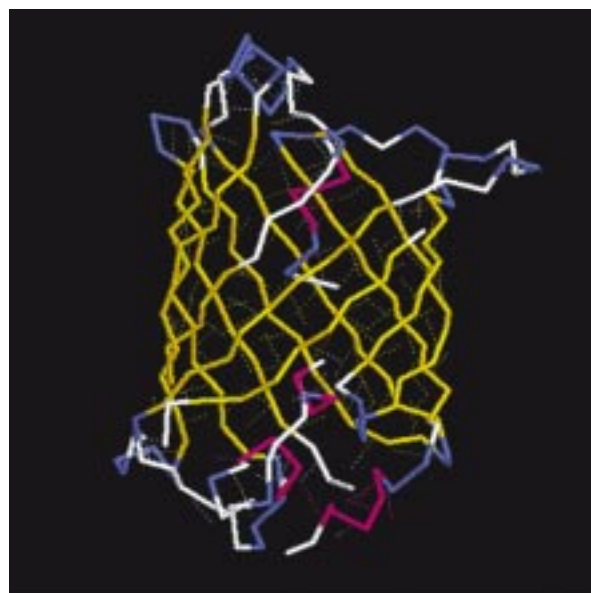


Figura 3 Legami a idrogeno stabilizzanti il ripiegamento a barile di ciascun dominio del dimero.

A questo punto sono stati indicati alla classe i comandi per evidenziare, all'interno della struttura a beta barile, il cromoforo (*cro*) (Figura 4).

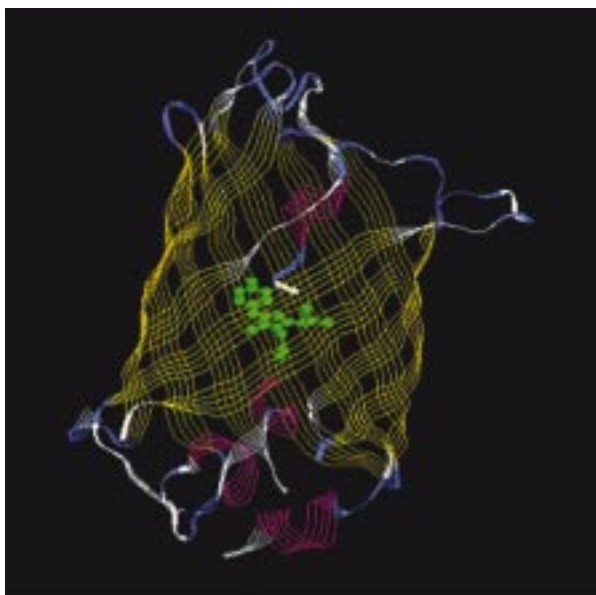


Figura 4 Posizione centrale del cromoforo all'interno della struttura a barile.

Anche in relazione a questo, dopo averne dato la definizione generale ("croma" = colore, "fero" = porto), sono state descritte le caratteristiche principali. Esso è, senza dubbio, la porzione più delicata del complesso proteico ed è presumibilmente per questo motivo che si trova al centro di ciascuna subunità. Come già accennato, è formato da tre residui amminoacidici (65, 66, 67) interni alla sequenza e corrispondenti, rispettivamente, a una serina, a una tirosina e a una glicina (Ser-Tyr-Gly).

Il cromoforo funzionale si genera, attraverso un meccanismo sequenziale di ciclizzazione post-trascrizionale, in un processo autocatalitico nel quale, cioè, non è richiesto l'intervento né di cofattori, né di componenti enzimatiche. In tale processo, fondamentale è la presenza della glicina che non può essere sostituita da nessun altro amminoacido. La reazione di formazione del cromoforo è termosensibile: la resa diminuisce per temperature superiori ai 30 °C.

Tuttavia, una volta formata completamente, la proteina GFP è estremamente resistente ai processi di denaturazione sia fisici che chimici ([http://dwb.unl.edu/...](http://dwb.unl.edu/)).

Di seguito, è stata presa in considerazione la distribuzione degli amminoacidi polari e apolari della proteina: questi, infatti, risultano diversamente distribuiti nella struttura terziaria influenzando, in tal modo, sulla solubilità della proteina stessa.

Dopo aver digitato i comandi opportuni e aver ruotato la proteina (Figura 5), è apparsa evidente la maggiore distribuzione dei residui amminoacidici polari (in colore rosso) sulla superficie esterna del beta barile e, conseguentemente, la maggiore presenza dei residui idrofobici (in colore bianco) all'interno della struttura proteica.

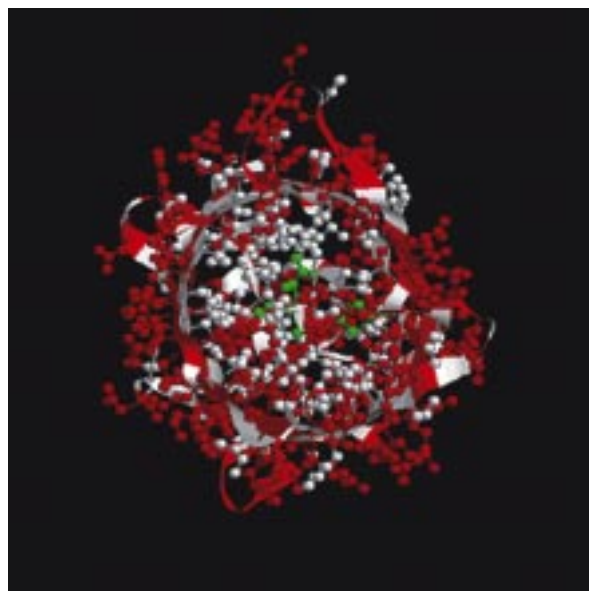


Figura 5 Distribuzione degli amminoacidi idrofilici (rosso) e idrofobici (bianco).

Si è così potuto spiegare agli studenti come questa caratteristica non sia casuale, ma diretta conseguenza del ripiegamento della catena polipeptidica della GFP, guidato dalla forte tendenza dei residui idrofobici ad escludere l'acqua (componente principale del citoplasma). In questo modo, mentre le catene polari superficiali, interagendo con il citoplasma, promuovono la solubilizzazione della proteina, i residui non polari, protetti il più possibile all'interno della struttura a barile, conferiscono a questa un'elevata stabilità termodinamica. A conferma di quanto espresso, è stata nuovamente cambiata la tipologia di rappresentazione (*Spacefill*): questa, raffigurando gli atomi costituenti la proteina con "sfere piene" di raggio equivalente ai raggi atomici di Van der Waals, consente una facile definizione della superficie e del volume occupato dalla biomolecola (Figura 6).

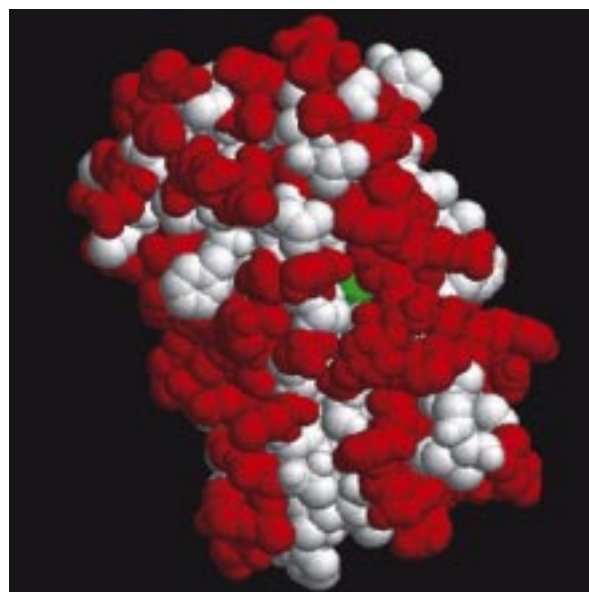


Figura 6 Subunità proteica in formato *Spacefill*: è evidente l'estrema compattezza della struttura terziaria.

A tale proposito, la classe è stata invitata a memorizzare quanto appena esposto e la struttura visualizzata poiché, nelle successive lezioni, inerenti le tecniche cromatografiche, il concetto sarebbe stato ripreso e approfondito (sarà illustrato e discusso nel prossimo contributo, Parte III).

Si è allora deciso di tornare ad osservare più da vicino il cromoforo, visualizzandolo mediante la colorazione CPK che consente di distinguere gli atomi in base alla loro specie chimica (Figure 7 e 8).

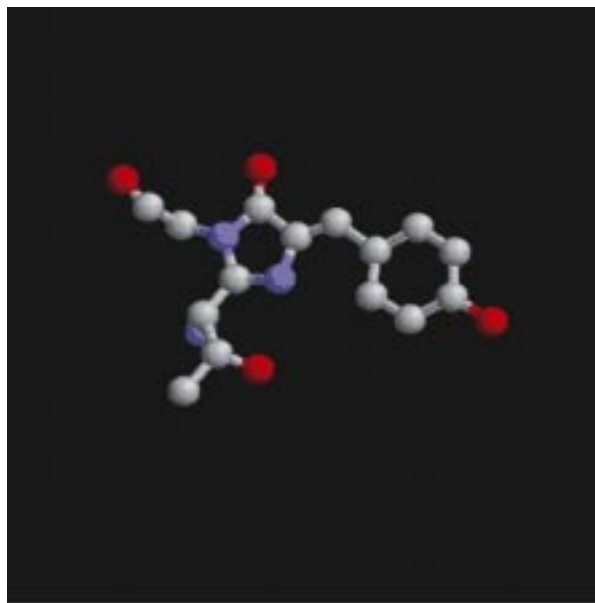


Figura 7 Cromoforo in formato CPK: è evidente la disposizione complanare dei due anelli.



