

**Giornale di Didattica della Società Chimica Italiana**

# CNS

**LA CHIMICA NELLA SCUOLA**

**BOYLE E LA FILOSOFIA  
CORPUSCOLARE**

**IL CONCETTO DI SISTEMA  
IN CHIMICA**

**I POLIMERI CONIUGATI**

<http://www.sci.uniba.it>  
<http://www.didichim.org>





LA CHIMICA  
NELLA SCUOLA

Anno XXVII  
Settembre - Ottobre 2005

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

2005 - L'anno delle riforme **83**  
di *Rosarina Carpignano*,

### DALLA COPERTINA

Jöns Jacob Berzelius **86**  
a cura di *Francesca Turco*

### ESPERIENZE E RICERCHE

Il concetto di sistema strutturato/organizzato in  
chimica e confronto con le altre discipline scientifiche **88**  
di *Giovanni Villani*

Evaporazione ed ebollizione:  
come i corsisti SSIS comprendono i fenomeni **98**  
di *Raffaele Pentimalli*

### LA CHIMICA NELLA STORIA

La filosofia corpuscolare e l'opera di Robert Boyle **101**  
di *Raffaella Seligardi*

### SCI - CRUPPO GIOVANI

I polimeri coniugati e le loro applicazioni  
nella vita quotidiana **106**  
di *Alessandro Fraleoni-Morgera*

### GIOCHI E OLIMPIADI DELLA CHIMICA

Giochi e Olimpiadi della Chimica 2005 **109**  
di *Mario Anastasia*

### RUBRICHE

**LETTERA AL LETTORE** **114**  
Il dentro e il fuori della scuola  
di *Ermanno Niccoli*

**CONVEGNI E CONGRESSI** **116**  
European Variety in Chemistry Education  
Cracovia, 4 - 7 luglio 2005  
di *Liberato Cardellini*

**GRUPPO GIOVANI - SCI** **118**  
Premio Primo Levi - Bando di Concorso 2005

**XIV CONGRESSO** **119**  
Il programma

**DALLA DIVISIONE** **III Cop.**  
Accreditamento presso il MIUR

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

## 2005 - L'ANNO DELLE RIFORME

L'anno 2005, in buona parte trascorso, è un anno di forti sconvolgimenti per l'intero sistema formativo italiano.

Lasciando da parte l'Università nella quale, malgrado le forti e autorevoli contestazioni, la riforma dello stato giuridico dei docenti è diventata legge, due sono i principali campi oggetto di riforma: la Scuola Secondaria Superiore e la formazione dei docenti.

### *La Riforma della Scuola Secondaria Superiore*

Dopo che la Conferenza Unificata Governo-Regioni del 15 settembre scorso sembrava aver portato ad un temporaneo arresto, il 17 ottobre è stato emanato il decreto della riforma della Scuola Secondaria Superiore, che diventerà però operativo solo dal settembre 2007.

Fin dalla prima bozza del decreto legislativo, resa pubblica nel gennaio 2005,

la Divisione Didattica, a nome anche della Comunità Scientifica dei Chimici, aveva espresso il suo totale dissenso rispetto all'impianto del progetto di riforma che penalizza fortemente l'insegnamento scientifico a cui la Chimica dà un apporto irrinunciabile.

Il tentativo di offrire alla Fisica qualche blasone in più non produce certo un effetto positivo rispetto al quadro generale che vede fortemente penalizzata tutta la scienza. E' proprio dalla co-presenza di tutte le aree della scienza, con pari dignità esplicativa, illustrativa e revisionale, che si può offrire ai nostri giovani le chiavi del loro mondo.

Se anche la filosofia che sta all'origine del progetto di riforma fosse condivisibile, essa appare chiaramente contraddetta nei fatti (distribuzione delle discipline e quadri orari).

Si parla di "cittadini attivi, in grado di concorrere al progresso materiale e spirituale del Paese (art. 4 della Costituzione) e dell'Unione Europea", ma come è possibile rispettare tale assunto con una Riforma che non potenzia l'attuale insufficiente preparazione scientifica degli studenti, ma anzi arriva addirittura ad azzerarla in alcuni indirizzi liceali?

Si vuole definire il sistema dei Licei "per il carattere

propedeutico.....rispetto alla prosecuzione degli studi...": come potranno gli studenti orientarsi all'Università verso le discipline scientifiche se non si permette loro di conoscerle nella scuola secondaria? E' veramente schizofrenico che da una parte il Ministero faccia progetti per incentivare le iscrizioni ai corsi di laurea di Chimica, Fisica, Matematica (progetto Lauree scientifiche) e dall'altra nei Licei riduca drasticamente l'insegnamento delle Scienze, in modo particolare della Chimica.

Nel testo della riforma si parla inoltre di "integrazione tra teoria e pratica", laboratorietà, alternanza scuola-lavoro, di "sviluppo delle conoscenze relative all'uso delle nuove tecnologie", ma anche queste dichiarazioni vengono contraddette dalle scelte di struttura. La Chimica e le altre discipline scientifiche sperimentali offrono un contributo insostituibile perché queste finalità non rimangano solo scritte sulla carta ma vengano realizzate. La Chimica viene invece penalizzata e con essa tutta l'area scientifica. Davvero si pensa che i giovani possano realizzarsi nella vita vivendo solo di servizi e di assistenza? Come si possono raggiungere conoscenze significative in campo tecnologico senza una adeguata preparazione scientifica? Come si può pensare di vivere senza produrre e senza il riconoscimento dell'etica del lavoro che si incarna nelle realizzazioni tecnologiche, figlie della ricerca scientifica?

Nel sistema dei Licei che la riforma prefigura, la penalizzazione dell'insegnamento scientifico avviene in un periodo in cui, come conseguenza del declino dell'innovazione, in Italia si sta verificando una perdita di competitività nella produzione industriale ad alto contenuto di scienza e di tecnologia. L'innovazione è legata direttamente alla preparazione di giovani ricercatori da parte di docenti adeguatamente aggiornati, entro ordinamenti scolastici che rispettino le esigenze dei tempi dedicati all'insegnamento delle discipline a maggior contenuto scientifico - tecnologico, con nuovi curricula e strategie didattiche. Alla prima versione della bozza di DL ne sono seguite poi diverse altre, con modeste variazioni, che, a parte il passaggio dalle ore settimanali a quelle

annuali, non mutano l'impostazione.