Figura 8 Cromoforo in formato Sticks: residui aminoacidici costituenti ciclizzati

Agli studenti è stata fatta notare la presenza in esso di due anelli complanari a cinque e sei atomi di carbonio, struttura molecolare sulla quale sono stati invitati a ragionare.

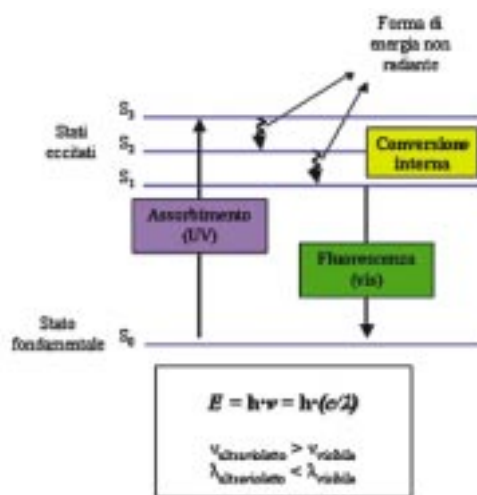
Utilizzando le loro conoscenze pregresse di chimica generale e di chimica organica si è giunti a stabilire che:

- 1) i due anelli risultano effettivamente giacenti sul medesimo piano, data l'ibridazione sp^2 degli atomi di carbonio e azoto costituenti,
- 2) l'atomo di carbonio intermedio tra i due anelli, essendo anch'esso ibridizzato sp^2 , deve presentare un doppio legame.

Maggio - Giugno 2006

Ne risulta così una struttura altamente insatura a causa dell'elevato numero di doppi legami coniugati. Questi, oltre a conferire una considerevole stabilità al cromoforo, risultano anche i principali responsabili delle sue proprietà fluorescenti.

A tale proposito, la domanda di una studentessa ha dato l'opportunità di spiegare alla classe il processo che è alla base della fluorescenza. Così, disegnando alla lavagna lo schema riportato in Figura 9, questo fenomeno è stato brevemente illustrato.



ν = frequenza di un'onda
 λ = lunghezza d'onda
 E = energia di un'onda (radiazione) di frequenza ν
 h = costante di Planck (pari a $6,626 \cdot 10^{-34}$ Js)
 v = velocità di propagazione di un'onda, $v = \lambda \nu$
 [nel caso della radiazione elettromagnetica, $v = c$ (velocità della luce)]

Figura 9 Schematizzazione del processo radiativo di fluorescenza.

Il processo di fluorescenza consiste nell'emissione spontanea di radiazione elettromagnetica da parte di una molecola che si trova in uno stato elettronicamente eccitato. Il nome del fenomeno deriva dalla fluorite, minerale costituito da ioni calcio e ioni fluoruro (CaF_2) che, in alcuni casi, può manifestare appunto il fenomeno della fluorescenza. Nella maggior parte delle molecole, l'assorbimento di una radiazione di opportuna energia provoca una transizione di un elettrone dallo stato fondamentale ad uno stato eccitato. Immediatamente dopo il salto energetico, ha luogo una serie di eventi, estremamente rapidi e in competizione tra loro, volti a rilasciare l'energia assorbita dalle molecole. Il fenomeno più comune che si realizza in queste circostanze è il così detto *decadimento non radiativo* in cui l'energia eccedente si trasferisce dalle molecole eccitate alle altre molecole circostanti sotto forma di energia di vibrazione, rotazione e traslazione. L'energia di eccitazione può essere rilasciata anche sotto forma di agitazione termica dell'ambiente, ossia come calore, e allora si parla di *degradazione termica*. Oppure, le molecole possono liberarsi dell'energia acquisita sotto forma di un fotone tramite il

⁶ Al riguardo è stato puntualizzato agli studenti che l'aggettivo *radiativo* deriva dal termine radiazione e, pertanto, non va confuso con *radioattivo*.

processo di *decadimento radiativo*, di cui la fluorescenza è un esempio.

In ultimo, le molecole eccitate possono sfruttare l'energia eccedente per prendere parte ad una *reazione chimica*.

Tra questi diversi processi alla fine si realizzerà quello più rapido in ordine di tempo, ossia quello cineticamente favorito e/o con maggiore probabilità relativa di verificarsi. Così, ad esempio, è molto più probabile che la perdita di energia di eccitazione si realizzi come dispersione di calore nell'ambiente in seguito alla collisione tra molecole (trasferimento di energia che si attua in tempi dell'ordine di 10^{-13} s), piuttosto che attraverso l'emissione per fluorescenza (processo a vita media di circa 10^{-8} s). Tuttavia, in alcune condizioni specifiche, quali la presenza di doppi legami coniugati e, quindi, di delocalizzazione elettronica e di "anelli rigidi" a livello della struttura della molecola eccitata, il processo di fluorescenza può essere favorito rispetto agli altri fenomeni e quindi realizzarsi.

Questo spiega il perché non tutte le molecole eccitate danno luogo a fluorescenza o fosforescenza, processi, come già detto, di decadimento radiativo. Per quanto riguarda la fluorescenza, l'assorbimento iniziale innalza l'energia della molecola dallo stato fondamentale S_0 ad uno stato elettronico eccitato, ad esempio S_1 (Figura 9). Immediatamente dopo il salto energetico, ha luogo la così detta *conversione interna*: indipendentemente da quale livello energetico eccitato sia stato raggiunto, la molecola subisce una rapida e parziale perdita di energia, emessa in forma non radiante come energia termica dell'intorno, in seguito agli urti con le molecole circostanti. In questo modo, le molecole eccitate raggiungono rapidamente il più basso stato eccitato S_1 , dal quale tornano poi al livello energetico fondamentale mediante l'emissione di un quanto di luce, ossia rilasciando l'eccesso di energia residua in forma di radiazione. La radiazione "fluorescente" così ottenuta presenta una frequenza ν , e quindi un'energia, inferiore a quella della radiazione eccitante assorbita, poiché la transizione finale, dal più basso livello eccitato S_1 al livello elettronico fondamentale S_0 , ha luogo solo dopo che una certa quantità di energia assorbita si è "scaricata" in altro modo. La lunghezza d'onda λ della radiazione emessa è tanto minore quanto maggiore è il salto energetico verificatosi: così l'onda elettromagnetica rilasciata sarà visibile come luce blu fluorescente se il salto energetico è elevato, come luce verde o rossa fluorescente se il salto è ridotto. Ciò spiega anche perché per l'eccitazione sia necessaria la radiazione ultravioletta che possiede una λ inferiore a quella della luce visibile. In generale, le molecole che danno fluorescenza presentano, a livello della loro struttura molecolare, anelli rigidi e complanari e un numero rilevante di doppi legami coniugati, con conseguente delocalizzazione elettronica estesa. Questo infatti è ciò che si riscontra anche nella struttura molecolare del cromoforo della proteina verde fluorescente, come appare evidente nelle Figure 7 e 8.

Nel caso della fluorescenza, la radiazione emessa spontaneamente cessa subito dopo che si è estinta quella responsabile dell'eccitazione. Al contrario, nella fosforescenza l'emissione spontanea può persistere a lungo (anche ore, ma il più delle volte per secondi o frazioni di secondo) dopo la fine dello stimolo. Questa differenza fa supporre che, mentre nella fluorescenza si verifica una conversione immediata dell'energia assorbita in energia riemessa, la fosforescenza comporti l'accumulo dell'energia di eccitazione in una sorta di "serbatoio" dal quale poi

essa sfuggirebbe lentamente. Tuttavia, poiché la spiegazione del processo di fosforescenza richiede conoscenze chimico-fisiche molto approfondite e complesse ed esula dagli intenti specifici di questa trattazione, l'argomento in questa sede non sarà approfondito oltre quanto detto.

Ritornando all'esercitazione di bioinformatica, da ultimo sono stati fatti visualizzare alla classe alcuni dei principali amminoacidi polari che, interagendo direttamente con il cromoforo, contribuiscono a determinarne l'alta stabilità e, probabilmente, parte delle proprietà fluorescenti (Figura 10).

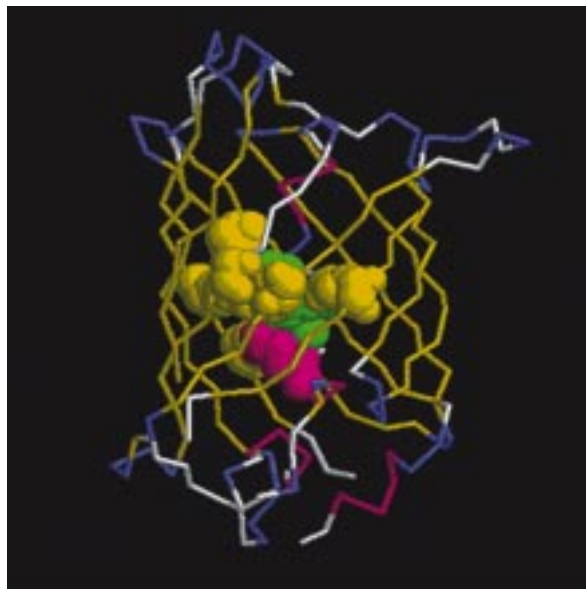


Figura 10 Posizione degli amminoacidi polari interagenti con il cromoforo (Spacefill) nella struttura terziaria della subunità proteica (Backbone).