Vari documenti sono stati redatti dalla Divisione anche in collaborazione con le altre Associazioni di insegnanti chimici e inviati al Ministro, alla stampa e a tutti i possibili interlocutori con critiche e proposte precise. I documenti sono pubblicati nel sito della Divisione [www.didichim.org](http://www.didichim.org).

Pur non condividendo l'impianto del progetto di riforma, su richiesta del MIUR, in base al protocollo di intesa sottoscritto fin dal 2002, abbiamo fatto lo sforzo di indicare gli OSA per i vari indirizzi dei Licei, pubblicati in CnS 2005, n. 1.

Anche la Società Chimica Italiana è intervenuta (lettera del Presidente al Ministro del 30.3.05) sia per sottolineare la scarsa considerazione data alla Chimica nel progetto di Riforma e addirittura la sua eliminazione da alcuni Licei (Economico, Artistico) sia per richiedere che alla chimica sia restituito lo status di disciplina autonoma.

Il ddl emanato non solo non tiene conto delle nostre osservazioni ma continua ad accorpere la Chimica a Biologia e Scienze della Terra in una generica disciplina denominata impropriamente e arcaicamente "Scienze naturali".

Una certa evoluzione si è vista invece per quanto riguarda i Licei Tecnologico ed Economico. Caratterizzati inizialmente dalle discipline proprie dell'area comune dei Licei (es. Filosofia), con una modesta presenza delle materie di indirizzo, nelle bozze che si sono susseguite, dietro la pressione degli imprenditori sono andati perdendo la caratteristica liceale e si sono orientati verso la capacità di preparare i giovani all'inserimento nel mondo del lavoro.

Prima della Conferenza Stato-Regioni sedici organizzazioni imprenditoriali hanno preparato e diffuso un documento comune in cui chiedono che l'istruzione tecnica e commerciale, nata per rispondere ad esigenze specifiche della realtà produttiva italiana, conservi anche dopo la riforma della scuola secondaria superiore "la sua specificità professionalizzante" (IL SOLE-24-ORE del 3 settembre 2005).

Gli imprenditori ritengono che il Liceo Tecnologico ed il Liceo Economico debbano conservare la loro triplice vocazione: preparare al proseguimento degli studi nell'Università, all'inserimento nel lavoro (ribadendo la necessità di diplomati nel prossimo futuro), all'apprendimento per tutta la vita.

84 La posizione della Divisione, contraria allo smantellamento dell'istruzione tecnica, è stata espressa in tutti i documenti e in vari articoli di questa rivista

(CnS, 2005, n.1). Anche in questa occasione è stata inviata al Ministro, e per conoscenza a Federchimica, una lettera (9 settembre 2005) in cui si è richiesto il rilancio delle figure intermedie che finora gli Istituti tecnici e in particolare quelli per periti chimici hanno degnamente preparato, accumulando un prezioso patrimonio culturale, didattico, tecnico e tecnologico.

In questa ottica e in accordo con le proposte delle Associazioni imprenditoriali è stato preparato un modello di quadro orario per il triennio del Liceo Tecnologico ad indirizzo Chimico e Materiali, che riteniamo potrebbe rispondere agli obiettivi di salvare l'autonomia scolastica e assicurare continuità con gli Istituti tecnici dell'area chimica.

La proposta, portata avanti da Federchimica, è stata

| INDIRIZZO CHIMICO E MATERIALI                                |               |               |               |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Proposta SCI - DIDI  |               |               |               |
| DISCIPLINE   | II Biennio    |               | V anno        |
|  | 3° anno       | 4° anno       | 5° anno       |
| Tecnologie chimiche e biotecnologie, Principi di automazione | 99<br>(33)    | 165<br>(66)   | 198<br>(99)   |
| Chimica fisica, Elettrochimica, Analisi Chimica              | 330<br>(132)  | 231<br>(132)  | 297<br>(132)  |
| Chimica organica, biorganica delle fermentazioni             | 132<br>(66)   | 165<br>(99)   | 99<br>(66)    |
| Totale ore indirizzo   | 561           | 561           | 594           |
| Totale discipline comuni                                     | 528           | 528           | 495           |
| Ore facoltative  | 66            | 66            | 66            |
| Ore totali annue   | 1.089<br>+ 66 | 1.089<br>+ 66 | 1.089<br>+ 66 |

Nelle parentesi sono indicate le ore di laboratorio all'interno delle discipline, in copresenza con l'insegnante tecnico-pratico.

recepita nel decreto emanato il 17 ottobre. E' però emerso un elemento molto negativo: in tutti gli indirizzi l'insegnamento delle scienze sperimentali, è limitato al biennio ed è affidato ad una disciplina di nuova introduzione che sotto il nome di "Scienze integrate" accorpa confusamente tematiche disciplinari di Chimica, Fisica, Biologia e Scienze della Terra.

Le finalità di un simile insegnamento e le possibilità

di realizzarlo concretamente in modo sensato appaiono oscure.

Insieme all'AIF e all'ANISN è stato inviato al Ministro un documento (28 ottobre 2005) in cui si chiede che si rivedano le scelte affrettate compiute e che i nuovi percorsi formativi si basino su deliberazioni motivate, condivise e convincenti dal punto di vista culturale.

### *La riforma delle SSIS*

Anche il decreto legislativo concernente la definizione delle norme generali in materia di formazione degli insegnanti ai fini dell'accesso all'insegnamento (ai sensi dell'art. 5 della legge 28 marzo 2003 N° 53) è stato emanato il 17 ottobre 2005. Esso prevede la sostituzione delle attuali Scuole di Specializzazione con una Laurea Magistrale biennale, successiva alla Laurea triennale di primo livello, che si conclude con un esame di Stato abilitante.

Gli abilitati si iscriveranno ad un albo regionale e saranno assegnati dall'Ufficio Scolastico Regionale ad una scuola, dove svolgeranno un anno di applicazione, con un contratto di inserimento al lavoro, nel corso del quale avranno responsabilità di insegnamento e dovranno fare alcune attività formative sotto la guida di un insegnante tutor e al termine del quale riceveranno una valutazione.

Il possesso dell'abilitazione, attestato dall'iscrizione negli albi regionali, unitamente alla valutazione positiva dell'anno di applicazione, costituirà requisito esclusivo per l'ammissione ai **concorsi a posti di insegnamento nelle scuole statali**, da bandire a cadenza almeno triennale secondo le esigenze della programmazione, nel rispetto dell'autonomia delle istituzioni scolastiche.

Uno dei punti più significativi dello schema di decreto nella sua forma del febbraio scorso era proprio quello dell'ingresso in ruolo certo, per chi soddisfaceva a tutti i requisiti formativi. Questo punto qualificante è stato eliminato dal Decreto del 17 ottobre: questo è un dato preoccupante.

La Divisione è intervenuta (lettera 5 marzo 2005) nel dibattito che ha avuto luogo all'interno del Tavolo 7, la Commissione ministeriale appositamente costituita, chiedendo che il modello di formazione già sperimentato con successo nelle SSIS e nei corsi di laurea di Scienze della Formazione Primaria, in cui concorrono le competenze teoriche disciplinari e quelle didattico-metodologiche, messe in campo con pari dignità dall'Università e dalla Scuola, co-

stituisca l'asse portante della formazione iniziale e in servizio degli insegnanti.

Il decreto legislativo sembra rispondere a questi criteri. Le finalità dei percorsi di formazione iniziale dei docenti, individuate come "acquisizioni delle competenze disciplinari, pedagogiche, didattiche, organizzative, relazionali e comunicative, riflessive sulle pratiche didattiche che caratterizzano il profilo formativo e professionale del docente" (art.2 comma 1), sono in linea con le attuali conoscenze sull'educazione e sui processi cognitivi.

Con uno o più decreti dovranno essere individuate le classi dei corsi di laurea, il profilo formativo e professionale del docente e le correlate attività didattiche, comprensive di laboratori e attività di tirocinio" sotto la guida di un tutor della Scuola, gli ambiti disciplinari e i "relativi crediti distinti per i settori scientifico-disciplinari in misura pari all'80% dei complessivi 120 crediti formativi universitari, di cui non più del 25% dell'area pedagogico-professionale".

L'attivazione da parte degli Atenei delle Lauree Magistrali per l'insegnamento non potrà quindi essere attuata, finché non siano stati approvati i sopradetti decreti per le singole abilitazioni all'insegnamento, le quali a loro volta devono essere determinate con altri decreti.

Se la situazione generale appare ingarbugliata, è positivo il fatto che le Direzioni Generali del MIUR stiano cercando di porre riparo ai deludenti risultati ottenuti dai quindicenni italiani nei test di valutazione delle conoscenze in matematica, lettura, scienze e problem solving (progetto OCSE-PISA 2003). Nel 2006 la valutazione sarà ripetuta e avrà come oggetto principale scienze e linguaggio.

Le Associazioni disciplinari AIF, ANISN e DD-SCI hanno messo a disposizione del MIUR le loro competenze per attuare il progetto ISS (Insegnare Scienze Sperimentali), importante piano di formazione per i docenti della scuola di base di tutte le Regioni.

Ci si augura che nei prossimi giorni venga firmato il protocollo con il MIUR quale testimonianza di un corretto approccio al problema del miglioramento dell'insegnamento scientifico.



## Jöns Jacob Berzelius

Väfersunde-Sörgård 20 agosto 1779  
Stoccolma 7 agosto 1848

A cura di FRANCESCA TURCO



Il chimico svedese Jöns Jacob Berzelius può essere annoverato fra i più grandi scienziati di ogni tempo. Fra il 1820 e il 1840 ha letteralmente dominato la scena della chimica e della mineralogia, ma anche successivamente la sua teoria dualistica dei composti chimici ispirò le migliori ricerche in campo inorganico, fino a diventare il fondamento della teoria dei sali complessi, proposta da Alfred Werner nel 1893. Della teoria dualistica e degli altri contributi di Berzelius parleremo più oltre, dopo un cenno biografico che sarà brevissimo, dato che in questo stesso numero di Chimica nella Scuola è pubblicato un bel saggio di Ferdinando Abbi dedicato al nostro chimico.

Berzelius nacque in una famiglia di modeste condizioni economiche, ed ebbe un'infanzia funestata prima dalla morte del padre, poi – dopo che la madre si era risposata – anche dalla morte della madre. Per fortuna di Berzelius (e della scienza) il patrigno era un uomo giusto, e malgrado le ristrettezze economiche fece sì che il ragazzo crescesse dotandosi di una buona cultura per poi iscriverlo all'Università di Uppsala, dove si laureò in medicina. Fu in quel torno di tempo che il mondo scientifico visse uno dei momenti più emozionanti della sua intera storia. Nel 1800 fu pubblicata sui *Proceedings* della Royal Society la lettera di Alessandro Volta in cui il fisico italiano annunciava la scoperta della pila e ne indicava nei dettagli le modalità di costruzione. Si può dire che al di là delle pratiche sperimentali con la pila, iniziate nel 1802, la complessa fenomenologia elettrochimica messa in luce dall'invenzione di Volta servì da modello per l'intero pensiero teorico del chimico svedese.

La carriera accademica di Berzelius non fu affatto rapida. In un primo tempo fu nominato assistente volontario (cioè non pagato) presso la scuola di chirurgia di Stoccolma; si mantenne quindi preparando acque minerali artificiali, e praticò la medicina come medico dei poveri. Nel 1807 divenne professore di medicina e farmacia presso la Scuola di chirurgia, istituzione trasformata nel 1810 nel Karolinska Institutet. Berzelius mantenne questo ruolo fino al 1832, quando si dimise per dissapori con l'amministrazione. Come sottolinea Abbi nel suo saggio, il punto di appoggio principale per l'attività scientifica del grande chimico fu l'Accademia Reale delle Scienze di Stoccolma, di cui divenne membro nel 1808 e Segretario nel 1819.

Tutta la carriera di Berzelius si svolse a Stoccolma e nel suo laboratorio lavorarono molti di quei chimici tedeschi che nel XIX secolo portarono contributi fondamentali alle scienze chimiche. Fra questi basti ricordare Eilhard Mitscherlich, lo scopritore dell'isomorfismo, C. G. Gmelin, G. Magnus, e soprattutto Friedrich Wöhler (1800-1882),

uno dei più grandi chimici di ogni tempo, fra i pochi che hanno dato rilevanti contributi sia alla chimica inorganica sia alla chimica organica. Possiamo seguire in qualche dettaglio i rapporti fra Berzelius e Wöhler perché sono significativi – più in generale – della particolare qualità dei rapporti che i maestri di allora intrattenevano fra di loro e con i loro allievi.