Tra questi particolarmente importanti risultano le glutamine 69 e 94, l'arginina 96, l'istidina 148, la treonina 203 e il glutamato 222, ciascuno dei quali interagisce direttamente, attraverso legami a idrogeno, con il cromoforo (Figura 11) (Tsien, 1998).

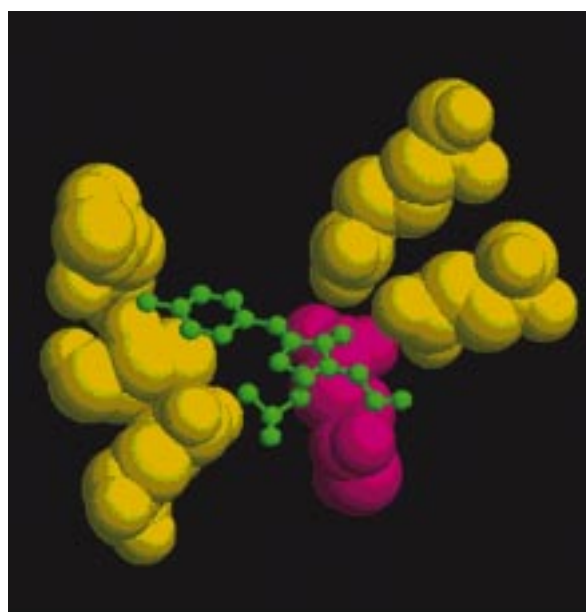


Figura 11 Principali amminoacidi polari stabilizzanti il cromoforo.

I primi tre amminoacidi, inoltre, sembra che partecipino attivamente alla stabilizzazione e alla delocalizzazione della carica sul cromoforo stesso. In questo articolo si riporta anche la procedura relativa alla visualizzazione tridimensionale dell'enzima di restrizione EcoRI, noto agli studenti come uno degli strumenti principali della tecnologia del DNA ricombinante e da loro utilizzato per digerire il DNA plasmidico durante l'esercitazione del *DNA Fingerprinting* presso il LLC⁷.

Come momento di consolidamento delle conoscenze apprese e di verifica, ai ragazzi è stato infatti assegnato il compito di visualizzare tale enzima fuori dall'ambito scolastico, fornendo loro quale strumento di lavoro la dispensa relativa (*SCHEDA 2*), recante la successione dei comandi da digitare, e un CD-ROM sul quale era stato in precedenza memorizzato tutto il "materiale" didattico necessario allo scopo.

⁷ Illustrato nel prossimo contributo (Parte III).

SCHEDA 2 - Visualizzazione tridimensionale dell'enzima di restrizione EcoRI (*Escherichia coli* restriction enzyme I) mediante il programma RasMol 2.7.2

EcoRI è un enzima di restrizione (dimero funzionale) isolato dal batterio *Escherichia coli*. Esso è in grado di legarsi alla doppia elica di DNA sulla quale riesce a riconoscere una specifica sequenza consenso (sequenza di restrizione) lunga 6 pb. L'enzima, a tutti gli effetti un'endonucleasi, taglia la doppia elica di DNA all'interno di tale sequenza (**GAATTC**): più precisamente tra l'adenina e la guanina, sia sul filamento 3' → 5' che sul filamento complementare 5' → 3'. Per la caratteristica modalità di taglio vengono prodotte due estremità libere dette *sticky ends* o estremità appiccicose.

Il nostro scopo, nella presente esercitazione, è quello di visualizzare la proteina (presente nel file *PDB* come monomero), la sequenza di restrizione sul DNA (presente nel file come singolo filamento) e il dominio di legame (sito attivo) di EcoRI al DNA.

Apriamo il programma *raswin* cliccando sull'icona relativa.

Utilizzando la barra dei comandi (BC) del programma di visualizzazione apriamo il file *PDB*, relativo ai dati cristallografici dell'enzima, premendo in successione:

File → Open → (EsercitazBioInf) → IERI → Apri.

[La proteina viene visualizzata in modalità wireframe (Display) e CPK (Colours)].

Innanzitutto, cerchiamo di riconoscere il DNA, la porzione proteica e la struttura secondaria di quest'ultima.

A tal fine digitiamo nella *RasMol Command Line* (CL), che si apre insieme a *raswin*, i seguenti comandi:

CL zoom 150 → Invio
BC **Colours** → Structure
BC **Display** → Cartoons

[CL structure → Invio]

Si possono riconoscere distintamente un singolo filamento di DNA legato a una subunità dell'enzima. Questa presenta 11 α-eliche, 16 β-foglietti e 25 loop (originati dalla presenza di specifici legami a idrogeno (192) tra porzioni contigue della catena amminoacidica ove questa è priva di una specifica struttura secondaria).

Il secondo filamento di DNA e la seconda subunità dell'enzima non sono visualizzabili

BC **Display** → Sticks
CL select backbone → Invio
BC **Display** → Ribbons
BC **Colours** → Monochrome

Vengono evidenziate come "fettucce" la catena carboniosa della proteina e lo scheletro del filamento di DNA. Rimangono visibili i residui amminoacidici della proteina e le basi azotate del DNA.

Ora mettiamo in evidenza la sequenza di restrizione (GAATTC) presente sul frammento di DNA e riconosciuta dal sito attivo dell'enzima EcoRI.

(Le informazioni relative si ottengono dalla lettura del file *PDB*).

Cliccando con il tasto sinistro del mouse su una base azotata del DNA se ne può leggere la natura sulla RasMol Command Line.

CL select *B → Invio
CL select G5 → Invio
CL colour green → Invio
CL select A6,A7 → Invio
CL colour red → Invio
CL select T8,T9 → Invio
CL colour yellow → Invio
CL select C10 → Invio
CL colour violet → Invio

*B = filamento di DNA
G = guanina
A = adenina
T = timina
C = citosina

Infine, mettiamo in evidenza la sequenza amminoacidica del sito attivo dell'enzima EcoRI attraverso cui questo riconosce la sequenza di restrizione presente sul frammento di DNA.

(Anche in questo caso le informazioni relative agli amminoacidi si ottengono dalla lettura del *file PDB*).

Cliccando con il tasto sinistro del mouse su un residuo amminacidico se ne può leggere la natura sulla *RasMol Command Line*

CL select *A → Invio
 CL select 115,137,138,140,141,142,144,145,200,203,301 → Invio
 CL colour magenta → Invio

*A = proteina
 115,137,ecc. = amminoacidi

CL restrict 115,137,138,140,141,142,144,145,200,203,301,*B → Invio
 BC **Display** → Ball and stick

Restringo la visualizzazione al filamento di DNA ed agli amminoacidi del sito attivo.

CL select *B → Invio
 BC **Display** → Sticks
 BC **Display** → Spacefill

Viene evidenziata l'interazione diretta tra residui amminoacidici del sito attivo di EcoRI e lo scheletro del filamento di DNA.

Riflessioni didattiche

Nella sua interezza, il progetto didattico presentato in questo articolo ha consentito di applicare nozioni di chimica studiate in precedenza e di introdurre di nuove, così da costruire una "rete di concetti".

In particolare, il percorso qui descritto consente di realizzare importanti collegamenti con la chimica delle proteine. A tale proposito si vedano il concetto di radicale idrofobico e idrofilico e l'importanza del mantenimento di condizioni d'ambiente costanti, le sole che permettono la conservazione della struttura tridimensionale della proteina.

Allo stesso modo, la visualizzazione tridimensionale mediante il programma *RasMol* della proteina GFP ha consentito di verificare concretamente quanto sia fondamentale conoscere la teoria del legame chimico e ciò che ne consegue al fine di apprezzare con piena consapevolezza ciò che in genere viene solamente descritto.

Ringraziamenti

Si desidera ringraziare il Prof. Gabriele Hakim, docente del Dipartimento di Biochimica dell'Università di Bologna, per la grande disponibilità dimostrata nel fornire indicazioni e suggerimenti riguardanti alcune tecniche utilizzate nel percorso didattico attuato.

Si desidera altresì ringraziare in modo particolare il Prof. Rinaldo Cervellati, docente del Dipartimento di Chimica dell'Università di Bologna, e la Prof.ssa Vittoria Stagni, docente di Scienze presso il Liceo Scientifico 'A. Righi' di Bologna, per il loro insostituibile apporto alla realizzazione del progetto formativo e del presente articolo.

Bibliografia e opere consultate

- Bertolini P.: *Introduzione al convegno*. Encyclopaideia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 7-14.
- Cerruti L.: *Bella e potente*. La chimica del Novecento fra scienza e società. 2003. Editori riuniti, Roma.
- Cervellati R., Perugini D.: *Guida alla didattica della chimica nella Scuola Secondaria Superiore*. 1987, Zanichelli, Bologna.
- Dallari M.: *Identità personale e politica dell'insegnante*. Encyclopaideia – rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 21-34.
- Mortari L.: *Per una presenza responsabile*. Encyclopaideia –

rivista di fenomenologia, pedagogia, formazione. CLUEB, Bologna. 2002; 12: 49-56.

· Pellerey M.: *Progettazione didattica*. S.E.I., Torino. 1979: 171, 181-182.

· Sternberg R.J.: *Stili di pensiero*. 1998, Centro studi Erickson, Trento.

· Tartarotti L.: *La programmazione didattica*. Giunti-Lisciani, Firenze.