Wöhler era interessato alla medicina, e in particolare all'ostetricia, disciplina in cui si laureò ad Heidelberg nel 1823. Aveva comunque studiato e praticato chimica a lungo, sotto la guida di Leopold Gmelin, il cui nome si ritrova ancora nelle nostre biblioteche in quanto primo autore del famosissimo *Handbuch der anorganischen Chemie*, il monumentale trattato di chimica inorganica che è giunto fino ai nostri giorni. Gmelin aveva notato la straordinaria abilità sperimentale del giovane medico e gli consigliò di dedicarsi completamente alla chimica. Wöhler seguì il consiglio del suo primo maestro, e scrisse a Berzelius, chiedendogli il permesso di frequentare il suo laboratorio di Stoccolma. La risposta, immediata, di Berzelius è rimasta famosa: "Chi ha studiato sotto la direzione del Signor Leopold Gmelin avrà certamente poco da imparare da me [...] Lei può venire quando lo desidera".

Ottocento miglia più a nord, Wöhler si trovò di fronte alla modesta casa del maestro svedese. "Con il cuore palpitante – scrisse più tardi Wöhler – stetti di fronte alla porta di Berzelius e suonai la campanella. Mi fece entrare un gentiluomo, distinto e ben vestito, di costituzione florida e sana. Era Berzelius in persona. Mi accolse molto cordialmente, mi informò che mi stava aspettando da qualche tempo, e che voleva sapere come era andato il viaggio – il tutto in tedesco, lingua che gli era familiare come anche il francese e l'inglese". In quello stesso primo giorno Berzelius accompagnò il nuovo allievo al Karolinska Institutet, dove teneva le lezioni per gli studenti di medicina. Le lezioni erano spesso seguite anche da ufficiali dell'esercito e da amici e colleghi di Berzelius. Nei suoi ricordi Wöhler aggiunge: "Non appena abituai l'orecchio alla lingua andai regolarmente a lezione. Questo mi diede l'opportunità di ammirare il suo eloquio calmo e chiaro e la sua abilità nell'eseguire esperimenti".

Berzelius sapeva bene che un allievo di Gmelin non poteva essere un principiante, e quindi il primo compito che gli assegnò era assai difficile. Si trattava dell'analisi di una zeolite, ma prima ancora di iniziare Wöhler ebbe un'altra sorpresa. Berzelius eseguì per primo l'intera analisi, mostrando all'allievo i dettagli di ogni singola operazione. Poi fu la volta dell'allievo, che con una certa facilità possiamo

immaginare nuovamente emozionato perché il maestro rimase imperterrito a guardarlo e ad ammonirlo bonariamente. Ogni qualvolta Wöhler si affrettava durante una qualsiasi operazione, anche la più semplice, Berzelius sentenziava: *Doctor, das was schnell, aber schlecht*, “Dottore, questo era rapido, ma mal fatto”.

Wöhler rimase a Stoccolma meno di un anno, ma rimase in termini di gratitudine, amicizia e di affetto verso il maestro fino alla sua scomparsa. Un frutto duraturo di questa rispettosa amicizia fu la traduzione in tedesco del rapporto che Berzelius presentava all'Accademia delle Scienze di Stoccolma. Per più di due decenni Wöhler curò l'edizione del *Jahresbericht* del maestro, mettendo a disposizione di tutti gli scienziati europei un'opera impagabile per vastità di interessi e profondità di analisi. Berzelius compilò il suo *Jahresbericht* non solo come mezzo di informazione su un'area culturale che andava dalla chimica alla fisica e alla mineralogia, ma lo usò anche come strumento di critica delle idee altrui e di penetrazione delle proprie. Il lettore del *Jahresbericht* non può non rimanere colpito dall'ampiezza delle letture di Berzelius, e d'altra parte questo monumento della letteratura scientifica fu uno dei tanti risultati di una vita condotta, per certi aspetti, con stile monastico. Singolare come il suo proprietario, l'abitazione di Berzelius era modesta ed essenziale. Il chimico svedese utilizzava in tutto quattro stanze, messe in serie. La camera da letto di Berzelius si apriva da un parte sul salotto in cui riceveva gli ospiti, e dall'altra sul laboratorio. Oltre il laboratorio vero e proprio si trovava uno strano locale misto, metà cucina e metà laboratorio, regno incontrastato di Anna, la cuoca di Berzelius, che nei suoi ricordi Wöhler descrive come “dispotica” e che badava non solo a cucinare ma anche a ripulire la vetreria e il vasellame utilizzati in laboratorio. Nel salotto e nella cucina vi erano le due entrate dell'alloggio, quella ‘signorile’ a cui aveva bussato Wöhler, e quella ‘di servizio’. La porta del salotto divideva il pianerottolo con l'ingresso della stanzetta riservata all'ospite di turno (Berzelius accettava un solo studente per volta). Berzelius si sposò nel 1835, a 56 anni, essendo rimasto fino ad allora fedele al monito del suo docente di chimica, Johan Afzelius, che gli aveva consigliato di rimanere scapolo per poter dedicare tutto il suo tempo alla scienza. Il nostro chimico, quindi, non aveva ‘distrazioni’, e divideva i suoi impegni fra i compiti accademici, il lavoro di laboratorio e la lettura di riviste e libri scientifici, lettura a cui dedicava immancabilmente le prime ore del mattino.

In quattro decenni di diuturna pratica sperimentale e di assidua riflessione teorica Berzelius può essere considerato – assieme all'inglese Dalton – un fondatore della moderna teoria atomica. Vediamo ora, quasi come semplice elenco, le principali scoperte e proposte di Berzelius.

Per molti aspetti furono le migliaia di analisi corrette eseguite da Berzelius, e la sua determinazione del peso atomico di quasi tutti gli elementi allora conosciuti (45 su 49), che posero su una solida base sperimentale la teoria atomica proposta da John Dalton. Dalton era uno scienziato di estrema rigidità teorica, e l'atomismo chimico sarebbe stato condannato a sicura, prematura estinzione, se non fosse stato confermato in innumerevoli scritti del chimico svedese, e in primo luogo nell'*Essai sur la cause des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité*, pubblicato a Parigi nel 1819. Nel contesto della conferma della teoria atomica, che assegnava ad ogni sostanza una costituzione atomico-molecolare ben definita,

va collocata anche la messa a punto nel 1815 di un metodo di analisi organica in grado di dare risultati affidabili. Il metodo richiedeva pazienza, abilità ed era discretamente pericoloso; rimase comunque in uso fino agli inizi degli anni 1830 quando fu sostituito dal metodo di Liebig.

Nella storia della chimica pochi scienziati possono gareggiare con Berzelius nel numero di elementi scoperti o isolati per la prima volta. Già nel 1803, in collaborazione con Wilhelm Hisinger, scoprì il cerio, scoperta a cui fece seguire più tardi anche quella del selenio e del torio. Berzelius isolò, per primo, anche il silicio, lo zirconio e il titanio.

Berzelius concepì un complesso ‘sistema’ dualistico basato sull'ipotesi che gli atomi di una sostanza semplice abbiano una polarità elettrica ben definita. Rispetto all'attrazione esterna alla particella, l'elettricità positiva e l'elettricità negativa non hanno la stessa forza, così a seconda che domini l'una o l'altra, l'elemento è per sua natura elettropositivo o elettronegativo. Berzelius suddivise gli elementi chimici in queste due grandi classi, collocando l'ossigeno all'estremo negativo (il fluoro non era isolato) e il potassio a quello positivo, per di più, con perspicacia straordinaria, pose l'idrogeno al centro della scala elettrochimica, vero discriminante fra gli elementi elettronegativi e quelli elettropositivi. Il nostro chimico era ben avvertito che gli atomi di elementi fondamentali come lo zolfo si potevano comportare come elettropositivi o elettronegativi a seconda della natura elettrochimica degli atomi a cui si univano, suppose perciò che il segno elettrico di ciascun elemento potesse cambiare a seconda del composto in cui entrava. Solo l'ossigeno era invariabilmente negativo. A partire dalla ‘qualità’ elettrochimica del singolo elemento Berzelius sostenne che i composti degli elementi con l'ossigeno erano ‘atomi composti’ del primo tipo, anch'essi con cariche residue positive (gli ossidi dei metalli) o negative (le anidridi). I sali che risultavano dall'unione di ossidi e anidridi erano stabili per via dell'attrazione residua tra i due componenti; i sali erano definiti ‘atomi composti’ del secondo tipo. Ma i sali potevano assumere acqua di idratazione, e si giungeva ad ottenere ‘atomi composti’ di terzo tipo. Infine, a coronamento di questa gerarchia, si avevano i sali doppi come gli allumi, ‘atomi composti’ di quarto tipo. Questa rappresentazione gerarchica dei composti chimici fu adottata universalmente. Essa si mantenne immutata nella chimica inorganica, anche quando i progressi la resero superata in chimica organica.

Dobbiamo infine ricordare che ogni qualvolta parliamo di isomeri, polimeri, catalisi utilizziamo termini e concetti introdotti da Berzelius. Ma la nostra testimonianza dell'influenza del grande scienziato svedese sulla chimica è assolutamente continua, non limitata a certi settori di ricerca. Infatti nel corso delle ricerche analitiche sulla costituzione atomica della materia, Berzelius elaborò uno specifico sistema di nomenclatura chimica. Scelse come simbolo di riferimento, qualitativo e quantitativo, per ogni elemento la prima lettera del suo nome latino o latinizzato; per evitare confusioni e fraintendimenti in caso di ambiguità, la prima lettera veniva seguita da una lettera complementare. Associando queste iniziali Berzelius otteneva la formula della sostanza composta, nella quale i simboli erano accompagnati da esponenti numerici corrispondenti alle unità di peso atomico di ciascun elemento costituente il composto. Il principio di questa notazione non è mai stato abbandonato.

**Per approfondire:** E.M. Melhado, *Jacob Berzelius. The Emergence of his chemical system*, Stockholm, Almqvist & Wiksell, 1981.

## Il concetto di sistema strutturato/organizzato in chimica e confronto con le altre discipline scientifiche

GIOVANNI VILLANI\*

### 1. Introduzione

Il concetto di sistema ha due accezioni diverse in ambito scientifico. In certi ambiti (per esempio in meccanica) per sistema s'intende un pezzo di realtà (un ente) in studio. Tale concetto non è per niente collegato ai concetti d'organizzazione o di strutturazione. In altre realtà, si pensi ai sistemi viventi, nel concetto di sistema è implicito che si stia parlando di un pezzo di realtà strutturata e/o organizzata. In questo contesto non mi addentrerò sulla differenza tra i concetti di struttura e di organizzazione perché questi due concetti sono, almeno in ambito chimico, considerabili come equivalenti. L'accezione di sistema che useremo in questo lavoro è la seconda, vale a dire quella di realtà strutturata. Quando tale accezione può essere considerata equivoca (come nel titolo) aggiungeremo esplicitamente il legame con i concetti di struttura e organizzazione.

La valenza didattica del concetto di sistema è, a mio avviso, fondamentale in generale ed essenziale in chimica. Non credo sia, infatti, possibile introdurre correttamente i concetti di molecola (in ambito microscopico) e di composto chimico (in quello macroscopico) senza specificare che sono dei sistemi chimici, cioè delle frazioni strutturate/organizzate di realtà.

Due ottiche generali possono essere utilizzate nell'analisi scientifica della realtà: un'ottica riduzionista e un'ottica olistica. Nel primo approccio si suppone, più o meno implicitamente, che la realtà complessa che ci circonda è semplificabile poiché nel "profondo", sia materiale sia concettuale, la realtà è semplice. L'ottica è ben esemplificata dalla teoria atomistica greca, quella di Leucippo e Democrito cui si fa qualche cenno anche nei testi scolastici scientifici. La concezione principale di questi due autori era la seguente: le cose erano aggregati (più o meno stabili, ma mai indivisibili) di parti indivisibili ("atomi"), eterne, immutabili, senza parti o moto al loro interno e di numero infinito. Gli atomi erano frammenti del medesimo essere, la materia prima, che non poteva essere ulteriormente definita e differivano fra loro soltanto nella forma e nelle dimensioni. Questi atomi erano, infatti, di diverse grandezze, diverse figure, occupavano nel corpo posizioni diverse, ma erano tutti qualitativamente identici, o meglio non avevano in sé qualità, se non quelle sopraddette, matematicamente identificabili. Un aspetto molto importante del programma degli atomisti era, infatti, la riduzione

dei cambiamenti qualitativi a livello macroscopico a cambiamenti quantitativi a livello atomico. Gli atomisti concordavano con i pitagorici nel dire che le spiegazioni scientifiche dovevano essere formulate in termini di rapporti geometrici e numerici e la "vera" realtà era accessibile solo quantitativamente: la vera scienza era la scienza matematica della natura. Opposta è l'idea olistica della realtà. Tale idea, che tra un attimo andremo a qualificare, è stata sempre minoritaria in ambito scientifico al punto che essa è identificata con più di un termine (olistica, non-riduzionista, complessità, ecc.). L'idea che è alla base di questa visione della realtà è che "il tutto è più della somma delle parti". A parte qualche ambiguità terminologica (il significato di "somma", per esempio) tale frase suggestiva sta ad indicare che sebbene sia possibile dividere una realtà in pezzi (le "parti") e dalle loro caratteristiche e interazioni ottenere informazioni sulla realtà originale (il "tutto") in quest'operazione analitica/sintetica qualcosa si perde. Per venire ad un esempio più concreto: spezzettando un essere vivente per analizzarlo e poi ricomponendolo si perde la proprietà "vita" che non è presente in nessun suo pezzo, solamente nel tutto. Questo che appare evidente in ambito biologico è, a mio avviso, una caratteristica generale che cercheremo di far vedere all'opera in chimica.