· Tsien R.Y.: *The Green Fluorescent Protein*. *Ann. Rev. Biochem.*, 1998; 67: 509-544.

· Valle G., Citterich M.H., Attimonelli M., Pesole G.: *Introduzione alla bioinformatica*. 2003, Zanichelli, Bologna.

· Atkins P.W.: *Chimica Fisica*. 3a Edizione, 1997, Zanichelli, Bologna.

· Brady J.E., Holm J.R.: *Fondamenti di chimica*. 1985, Zanichelli, Bologna.

· Campbell N.A., Mitchell L.G., Reece J.B.: *Immagini della biologia*. 2000, Zanichelli, Bologna.

· Chang R.: *Chimica Fisica*. 2° volume, 2003, Zanichelli, Bologna.

· *La nuova enciclopedia delle scienze Garzanti*. 3a Edizione, 1991, Garzanti, Milano.

· *Le Tavole M A F B I C*. 1a Edizione, 1989, Zanichelli, Bologna.

· Moore W.J.: *Chimica Fisica*. 1990, Piccin, Padova.

· Russell P.J.: *Genetica*. 2a Edizione, 1996, EdiSES, Napoli.

· Solomons T.W.G.: *Chimica organica*. 2a Edizione, 1988, Zanichelli, Bologna.

· Stryer L.: *Biochimica*. 4a Edizione, 1996, Zanichelli, Bologna.

· Wilson K., Walker J.: *Metodologia Biochimica*. 2001, Cortina Editore.

· Zumdahl S. S.: *Chimica*. 1993, Zanichelli, Bologna.

Siti internet consultati

- <http://dwb.unl.edu/Teacher/NSF/C08/C08Links/pps99.cryst.bbk.ac.uk/projects/gmocz/gfp.htm>
- <http://www.bio-rad.com>
- <http://www.biochemtech.uni-halle.de/PPS2/projects/jonda/index.htm>
- http://www.bernstein-plus-sons.com/software/RasMol_2.7.2/README.html
- <http://www.chromatography.amershambiosciences.com>
- <http://www.llc.it>
- <http://www.pdb.bnl.gov>
- <http://www.rcsb.org/pdb>

Giochi e Olimpiadi della Chimica 2006

MARIO ANASTASIA*

Giochi della Chimica Edizione 2006

I Giochi della Chimica, giunti alla loro ventesima edizione si sono conclusi a Frascati, nella splendida cornice del centro Giovanni XXIII, gestito con vivissima cordialità da Padre Antonio e dai suoi collaboratori, signora Stella e signor Cesare. I giochi si sono quindi svolti nei giorni 26 e 27 maggio.

Studenti e Docenti sono giunti al centro il 25 maggio pomeriggio e hanno trovato ad accoglierli il pulmino del Centro, offerto dalla Società "Gibertini Elettronica" che da circa dieci anni ha mantenuto la tradizione di permettere un comodo collegamento tra la stazione ferroviaria di Frascati e il Centro sede della competizione. Così ha evitato ai partecipanti la ricerca affannosa di un taxi o una faticosa camminata con valigie.

Poiché ricorreva il ventennale dello svolgimento delle finali nazionali presso il Centro, i gestori della struttura hanno offerto una grande e squisita torta e hanno apparecchiato i tavoli per una festosa cena all'aperto, tra il verde che circonda la grande sala ristorante del centro.

Il Presidente della Società Chimica Italiana Professor Franco De Angelis ha voluto essere presente, cenando con tutti gli studenti partecipanti e vivacizzando, con la sua presenza, la cerimonia della premiazione.

Alla selezione nazionale hanno partecipato circa ottanta studenti e trenta tra docenti accompagnatori e rappresentanti del comitato organizzatore. Il comitato scientifico e organizzatore era composto dal sottoscritto, dal Collega Prof Pietro Allevi, da Raffaele Colombo, medaglia d'argento alle Olimpiadi di Kiel (2004) e dalla dott.ssa Eti Alessandra Femia, dottoranda in Biochimica.

Raffaele Colombo era già stato cooptato nel comitato scientifico quale consulente per individuare non solo eventuali errori di stampa nei quesiti regionali e nazionali, ma soprattutto per dare un giudizio, dalla parte degli allievi, sulla difficoltà dei test. Anche la dott.ssa Femia è stata ingaggiata per avere un supporto giovane all'organizzazione. Ella ha garantito che, per tutto l'anno, le procedure venissero seguite con rigore, collaborando sia alla produzione e alla correzione dei quesiti, sia al buon andamento di tutta l'organizzazione. Come già segnalato nelle relazioni degli anni precedenti, la collaborazione da parte dei

* Dipartimento di Biochimica e Biochimica Medica Via Saldini 50

colleghi delle varie regioni è praticamente scomparsa, lasciando il sottoscritto nella necessità di attivare giovani laureati che fanno il possibile per mantenere i quesiti aderenti ai programmi ministeriali, così da far fronte ad ogni lamentela di chi giudica troppo facili o troppo difficili i quesiti stessi.

Quest'anno i partecipanti sono stati selezionati tra circa 25.000 studenti delle scuole medie superiori, così suddivisi: 5.000 del biennio ITIS, 8.000 del liceo tecnologico e del triennio ITIS per chimici, 12.000 del triennio non chimico e delle altre scuole con ridotto insegnamento della chimica.

I partecipanti, come noto a molti, sono distinti in tre classi: A, B e C che corrispondono rispettivamente ai trienni tecnici non chimici (A), ai trienni di istituti non chimici e ai licei (B) e ai bienni di indirizzo chimico (C). Tutti i partecipanti alla selezione nazionale hanno dovuto rispondere a 60 quesiti a risposta suggerita in due ore e trenta minuti. Gli studenti intervistati, dopo la prova, dai membri del comitato organizzatore hanno dichiarato che i quesiti erano abordabili come del resto dimostra anche il fatto che, specie i ragazzi della classe B, hanno raggiunto punteggi molto alti (vedi graduatoria: <http://users.unimi.it/giochim/index.htm>).

Come sempre, si è tentato di adattare i quesiti, per difficoltà e contenuti, alle tre categorie proponendo quindi argomenti di crescente difficoltà.

Per giungere alle selezioni nazionali i partecipanti hanno dovuto superare tre fasi.

Una prima selezione è effettuata a livello dei singoli Istituti ed è organizzata da molti volenterosi insegnanti di chimica che propongono autonomamente quesiti inerenti al programma svolto. Dopo questa prima selezione, i candidati scelti, tre per istituto, partecipano ad una selezione regionale organizzata in modo dal responsabile nazionale dei giochi che coordina i responsabili regionali e fa pervenire loro i testi stampati di 60 quesiti a risposta multipla, differenziati per le tre classi A, B e C. Tali quesiti restano segreti sino al giorno della prova che si svolge alla stessa ora in tutta Italia. I responsabili regionali usano solitamente aule universitarie e requisiscono interi settori didattici per ospitare i partecipanti. Perciò la prova si svolge per tradizione al sabato (quest'anno si è svolta il 6 maggio). E' d'obbligo il sabato successivo, procedere localmente alla premiazione dei tre vincitori per le tre categorie: A, B e C. Si svolgono così in Italia 20 cerimonie, una per ciascuna regione, in cui i primi classificati ricevono premi con alto significato simbolico più che venale. Il miglior premio resta infatti la soddisfazione di aver dimostrato di conoscere tante belle cose sulla Chimica e di essere pronti ad accedere a studi più approfonditi, così

da poter dare un contributo al miglioramento della vita di tutti.

Anche quest'anno la correzione dei quesiti è stata effettuata in modo automatico, utilizzando il programma donato alcuni anni fa dal prof. Luciano Casaccia dell'ITIS Sobrero di Casale. Il programma permette la correzione, previa introduzione di una parola chiave che il coordinatore nazionale invia non appena termina la prova regionale. Ciascuna regione ottiene così, inseriti i dati, una graduatoria in modo immediato.

I responsabili di ciascuna regione mandano quindi la classifica finale al responsabile nazionale che, sempre grazie al "programma Casaccia" ne sintetizza il risultato globale per una generale valutazione della prova a livello nazionale.

La graduatoria è poi inviata al Ministero e pubblicata sui vari siti: quello Ministeriale, della SCI e del Dipartimento di Chimica, Biochimica e Biotecnologia per le Medicina, sopra riportato.

Inoltre la graduatoria insieme a questa relazione sarà anche pubblicata su "La Chimica nella Scuola" edito dalla SCI.

Per la selezione nazionale ciascuna regione ha inviato da un minimo di tre a un massimo di cinque studenti: uno per ciascuna classe più alcuni in soprannumero, assegnati sulla base dei risultati conseguiti l'anno precedente.

Nella prima prova, svoltasi il 26 maggio, sono stati individuati i primi tre classificati per le categorie A, B e C. Ad essi è stato assegnato un diploma di medaglia d'oro, ai secondi classificati è stato invece assegnato un diploma di medaglia d'argento e ai terzi un diploma di medaglia di bronzo. A tutti è stato donato un delfino d'oro della Pomellato, come è ormai tradizione della SCI, che trova nel Delfino il simbolo dell'Italia e del Mediterraneo, da quando un delfino di peluche è diventato il portafortuna della squadra Italiana alle Olimpiadi.

Quest'anno i vincitori hanno avuto l'onore di ricevere le medaglie d'oro direttamente dal Presidente della SCI, quelle d'argento sono invece state consegnate dalla Professoressa Rosamaria Gallo, una docente veterana dei giochi e responsabile della Delegazione Campana, quelle di bronzo sono state consegnate dal comitato organizzatore.