In un'ottica tipicamente riduzionista non dovrebbero essere messe in evidenza (e quindi esistere concettualmente) né le molecole né i composti chimici in quanto "aggregati" di uniche e vere realtà concettualmente distinte: gli atomi e gli elementi. Qui ovviamente si trascura, ed in ambito chimico è corretto farlo, che gli atomi non sono le particelle elementari della materia e neppure gli elementi rispettano il loro nome (elemento viene da elementare). Non ha senso, infatti, inserire un piano, concettuale oltre che fisico, intermedio tra il mondo atomico ed il mondo macroscopico: come non esiste un termine per gli aggregati di molecole così non dovrebbe esistere un termine per gli aggregati di atomi. Il problema trova soluzione nell'affermare che una molecola non è un aggregato di atomi, ma un sistema (strutturato) di atomi. Ecco perché senza introdurre il concetto di sistema diventa impossibile (a tutti i livelli non solo in quello didattico) inserire coerentemente il concetto di molecola e di composto chimico.

### 1a. Cenni sulla teoria dei sistemi

Nella seconda metà del XX secolo si è sviluppata una teoria unitaria degli enti organizzati: i sistemi. Molti autori hanno espresso apertamente la convinzione che esista un modo universale di considerare gli enti composti, sufficientemente diverso da quelli ormai saldamente stabiliti e basati sull'analisi, e che perciò si possa parlare effettivamente di "pensiero sistemico". La corrispondenza formale tra i principi generali, a prescindere dal tipo di componenti e dei rispettivi rapporti che li "legano" nei siste-



mi, porta a concepire una “Teoria generale dei sistemi”, intesa come una dottrina scientifica nuova che s’interessa dei principi applicabili ai sistemi nella loro generalità. In tal modo, la teoria dei sistemi schiude nuovi campi di studio in molte discipline scientifiche. In fisica, e questo risultato è ancora più notevole se si tiene presente che queste problematiche nascono da una pezza di fisica (la termodinamica) che appariva ormai da tempo come una dottrina consumata. Per quanto riguarda la chimica, come accennato e come vedremo tra poco, il concetto di sistema è collegabile a quello di molecola (principale concetto della chimica in ambito microscopico) e a quello di composto chimico. Per quanto concerne la biologia, il concetto di sistema si trova alla base dei fenomeni fondamentali della vita e tale concetto sembra indicare, oltre che spianare, la via da imboccare anche alle scienze umane per tendere anch’esse a scienze esatte. Qui vogliamo sottolineare un ulteriore aspetto storico-epistemologico. In genere sono i concetti fisici ad agire sulla chimica e sulla biologia. Nel caso del concetto di sistema, gli sviluppi fondamentali della fisica teorica sono stati stimolati da considerazioni di tipo biologico. In realtà, non solo la chimica e la biologia devono “basarsi” sulla fisica, ma bisogna riconoscere che il punto di vista biologico e quello chimico possono aprire nuove vie anche nel campo della fisica teorica.

I primi passi verso la creazione di una Teoria dei Sistemi furono fatti nelle scienze del comportamento (in rapporto all’analisi dei processi interni degli organismi) e nello studio delle organizzazioni sociali, le cui parti dovevano essere messe in relazione con l’insieme cui appartenevano. Tra questi primi esempi possiamo ricordare la biologia organicistica di Jennings, di Cannon e di Handerson, la prima teoria della *Gestalt* e le sue successive derivazioni. Molti di questi tentativi furono rappresentati con il modello del sistema chiuso. Un importante passo in avanti si compì in seguito quando ci si trovò a dover mettere in relazione i sistemi con i loro rispettivi ambienti, giungendo così ai modelli dei sistemi aperti. Fu von Bertalanffy che mise in luce per primo l’importanza della condizione d’apertura o chiusura degli organismi viventi nei confronti dell’ambiente. Il concetto d’organismo inteso come sistema aperto fu avanzato nel 1932, seguito dallo sviluppo dei principi generali della cinetica, nonché le loro implicazioni in campo biologico<sup>1,2</sup>. In seguito venne il lavoro fondamentale sulla termodinamica dei sistemi aperti di Prigogine<sup>3,4</sup>. La differenza tra sistemi aperti e sistemi chiusi fu usata per distinguere gli esseri viventi dagli oggetti inanimati e sostenere che, a contrario degli oggetti materiali inanimati, tutti gli organismi vivono importano certi tipi di materiale dall’ambiente esterno, li trasformano secondo le loro caratteristiche e riesportano verso l’ambiente altri tipi di materiale. Ben presto però fu messo in evidenza che la condizione d’apertura del sistema si può trovare anche in certi sistemi inorganici<sup>5,6,7</sup>.

Dobbiamo a Edgar Morin, filosofo e sociologo francese, il merito di aver gettato le basi per una teoria filosofica dei sistemi veramente moderna, imperniata sulla nozione cruciale di organizzazione e di unità complessa organizzata, e di aver saputo sviluppare in tutta la sua fecondità il concetto ternario: interrelazioni-organizzazione-sistema. Per Morin il sistema è prima di tutto paradosso: osservato dal punto di vista del tutto, esso è uno e omogeneo; considerato dal punto di vista dei costituenti, esso è diverso ed eterogeneo. In questo risiede uno dei caratteri più forti della sua intrinseca complessità: esso associa da un lato l’idea di unità, dall’altro quello di diversità e molteplicità, idee che a prima vista sembrano respingersi ed escludersi. Il sistema è un’unità globale, non elementare, costituito da parti diverse in interrelazione; è un’unità originale, non originaria: possiede qualità proprie e irriducibili, ma deve essere prodotto, costruito, organizzato; è un’unità individuale, non indivisibile: può essere scomposto in elementi separati, nel qual caso la sua stessa esistenza si scompone; è un’unità egemonica e non omogenea: è costituito da elementi diversi, con caratteristiche peculiari, mantenuti sotto il suo potere. Per Morin, se vogliamo tentare una teoria del sistema come unità complessa organizzata, non dobbiamo, quindi, concentrare i nostri sforzi sull’eliminazione del paradosso che ne sta alla base, né dobbiamo cercare di rompere le relazioni di circolarità che s’instaurano nel processo di descrizione del tutto e delle sue parti, dell’unità e della diversità. Dobbiamo invece concepire questi caratteri insieme, nei loro rapporti contemporaneamente complementari e antagonisti.

Il modo di operare della Teoria dei Sistemi si applica a tutti gli enti composti organizzati, cioè a tutti gli enti formati da componenti in “particolari interazioni stabili”, ma la sua applicazione ai sistemi viventi e ai sistemi umani (società, istituzioni, ecc.) è stata senz’altro prioritaria, almeno da un punto di vista dello sviluppo storico della teoria. Infatti, secondo gli autori che si sono serviti di tale “approccio sistemico”, solo quest’approccio permette per questi sistemi: (a) di rivelare le proprietà “gestaltiche” che caratterizzano i livelli organizzativi di ciò che noi chiamiamo “sistema vivente”; (b) di fornire una valida e sostanziale forma di generalizzazione a queste proprietà gestaltiche comuni ai diversi livelli organizzativi (dai batteri alle società umane).

La teoria dei sistemi c’insegna anche che, quando si studiano i sistemi ai diversi gradi di complessità, non bisogna spingere l’analisi fino all’ultimo elemento, l’elemento primo che secondo i riduzionisti racchiuderebbe in sé il “tutto”, ma soltanto fino ad un certo numero di gradi di complessità precedenti. Più sono sviluppate le connessioni interne ed esterne e più complessi sono i sistemi parziali (sottosistemi) che costituiscono l’associazione, più questa dipende dalle sue singole componenti. In altre parole, la profondità cui deve essere spinta l’analisi per mettere in luce i dettagli che occorrono per comprendere l’insieme è maggiore. Vi è poi il problema più generale di sapere se le nostre spiegazioni dei sistemi – ammesso e non concesso che un corretto metodo scientifico per spiegare la loro natura sia di andare dalle parti al tutto – non siano condannate all’insuccesso perché, in natura le parti non sono mai date all’infuori di qualche intero e, peggio ancora, l’esistenza del tutto sia la giustificazione ultima di quella delle sue parti. Il tutto non esisterebbe senza le sue parti, ma sono le parti che hanno prodotto il tutto, o piut-

1 L. von Bertalanffy, *Naturwissenschaften*, Vol. 28, 1940, p. 521

2 L. von Bertalanffy, *Biologia Generalis*, vol. 15, 1941, p. 1.

3 I. Prigogine and S. Spiegelman, *Journal of Physical Chemistry*, vol. 49, 1945, p.81.

4 I. Prigogine, *Etude Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles*, Durrod, 1947.

5 L. von Bertalanffy, *Theoretische Biologie*, Gebruder Borntraeger, 1942.

6 L. von Bertalanffy, *Biologia Generalis*, vol 19, 1949, p. 114.

7 L. von Bertalanffy, *Dal Biologico Weltbuil*, A. Francke, 1949.

tosto non è il tutto che ha incluso le parti come condizione della sua stessa esistenza? Queste domande generali saranno sempre presenti come substrato di tutto il nostro ragionamento.

## 2. Il sistema in ambito scientifico

### 2a. Sistema e ambiente

Abbiamo visto che con la Teoria dei sistemi s'impone come concetto cardine quello di "sistema aperto". Dal concetto di sistema aperto, viene fuori che un punto essenziale, legato alla stessa definizione di sistema, è quello di ambiente. Una teoria volta alla comprensione dei meccanismi di formazione ed evoluzione dei sistemi complessi, non può chiaramente prescindere dalla nozione di ambiente. L'ambiente è per definizione il contesto dal quale è staccato il sistema di interesse, cioè tutto ciò che non rientra nella nostra definizione di sistema. Chiaramente, poiché il sistema studiato è solitamente una piccola parte dell'universo, l'ambiente, definito per negazione del primo, tenderà a riferirsi a gran parte dell'universo. Una sua descrizione risulta quindi difficoltosa, se non addirittura impossibile, e comunque più difficoltosa della descrizione del sistema stesso. Solitamente, quindi, l'ambiente è circoscritto ai soli aspetti che afferiscono a forze o azioni aventi diretta rilevanza per il sistema. Parte del processo di modellizzazione del comportamento del sistema si riferisce proprio all'individuazione di questi caratteri ambientali.

Una fondamentale caratteristica di definizione di ambiente è legata al fatto che non c'interessa descrivere quel pezzo di realtà come un mondo materiale obiettivo nella sua totalità, ma soltanto i suoi aspetti che hanno rilevanza per il nostro sistema. In ambito fisico e chimico questo è evidente tramite la modellizzazione che è fatta dell'ambiente. Per esempio, in chimica quantistica si studia la molecola isolata e poi si connette alla molecola reale interagente con l'ambiente introducendo una modifica *a posteriori* degli stati molecolari. In ambito biologico questo traspare da concetti come lo "spazio vitale" di un organismo. Quindi, in biologia quello che noi definiamo "ambiente" sarà un'entità condizionata dai "bisogni", dagli "stimoli" o dagli "obiettivi" dell'organismo e dell'apparato percettivo di quest'ultimo<sup>8</sup>. In questo caso, un sistema è perciò delimitato dall'ambiente disponibile per effetto della sua capacità di interagire con esso e tutta la sua azione è condizionata dall'ambiente disponibile. In particolare, gli input che entrano nei sistemi aperti non sono costituiti soltanto da materiali energetici, destinati a essere trasformati o modificati dal lavoro che si svolge nel sistema, ma sono anche rappresentati da informazioni che forniscono alla sistema segnali circa l'ambiente e informazioni circa il funzionamento del sistema in rapporto all'ambiente. Se un organismo deve dare prova di adattabilità ad un particolare ambiente, i tipi di modificazioni che può avere dipendono non solo dalle caratteristiche e dalla natura del sistema, ma anche, ed in eguale misura, dall'ambiente e dalla possibilità per il sistema di "conoscerlo".