Il Presidente della SCI ha colto l'occasione per rivolgere un caloroso saluto ai partecipanti, ringraziando tutti per il loro contributo al miglioramento dell'immagine della chimica nella società. Egli ha inoltre donato ai migliori classificati un distintivo d'argento della SCI. Ai loro insegnanti allenatori (Proff. B. Vinjau, C. Lazzaroni, F. Allegretta e B. Sensini) il presidente ha invece regalato un distintivo d'oro e l'iscrizione gratuita alla SCI per il 2007.

Alla prof.ssa Rosa Maria Gallo è stato consegnato un omaggio della Bracco e un distintivo d'oro della SCI, in considerazione del valido contributo dato alle tavole rotonde sui temi di chimica oggetto dei quesiti. Tali discussioni si svolgono ormai per tradizione prima della correzione e dell'ammissione dei quesiti alla valutazione.

Gli studenti premiati per la categoria C sono:

Cristiana Fanciullo, con medaglia d'oro: dell'ITIS E. Majorana di Brindisi (allenatore: prof.ssa B. Vinjau)

Andrea Basagni, con medaglia d'argento: dell'ITIS G. Galilei di Bibbiena (AR) (allenatore: prof. N. Chimenti)

Carmine Catania, con medaglia di bronzo: dell'ITIS E.

Majorana di Milazzo (CT) (allenatore: prof.ssa G. Clemente)

Gli studenti premiati per la categoria B sono:

Andrea Carrera, con medaglia d'oro: dell'ITAS Stanga di Cremona (allenatore: prof.ssa C. Lazzarini)

Mauro Conti, con medaglia d'oro a pari merito: dell'LSC Donatelli di Terni (allenatore: prof.ssa B. Sensini)

Nicola Fois, con medaglia d'argento: dell'ITSM Asproni di Iglesias (allenatore: prof.ssa M.R. Zurru)

Stefano Valentini, con medaglia di bronzo: dell'ITIS E. Mattei di Vasto (CH) (allenatore: prof. G. Paganelli)

Gli studenti premiati per la categoria A sono:

Aldo Salvemini con medaglia d'oro: dell'ITIS G. Ferraris di Molfetta (BA) (allenatore: prof. F. Allegretta)

Micael Cavina, con medaglia d'argento: dell'ITIP L. Bucci di Faenza (allenatore: prof.ssa M.L. Della Loggia)

Mauro Mantegazza, con medaglia di bronzo: dell'ITIS G. Natta di Bergamo (allenatore: prof. S. Aloisi)

In occasione del ventennale dei Giochi della Chimica, il Comitato Organizzatore ha voluto istituire un Premio da assegnare ai migliori tre classificati della regione risultata prima nella competizione regionale. Poiché la regione che nel 2006 meglio ha figurato nella competizione regionale è risultata la Puglia, il premio è stato intitolato alla memoria di un Professore Pugliese, il Professor Mario Rolla nato a Taranto, famoso Chimico Fisico Italiano e Rettore dell'Università di Pavia, e di suo Figlio Franco Rolla, Ricercatore del CNR, mancato prematuramente al consesso chimico. Il premio, consistente in una serie di libri universitari di Chimica Organica, di Chimica generale e di Chimica Biologica, offerti dalla casa Editrice EDISES di Napoli, è stato assegnato ai tre giovani pugliesi:

Cristiana Fanciullo dell'ITIS E. Majorana di Brindisi

Aldo Salvemini dell'ITIS G. Ferraris di Molfetta (BA)

Tommaso Sammarco dell'ITAS Principessa M. Pia di Taranto

Il coordinatore nazionale Prof. Mario Anastasia ha anche avuto il triste compito di annunciare la tragica scomparsa, in seguito a un incidente stradale, di uno dei giovani atleti che avevano partecipato alle Olimpiadi di Atene, il giovane Matteo Battisti, del Trentino Alto Adige.

In onore di Matteo, l'assemblea commossa ha osservato un minuto di silenzio.

Quindi la cerimonia ha ripreso e si è conclusa con il ricordo di tutte le medaglie conquistate nei venti anni di partecipazione alle Olimpiadi (7 d'oro, 17 d'argento e 33 di bronzo) e un breve ringraziamento del coordinatore nazionale a tutti coloro, studenti, docenti, organizzazioni e società, che negli anni si sono prodigati per portare avanti questa manifestazione e il buon nome dell'Italia nel mondo.

Il giorno successivo alla cerimonia di premiazione si è svolta la selezione di coloro chiamati a partecipare a Pavia agli allenamenti per le Olimpiadi 2006.

Gli otto potenziali olimpionici sono stati scelti tra i primi 14 classificati della classe C e i primi 12 classificati della classe B in base ad una prova con quesiti aperti.

I ragazzi risultati migliori sono:

Fanciullo Cristiana

Basagni Andrea

Catania Carmine

Ciabatti Ernesto
 Spallato Giorgio
 Grande Vincenzo
 Pollinger Stefan
 Puozzo Edoardo

Tra questi otto, dopo un allenamento di una settimana, saranno scelti i 4 partecipanti alle olimpiadi. La scelta, questa volta è compito del Comitato Organizzatore.

Le classifiche nazionali e regionali sono disponibili sul sito: <http://users.unimi.it/giochim/index.htm>

Negli ultimi anni la competizione olimpica si è fatta più feroce e forse anche meno leale, se si considera che molte nazioni allenano i loro partecipanti per un anno intero, mentre l'Italia seleziona i suoi atleti pochi giorni prima della competizione e li allena per 10 giorni come da regolamento. Tra l'altro, poiché gli esami di stato sono molto prossimi alla competizione olimpica, anticipata da molte nazioni ai primi di luglio, come quest'anno, i ragazzi fanno sempre più fatica a pensare alle olimpiadi e non ai propri esami di maturità. Ci si augura di trovare un modo per gratificare i ragazzi che partecipano alla gara dei Giochi della Chimica e anche i loro docenti che solo per amore della scuola e dei propri allievi, si sacrificano al di fuori del proprio orario di lavoro per incitare e guidare i loro ragazzi nello studio sempre più approfondito della Chimica.

Questa breve relazione sui Giochi della Chimica 2006 non può concludersi senza annotare i ringraziamenti a tutti coloro che hanno in vario modo contribuito alla sua realizzazione. Innanzitutto i giovani studenti che con il loro entusiasmo e il loro sottoporsi spontaneamente ad una prova non richiesta, tengono in piedi tutta l'organizzazione e con questa il buon nome della Chimica. A loro, nostra speranza di non diventare paese da terzo mondo, e ai loro docenti va la riconoscenza di tutta la SCI che vede sempre con maggior timore il ridursi della considerazione della Chimica nei piani di studio delle Scuole Medie Superiori e delle Facoltà Universitarie, quasi si potesse fare a meno di questa disciplina per comprendere a fondo la Natura e le sue manifestazioni.

Un doveroso ringraziamento va al Ministero della Pubblica Istruzione e alla Dottoressa Davoli che con molta cordialità ed efficienza lo rappresenta nel supportare la manifestazione. Infine, ma con pari riconoscenza, ringraziamo la Casa Editrice Piccin che edita e distribuisce in tutte le regioni i fascicoli con i nostri quesiti. La nostra gratitudine va anche alla Società Farmaceutica Bracco che con i suoi doni ha permesso anche quest'anno di premiare tutti i partecipanti, donando ad ognuno di essi una cartelletta e il libro "Diario di Bordo", un suggestivo reportage che documenta una serie di mirabili interventi voluti dalla Bracco per recuperare un'area industriale dismessa del Friuli, trasformandola in un moderno sito produttivo.

Della Gibertini Elettronica si è già detto, ma va aggiunto che anche quest'anno ha donato una bilancia analitica all'Istituto del vincitore della medaglia d'oro della classe C. Non ci resta che ringraziare la SCI, le sue sezioni regionali, con i relativi presidenti e responsabili dei giochi, nonché i collaboratori della sede centrale romana che con silenziosa cooperazione permettono ogni anno di superare la prova.

E adesso il nostro impegno si rivolge agli allenamenti di Pavia per poi volare in Corea!

Maggio - Giugno 2006

Relazione delle Olimpiadi della Chimica 2006

L'undici luglio 2006 si sono concluse le trentottesime Olimpiadi della Chimica, svoltesi a Gyeongsan, Corea del sud, dal 2 all'11 luglio 2006.

La squadra, composta dal sottoscritto, dal Collega Pietro Allevi e dagli studenti: Andrea Basagni (dell'Istituto Galilei di Arezzo), Carmine Catania (dell'ITIS Majorana di Milazzo), Ciabatti Ernesto (Dell'ITI Buzzi di Prato) e Cristiana Fanciullo (dell'ITIs Majorana di Brindisi) ritorna dalla Corea con una medaglia di Bronzo e un po' di dispiacere, solo parzialmente compensato dal risultato della squadra italiana di calcio e dai complimenti ricevuti da tutti i mentor delle nazioni partecipanti alle Olimpiadi, compresi i Francesi.



Sul petto delle divise che i partecipanti hanno indossato per la cerimonia di chiusura e premiazione, costituite da pantaloni blu uguali e da magliette bianche con un fascia azzurra, mancano ora gli scudetti che il sottoscritto era riuscito a trovare, uguali a quelli che i calciatori della nazionale di calcio portano sulle loro magliette. Ciascuno di noi ha regalato il suo scudetto di panno a un collega straniero che lo ha chiesto dopo la partita con la Francia.

Il dispiacere presente nei cuori di ognuno nasce dal fatto che una sola medaglia di bronzo sembra molto poco rispetto alle aspettative di tutti all'atto della partenza. Il sottoscritto, in particolare, dopo le selezioni di Frascati e i risultati della giovane Cristiana Fanciullo, del liceo sperimentale, si era illuso di poter puntare molto in alto, considerando le capacità di studio e di apprendimento della ragazza, già molto ben preparata.

Qualcosa però non è andato per il verso giusto e nelle prove pratiche Cristiana, certamente troppo stanca, per il lungo e intenso studio, e provata dal fatto che la cucina coreana non era di suo gradimento, non ha retto alla dura prova pratica e si è scoraggiata, peraltro al pari degli altri maschietti, qualcuno dei quali si è mostrato anche più bravo nel cedere. A vincere la medaglia è stato così Ernesto Ciabatti che nella competizione nazionale era risultato, senza nulla togliere ai suoi meriti, soprattutto il più combattivo, quello che comunque cercava di dare una risposta, senza avere troppi freni e senza lasciarsi scoraggiare dalla prima lettura dei testi dei problemi che sempre appaiono più duri della realtà. Egli era stato selezionato come quarto, tenendo conto anche di questo aspetto del suo carattere. Se vogliamo registrare l'ordine di arrivo, primo non premiato è stato Basagni, seguito da Cristiana e da Ernesto Catania. In verità il bottino sembra magro se si pensa agli anni in

cui si è tornati con oro, argento e molti bronzi. Anche l'anno scorso c'era stato l'argento oltre al bronzo, ma il sottoscritto aveva attribuito il successo a una fortuna transitoria!

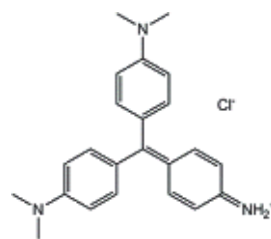
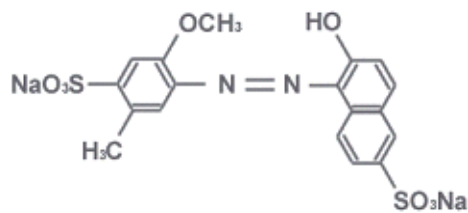
A pensarci bene però, abbiamo scampato un brutto pericolo, quello di tornare a mani vuote, com'è successo a molte altre nazioni europee.

Alla prova di quest'anno hanno partecipato 67 nazioni di tutto il mondo, un numero quasi doppio di quello delle Nazioni che hanno partecipato in Italia nel 1992 (36). Molte delle nazioni nuove: Israele, Giappone, Croazia, Slovenia, etc. sono anche molto motivate e sono molto competitive, sorrette dall'orgoglio del neofita oltre che dal coinvolgimento di docenti nuovi che non hanno ancora dato. Competere con tanti nuovi avversari è sempre più difficile, specie se molti non collaborano e non sentono il problema della chimica nella nostra società come un problema serio e preoccupante.

Il risultato mette in evidenza così molte lacune della nostra preparazione di base. Infatti, ancora una volta, analizzando gli errori compiuti dai nostri, si vede come gli allievi paghino anche per alcune carenze note del nostro insegnamento. Si evidenzia una scarsa preparazione in chimica organica, un modo approssimato di esprimere il risultato degli esperimenti e una scarsa conoscenza delle regole sulle cifre significative, con errori acquisiti e difficilmente eliminabili in pochi giorni di allenamento a Pavia. I ragazzi in 10 giorni di allenamento intensivo a Pavia riescono a imparare molte cose nuove di alto livello, collegate agli esercizi preparatori, ma non riescono a perdere errori di metodo acquisiti e consolidati nel tempo. E spesso fa male al cuore vedere che i ragazzi non sanno dare una risposta corretta a quesiti su chimica di base, solo perché negli anni il livello dell'insegnamento della chimica è calato. Questo però riguarda tutta l'Europa, come mi dicono il collega Spagnolo o quello Romano o altri mentor che vedono con preoccupazione il sopravvento dei cinesi e degli indiani. Nel nostro caso la mente va anche ai decreti con cui si è permesso agli odontotecnici e agli architetti di insegnare Chimica di laboratorio ai periti chimici! Gli errori si pagano! Bisogna correre ai ripari e rivalutare l'insegnamento della chimica nelle scuole, separandola dalle scienze e affidando l'insegnamento ai chimici. Altrimenti il declino vedrà di peggio.

Il tema delle Olimpiadi di quest'anno era: "La Chimica per la Vita, la Chimica per una Vita Migliore". A questo tema si sono riferite le prove pratiche e quelle teoriche. Le prove pratiche erano apparentemente tre, descritte in 12 pagine di testo che richiedevano 7 pagine per le risposte. Dico apparentemente, perché i tre quesiti richiedevano la risposta a molti più sottoproblemi. Insomma c'era da fare un mucchio di lavoro che certo non lasciava tregua. Il lavoro di laboratorio comprendeva come *prima prova*:

la separazione cromatografia, seguita dalla determinazione spettrofotometrica, dei due coloranti in figura, il primo rosso e il secondo blu. I due coloranti erano dati in miscela e bisognava determinarli prima nella miscela, quindi bisognava separarli per cromatografia in fase inversa (su una colonna C-18, fornita assieme a uno spettrofotometro collegato ad un computer). Fatto ciò era necessario determinare le rese della separazione. Allo scopo sono stati predisposti 258 spettrofotometri nuovi, ognuno collegato ad un PC portatile, affidato ad un partecipante.



Scelta la lunghezza d'onda più appropriata, i partecipanti hanno dovuto ripetere le misure di assorbanza per la miscela e per le frazioni dei coloranti purificati.

La *seconda prova* prevedeva una cromatografia a fase inversa con titolazione acido-base delle frazioni di eluizione di una miscela di Acido Acetico Acido Salicilico. Il tutto, questa volta, richiedeva più di 20 titolazioni, compresa quella dell'acqua per valutare l'acidità di fondo, quindi si doveva costruire un grafico per valutare la concentrazione dei due acidi.

Ci si è chiesto, può un ragazzo di liceo fare tutto ciò in così poco tempo? Evidentemente per noi è difficile, quindi si sta esagerando anche dall'altro lato, nel dare prove sempre più dure. Il sottoscritto ha fatto presente il suo pensiero anche ad alcuni componenti dello stirring commity, il comitato internazionale addetto al controllo che siano rispettate le regole olimpiche.

La *terza prova* pratica consisteva nell'identificazione di 7 sette solidi incogniti presenti in una più ampia lista di farmaci comuni o importanti composti in chimica organica. Per fare questo, si suggerivano 6 test d'altri tempi compreso uno di determinazione del pH in acetonitrile che i nostri hanno mancato in modo quasi unanime. Questa prova sembra la più facile, ma i nostri, forse spaventati dalla durezza delle prime prove, non sono riusciti neppure in questa ad acquisire un punteggio pieno.

La *prova teorica* prevedeva ben 11 esercizi, contro i 7-8 degli altri anni.

E qui le cose si complicavano in quanto in molte parti gli esercizi hanno contenuti soprattutto di fisica, non di chimica fisica che invece era assente, e di organica abbastanza difficile, soprattutto per il tempo ridotto che si poteva dedicare a ciascun esercizio. Il testo si componeva di 23 pagine di problemi a 19 pagine di risposte. Il primo esercizio richiedeva il calcolo della costante di Avogadro senza usare la legge dei gas ideali, la costante dei gas e la costante Boltzmann). Si doveva partire da un sistema costituito da gocce sferiche di acqua o disperse in argon allo stato gassoso.

Il secondo e terzo esercizio erano dedicati all'idrogeno e al sistema interstellare. Altri calcoli e altri modelli insoliti per un chimico, almeno scolastico.

Il quarto esercizio riguardava la chimica del DNA. Il quinto riguardava gli equilibri acido base e l'acido solforico. Il sesto era un problema di elettrochimica, il settimo era ancora sull'economia dell'idrogeno, l'ottavo riguardava l'economia degli ossidi di ferro e l'economia dei vari metodi messi a punto per ottenere il metallo per riduzione o per impiegarlo nella produzione delle ceramiche. L'esercizio nove riguardava il processo fotolitografico delle lastre per fotolitografia. Lo studente doveva prima capire i principi su cui si basano i processi fotolitografici e poi considerare le reazioni che in essi si svolgono. L'esercizio N° 10 riguardava la dimostrazione della struttura della *glicirrizina*, un diglicoside presente nella liquirizia. Per questo esercizio, i proponenti hanno pensato a un tempo di soluzione di 30 minuti. Il sottoscritto, che per caso, avendo tenuto un corso sui glicconiugati nella scuola di dottorato, conosceva l'argomento ritiene invece che in meno di due ore nessuna ragionevole mente può assegnare la struttura in base ai dati dell'esercizio. Durante la discussione sui testi il sottoscritto ha anche lottato per far eliminare tale esercizio, affiancato dal mentor argentino, da quello spagnolo e da altri, ma senza successo. I paesi che hanno gli allievi più forti e preparati hanno votato per la conservazione dell'esercizio. Si è anche tentato di farlo alleggerire offrendo maggiori suggerimenti per la risoluzione, niente. I paesi che selezionano l'anno prima i ragazzi e li allenano per un anno sono sempre per la linea dura. Così, nessuno dei nostri ragazzi è arrivato a prendere in considerazione l'esercizio 11, pur essendo già ben preparati sulla delucidazione delle strutture chimiche. Tutti e quattro nella prova finale di Pavia avevano risolto la struttura ricevuta come test. L'ultimo esercizio, il numero 11 prevedeva lo studio dei passaggi biosintetici con cui l'acido scichimico è trasformato in acido corismico attraverso una serie di reazioni enzimatiche a cascata. Insomma c'era di tutto e di più anche per qualche dottorato di scienze chimiche. Ho voluto descrivere le prove per far vedere che la paura del sottoscritto, di restare per la prima volta a bocca asciutta, cosa che è successa ad altre nazioni europee, non era dovuta a pessimismo. E' successo comunque che alcuni dei nostri ragazzi, quelli peraltro su cui si basavano maggiormente le mie speranze, si siano scoraggiati e abbiano sbagliato anche cose che sapevano bene, rifiutandosi di affrontare le parti anche facili della prova. Peraltro, con la prova pratica mancata in buona parte, c'era poco da sperare per noi nella prova teorica. Noi Italiani vinciamo le medaglie proprio con le prove pratiche, potendo contare su ragazzi che in laboratorio ci sono già stati prima dell'allenamento dei 10 giorni concessi dal regolamento olimpico che noi italiani rispettiamo da sempre, convinti che i Giochi e le Olimpiadi debbano servire a diffondere una buona immagine della chimica, più che a vincere le medaglie. Mai infatti abbiamo selezionato ed addestrato ad hoc un gruppo di studenti per le Olimpiadi. Né penso sia opportuno farlo, violando, anche se di nascosto, le regole. Comunque qualche domanda dobbiamo pure porcela. Come fanno le altre nazioni a vincere, nonostante ciò, le medaglie? Certamente alcune, quelle abituate storicamente a dimostrare anche nella chimica di essere le più forti, sovra-allenano i loro ragazzi. Penso a molte nazioni che non cito per dar corpo ai sospetti, e rischiare una squalifica, non ci

si può lamentare dopo la premiazione! I sospetti si sovra-allenano sono però molto condivisi tra i mentor. Non possiamo però non chiederci: i nostri licei sono almeno in grado di fornire ragazzi da sovra-allenare, in qualche mese?

Io credo di no! I ragazzi di cui sopra, a parte Cristiana Fanciullo, sono periti chimici!

E allora, non bisogna pensare che nei nostri licei la Chimica debba essere incrementata, insegnandone di più, dandole più spazio, dividendo ad esempio la chimica dalle scienze e inserendo nei licei i laureati in chimica? Si parla spesso, anche in televisione, di incrementare le scienze in Italia. Ma come si può non permettere ai chimici di insegnare la chimica nei licei, impedendo così di dare una svolta decisiva all'insegnamento di tale materia, che solo in rari casi si avvale di insegnanti che al amano per primi e quindi la inculcano con amore nella mente e dei loro allievi.

Come cambiare le cose? Siamo da tempo pronti a dare una mano ai nostri governanti di ogni colore, nell'interesse della chimica e della nostra nazione.

Altrimenti, assisteremo imperterriti all'avanzata di altri paesi: mi riferisco alla Cina e all'India che appaiono destinate a sostituire, non solo noi, ma anche i nostri cugini Europei con i quali gareggiamo in eccellenza calcistica. Potremmo certo gareggiare anche in chimica se solo si desse dignità agli stipendi degli insegnanti, senza naturalmente pensare agli stipendi dei calciatori.

Questa può apparire una mia visione pessimistica, in realtà non lo è, se si capisce sotto c'è un forte desiderio che qualcosa cambi, prima che sia troppo tardi, prima che i PhD Indiani e cinesi che già affollano le università americane e di tutto il mondo, monopolizzino le riviste scientifiche più prestigiose e ci battano in tutti i campi, fornendo loro la chimica per una vita migliore.

Ed ora, ancora i buoni propositi su come organizzare le prossime prove italiane, trovando qualche meccanismo per avere ragazzi più pronti e preparati o meglio un maggior numero di ragazzi preparati tra cui scegliere i 4 da mandare alle olimpiadi di Mosca, l'anno venturo. Ci vuole la collaborazione locale, regione per regione di tutti Colleghi Chimici che hanno a cuore la buona riuscita della nostra preparazione e della nostra partecipazione alla competizione. A Mosca infatti ci attende la nuova prova. I Russi che la organizzano hanno promesso test più facili, con meno matematica, più chimica e un numero di esercizi più ridotto 7-8, rispetto agli 11 di quest'anno.

Prima di chiudere questo resoconto, devo ringraziare tutti i giovani che hanno collaborato alla buona riuscita di questa edizione, dagli allenatori di Pavia: Elios Giannini, Luigi Anastasia, Daniele Merli, Silvia Gennari e Donatella Sacchi, a coloro che ci hanno aiutati nella formulazione dei quesiti: Raffaele Colombo, Riccardo Cribiù, Alessandra Femia a Elios Mattia. Ancora sento il dovere di ringraziare la Dottoressa Davoli del Ministero dell'Istruzione per l'interesse con cui segue da anni la nostra competizione, il Rettore dell'Almo Collegio Borromeo, la casa Editrice Piccin per la stampa e la distribuzione dei questionari e la Società Farmaceutica Bracco per i doni che ha dato a tutti i partecipanti. Infine tutti i Colleghi della Divisione Didattica della SCI e tutti gli amici che con il loro affetto mantengono sempre vivo in me e in tutti gli altri volontari spesso anonimi che portano avanti la competizione. A tutti buone vacanze per poter iniziare il nuovo lavoro a settembre.



Inferenza, creatività e sperimentazione

di Ermanno Niccoli

Lettera al Lettore

Lettera al Lettore

Lettera al Lettore

Gentile collega, chi scrive libri per l'insegnamento di materie scientifiche sperimentali nella scuola secondaria spesso viene sollecitato dall'editore a inserire una definizione del "metodo scientifico".

Al povero autore non rimane che riesumare una formuletta articolata nei seguenti passaggi:

- i dati sperimentali e le osservazioni vengono variamente ordinate ed esaminate, la realtà materiale viene interrogata o come si suole dire problematizzata;
- a partire da queste osservazioni induttivamente si ipotizza una regola o una legge capace di rispondere agli interrogativi posti;
- la legge così formulata comportano alcune implicazioni logiche che si traducano in esperimenti di verifica;
- se l'esito degli esperimenti è positivo la legge viene confermata altrimenti viene diversamente riformulata e si procede ad ulteriore verifica sperimentale.

Siamo quindi di fronte ad un misto di operazioni induttive, di operazioni deduttive e di attività sperimentali.

L'operazione mentale a carattere induttivo viene anche detta inferenza induttiva e l'operazione mentale a carattere deduttivo inferenza deduttiva, con la prima si passa dal particolare al generale, con la seconda viceversa dal generale al particolare. Con il termine inferenza comunque si indica sempre un procedimento logico mediante il quale a partire da determinate premesse si passa a certe conclusioni ma in un certo senso l'inferenza induttiva è l'inverso dell'inferenza deduttiva.

L'inferenza deduttiva ha sempre goduto di una sua evidenza logica, fermo restando che nelle scienze sperimentali la conferma dei principi ricavati richiede per l'appunto una ampia conferma sperimentale.

K. R. Popper ha messo in evidenza come questo tipo di conferma (validazione) non è mai definitiva in quanto può sempre emergere un particolare esperimento capace di "falsificare" il tutto; tuttavia mano a mano che si accumulano le conferme positive aumenta la probabilità che la legge sia valida, in altre parole viene corroborata l'idea che la legge sia valida. Più complesso è il problema dell'induzione. La filosofia moderna è orientata a negare la possibilità che si possa garantire la verità di un assunto con procedimento induttivo. Tuttavia una certa corrente di pensiero, ad esempio R. Carnap, invoca anche per l'inferenza induttiva un criterio statistico: maggiore è la frequenza con cui certe proprietà si ripetono maggiore è la probabilità che l'inferenza, che induttivamente se ne trae, abbia carattere generale.

simile a quello assunto da Popper per l'inferenza deduttiva: maggiore è il numero delle conferme sperimentali maggiore sarà la fiducia in quanto induttivamente ricavato.

Infine Popper fa notare come anche la giustificazione di un principio d'induzione deve essere fatto sempre attraverso un procedimento deduttivo, di conseguenza verrebbe ridotto a deduzione.

Popper nel suo libro "Logica della scoperta scientifica" conduce una analisi dei procedimenti scientifici con modalità rigorosamente logiche (epistemologiche) e si rifiuta esplicitamente di prendere in considerazione gli aspetti psicologici.

Viceversa grandi scienziati, quali J. Hadamard e A. Einstein e altri, valendosi di evidenti capacità di introspezione, recuperano in un certo senso quelle che sono le tesi kantiane sulla sinteticità dell'intuizione. Se si sostituisce infatti il termine induzione con il termine intuizione come frutto di un ragionamento inconscio, peraltro alimentato dalle osservazioni sperimentali che hanno preceduto, molti aspetti relativi ai procedimenti scientifici appaiono più chiari.

Questa attività, che può essere anche indicata con il termine di creatività, ha natura strettamente psicologica e sfugge ad una analisi di tipo logico eppure è alla base di molte attività sia scientifiche che artistiche.

A mio avviso i procedimenti scientifici sono un intreccio di attività logica, sperimentale e creativa secondo sequenze non sempre standardizzabili: a volte ad esempio si procede per analogia rispetto ad altri fenomeni già noti, a volte si procede sulla base di schemi che in prima istanza seguono, come ha evidenziato Hadamard, criteri soprattutto estetici, infine in quelle scienze prevalentemente osservative come l'astrofisica, dove la verifica sperimentale è molto più problematica come si procede?

Può tutto questo essere sintetizzato in asfittici schemi scolastici? Evidentemente no. Ma chi lo spiega all'editore?

A noi insegnanti si pongono inoltre ulteriori problemi. Il "metodo scientifico" in quanto tale deve essere oggetto di insegnamento? Si deve cioè puntare a ulteriori forme di metacognizione? Oppure nell'insegnamento delle scienze sperimentali è opportuno usare metodi didattici ispirati al "metodo scientifico"? Quest'ultimo è compatibile con i livelli cognitivi corrispondenti alla scuola secondaria?

Per una più ampia riflessione su questi temi ti rimando, gentile collega, al ponderoso e documentato articolo di Fabio Olmi apparso su Naturalmente (n. 3, settembre 2005). Gentile collega, ti lascio con questi interrogativi e mi scuso se questa volta l'argomento, per fortuna breve, è risultato un poco noioso.

168 M. Black e altri non analizzano l'inferenza induttiva sotto il profilo epistemologico ma si limitano ad assumere per l'inferenza induttiva un atteggiamento a carattere statistico

Silvia ci scrive



Caro Ermanno,

la tua rubrica sul n°2, 2006 di CnS ha catturato particolarmente la mia attenzione. Innanzi tutto non posso che essere d'accordo sul fatto che la formazione dei nuovi insegnanti e la mancanza di un parallelo aggiornamento di quelli in servizio accentui le "disparità di comportamento professionale", al contrario attribuite talvolta alla differenza di età o di materia d'insegnamento. Tale situazione, unita da un lato alla volontà di formarsi e dall'altro all'annoso problema della precarietà-non continuità, può far correre il serio rischio che i metodi dei nuovi docenti rimangano "fragili e acerbi".

Un altro fattore molto importante è quello di una vera, seria e utile coordinazione e organizzazione del lavoro scolastico che motivi allo svolgimento di tutte le sue fasi e alla costituzione di un'equipe; dalla mia esperienza troppo breve e circoscritta per generalizzare mi vengono in mente, ad esempio, le riunioni che arrivino a qualcosa di concreto, oppure le numerose relazioni e programmazioni raccolte in una fantomatica cartellina della classe.

Comunque un aspetto che mi trovo costretta a criticare è quello di vedere la nostra professione come una "vocazione", termine molto diffuso ma secondo me fuorviante. Personalmente preferisco parlare di "scelta consapevole" perché la parola vocazione mi evoca il sacrificio incondizionato, che invece andrebbe proprio evitato in qualsiasi mestiere e quindi anche nel nostro. Ho l'impressione che troppo spesso sotto il concepire la propria professione come una vocazione, si nasconda un po', di narcisismo (comunque sano) e l'atteggiamento di molti (non di tutti) di vedere sì i problemi e i nodi da sciogliere ma di non affrontarli veramente.

Questo non vuol dire che non ci debba essere passione per il proprio lavoro e voglia di fare ma ciò non deve escludere l'analisi critica e lo sforzo per migliorare. Credo che cambiando un po' il punto di osservazione della nostra professione e individuando concretamente le modalità per incidere via via sui "contenuti" che sui "contenitori scolastici" (formazione, efficienza organizzativa,...basta leggere le tue rubriche), si possa smorzare quel pessimismo dilagante che tu stesso denunci a conclusione della rubrica di CnS.

Spero di aver stuzzicato abbastanza le tue riflessioni e ti auguro buone vacanze.

Silvia Ripoli

Cara Silvia,

il problema che da qualche tempo maggiormente mi assilla, è il silenzio assoluto che accompagna le mie modeste provocazioni, tanto che arrivo a dubitare della validità delle mie stesse riflessioni. Ti ringrazio pertanto d'essere intervenuta.

Il lavoro fatto nelle SSIS forse comincia ad aprire qualche breccia nell'atonìa generale della nostra categoria. A questa atonia comunque concorrono anche fattori per i quali gli insegnanti non portano colpa alcuna, tra questi l'organizzazione scolastica che ha carattere spiccatamente burocratico e la consapevolezza da parte degli insegnanti delle difficoltà non piccole che essi incontrano non appena cercano di passare ad un lavoro meno artigianale, essendo essi autodidatti. Gli stessi docenti della SSIS nel campo della didattica sono peraltro parzialmente autodidatti.

Sono d'accordo con te che il termine "vocazione" può indurre in errore a causa del significato medioevale di "chiamata divina" che si porta dietro. L'insegnamento dovrebbe comunque essere scelto in base a motivazioni prettamente psicologiche cioè si dovrebbe fare l'insegnante perché nutriamo uno spiccato interesse per questa attività. Dobbiamo comunque essere consapevoli che disoccupazione e precariato spesso lasciano poco spazio per queste considerazioni.

Concludo auspicando che sulla scia del tuo esempio molti altri insegnanti vincano la loro timidezza professionale e inizino a collaborare con CnS. A risentirci presto

Ermanno Niccoli



La casa Editrice Edises di Napoli (<http://www.edises.it>), già nota per le numerose pubblicazioni di qualità di testi di chimica di autori italiani e stranieri, ha recentemente pubblicato una catena di manuali per la preparazione agli esami di ammissione ai corsi di laurea a numero programmato, quali ad esempio, medicina, odontoiatria, scienze motorie, ingegneria etc. Dopo un primo sguardo all'intera collana, curata per la parte scientifica dagli stessi autori (4 professori ordinari, un associato e due ricercatori), abbiamo letto con attenzione il testo dedicato alla preparazione delle lauree scientifiche dove la chimica è una parte importante, sia perché confina e si sovrappone alla fisica in molte parti, sia perché è di supporto alla biologia con la quale ha in comune molte delle basi di chimica organica. Per brevità, la nostra recensione riguarda i due testi dedicati alle lauree di Medicina, di Odontoiatria e Protesi Dentaria e di Veterinaria.

I testi pertinenti sono due: uno di teoria, l'altro di esercizi commentati. Ai due testi sono allegati tutte le prove pregresse su CD che permettono anche di simulare prove di autovalutazione.

Colpisce subito il fatto che per la prima volta un'opera del genere sia stata affidata in ogni sua parte a Docenti Universitari qualificati. Uno degli autori della parte chimica, il Professor Pietro Allevi, è già coautore del testo "Quesiti di Chimica" edito dalla SCI (uno dei testi più venduti, editi dalla SCI, oggi introvabile). Egli è anche membro del comitato scientifico dei giochi e delle Olimpiadi della Chimica

e infatti, nel lavoro è stato assistito da uno degli allenatori delle Olimpiadi della Chimica. L'analisi del testo di teoria mostra che esso è caratterizzato da un'esposizione chiara e succinta. Il contenuto fornisce non solo le nozioni utili per superare i quesiti degli esami di ammissione, evidenzia e sottolinea, in forma discorsiva ma rigorosa nei termini, i principi di base e un'elaborazione guidata degli stessi, operazione necessaria per fornire la chiave giusta allo studente che può così rispondere nel modo più razionale possibile a quesiti inattesi. Non si tratta quindi di un semplice "bigino" che permette di raggiungere una preparazione minima per superare una soglia di qualificazione. L'opera, se ben usata, può colmare molte lacune della preparazione di base del liceo, aggiornando persino molte nozioni (nel caso di concetti nuovi, gli autori si sono sempre preoccupati di segnalare le variazioni occorse all'insaputa di molti libri di testo delle secondarie). A nostro avviso, preparandosi su tali testi, lo studente raggiunge una base di conoscenze importanti anche per affrontare successivamente gli esami di Chimica, Fisica e Biologia dei corsi di laurea. Il manuale potrebbe, a nostro avviso, essere anche adottato nei licei e nelle scuole medie superiori come testo aggiuntivo di allenamento per la comprensione più piacevole e approfondita. Esso è anche utile per allenarsi per i giochi della Chimica e per rinfaldare le nozioni che nei libri di testo sono spesso sommerse da molte nozioni estranee ai nuovi modelli didattici. Tra le segnalazioni importanti, il rigore delle definizioni più semplici di atomo e molecola, di peso atomico e molecolare, di mole, di massa molare (su queste cadono spesso molti allievi, grazie alle confusioni dei libri liceali e universitari), ai concetti di quantità di sostanza e di concentrazione molare. Rigorosa anche la trattazione degli equilibri in soluzione acquosa, del pH, delle soluzioni tampone e la critica ai quesiti ministeriali che spesso ignorano la confusione generata dall'uso di definizioni aprioristiche di equivalente e peso equivalente, riferite a sostanze avulse da specifiche reazioni. Altrettanto dicasi per molte definizioni della chimica Organica, certo un punto forte del testo, specie nella parte che fa da ponte con la Biochimica. Perciò la chiarezza e la sicurezza nella trattazione degli argomenti di organica permettono di fornire in un breve spazio nozioni di sicuro valore per l'ingresso in Università dalla porta principale. Si può facilmente prevedere l'affermazione di tale opera che dovrebbe offuscare, ce lo auguriamo per la difesa della Chimica, altre opere dello stesso tipo, ricche di errori che da anni tutti coloro che si dedicano alla didattica cercano di combattere.

Mario Anastasia