Considerando il binomio sistema/ambiente, due termini generali (anche se vengono dalla tradizione biologica dove la loro importanza è evidente) si presentano ricorrenti: quello di 'risposta' e quello di 'comportamento'. Il primo

si riferisce alla descrizione della reazione del sistema in conseguenza di un mutamento dell'ambiente; il secondo, più ampio, considera l'insieme delle risposte del sistema dinanzi a una pluralità di variazioni delle condizioni ambientali. A loro volta i concetti di 'adattamento', 'apprendimento', 'evoluzione' descrivono il modo in cui muta il sistema in risposta a ripetute sollecitazioni, fra loro simili o in qualche modo collegate, dell'ambiente.

Esistono due posizioni estreme per il rapporto tra sistema e ambiente: una posizione, che con Morin chiameremo ecologica, in cui il sistema è "immerso" nell'ambiente ed un'altra nella quale si considera l'ambiente come privo di struttura, immutabile o completamente casuale, una sorta di rumore di fondo, il che equivale a ipotizzare un'assenza di relazioni o interdipendenze specifiche fra le proprietà del sistema e quelle dell'ambiente, a tutto vantaggio di un'interazione media. La scelta della prima o della seconda opzione di fondo qualifica in maniera diversa il ruolo dell'ambiente per il sistema. Tale scelta è spesso operata in maniera implicita e porta a notevoli differenziazioni anche tra gli stessi scienziati e filosofi che lavorano sugli stessi argomenti con approcci sistemici. Basti pensare che nell'importante concetto d'autopoiesi di Maturana e Varela, l'ambiente svolge, a mio avviso, un ruolo sottostimato. Io credo, invece, ad una notevole importanza della relazione sistema-ambiente perché è attraverso lo scambio con l'ambiente che l'organismo si procura l'energia in più che gli permette di non tendere al massimo d'entropia per quelle condizioni (e creare il paradosso della fisica classica: l'ordine) e d'acquisire la capacità di raggiungere e mantenere la stabilità in uno stato stazionario indipendente dal tempo: condizione necessaria per consentire l'adattamento ai mutamenti ambientali. Tali stati stazionari differiscono moltissimo dagli stati d'equilibrio descritti dalla fisica classica (stati dei sistemi chiusi), e che sono stati utilizzati troppe volte come modelli per rappresentare le mutazioni biologiche e sociali. Negli stati d'equilibrio, infatti, una volta raggiunto l'equilibrio, il sistema non può produrre più alcun lavoro. Viceversa, lo stato stazionario permette, anzi implica, un continuo rapporto tra il sistema e il proprio ambiente e perciò non ne limita la capacità di lavorare che, se limitata, impedirebbe al sistema di adattarsi e all'organismo di sopravvivere. Per fare un esempio non biologico, la costanza della fiamma di una candela è inseparabile da uno squilibrio termodinamico, cioè da un flusso di energia che la percorre. Il flusso, invece di distruggere la fiamma, la alimenta, contribuisce necessariamente alla sua esistenza e alla sua organizzazione. Il blocco del flusso implica la morte del sistema.

Un'ulteriore cosa da chiarire riguarda la linea di demarcazione che separa il sistema dall'ambiente. Come detto, l'ambiente comprende gli oggetti e le trasformazioni che influiscono considerevolmente sul sistema materiale senza farne parte. Che cosa, tuttavia, fa parte di un sistema e cosa del suo ambiente dipende sia dalle caratteristiche specifiche dell'ente studiato (il sistema) sia dallo scopo per cui è studiato. È, infatti, evidente che la parte che s'incluse nel sistema è più correlata della parte che s'inserisce nel suo ambiente. Se tutto, infatti, fosse correlato allo stesso modo non sarebbe utilizzabile questa separazione e bisognerebbe allargare a dismisura il sistema. È questo, per esempio, il caso che si verifica nello studio della reattività chimica dove nell'atto reattivo i sistemi molecolari sono fusi in una "supermolecola", un supersistema. È altrettan-

90 <sup>8</sup> H. A. Simon, *Rational choice and the structure of the environment*, Psychological Review, vol. 63, 1956, p. 129-138, in Teoria dei sistemi, a cura di F.E. Emery, FrancoAngeli, Milano 1994, p. 241.

to evidente, tuttavia, che è lo scopo di studio del sistema a concentrarci su alcune proprietà e, quindi, a separare in un modo o nell'altro il sistema dall'ambiente. Per essere più precisi, nella coppia sistema/ambiente, il rapporto tra "l'interno e l'esterno" deve essere differenziato a seconda dell'ordine organizzativo proprio del sistema in studio e delle caratteristiche particolari che si intendono studiare. Quindi, a seconda del processo o della proprietà studiata, a seconda quindi dell'analisi a cui si vuole sottoporre l'ente, vi possono essere differenti divisioni in sistema e ambiente. Questo è vero tanto per i sistemi chiusi quanto per quelli aperti. Inoltre, per tutti i sistemi aperti, e specialmente per i sistemi viventi, esiste un rapporto così stretto tra essi e l'ambiente che in molti contesti parlare di sistema senza includervi l'ambiente può essere un non-senso. Infatti, il sistema essendosi costruito l'"interno" partendo dall'ambiente e assoggettandosi continuamente alle sue influenze, esiste in ogni momento solamente in interconnessione con l'ambiente, sebbene non come oggetto passivo che ne subisce la sua influenza.

Un'ulteriore precisazione riguarda la scala dei tempi in cui si studia un sistema. Questo aspetto non sarà qui trattato in dettaglio. Ora distinguiamo una trattazione statica ed una dinamica. Se ci si concentra su di un sistema da un punto di vista statico, esso opera in una condizione di quasi-isolamento rispetto all'ambiente. Dal punto di vista dinamico, invece, i sistemi non possono non essere visti in rapporto con il loro ambiente, ossia in rapporto d'elezione reciproca. Ad esempio, dal punto di vista dinamico, i pesci debbono essere considerati in relazione con gli altri pesci e con l'acqua del mare. Infatti, tutti i sistemi reali sono in continuo mutamento e questi mutamenti sono di due tipi: l'ambiente modifica il sistema e il sistema modifica l'ambiente. La teoria dei sistemi aperti sostiene che le influenze provenienti dall'ambiente non sono fonte di variazione e di errore per il sistema, ma sono correlate in modo integrale al suo funzionamento e che, quindi, non possiamo comprendere un sistema senza includere nello studio le interazioni che costantemente lo modificano. Pensando alla dinamica dell'organizzazione come ad un sistema chiuso ci si pone nell'incapacità di comprendere i meccanismi (come la *feedback*) necessari a farci acquisire informazioni adeguate circa i cambiamenti che intervengono nelle forze ambientali.

Vorrei chiudere questo paragrafo sull'ambiente accennando al caso umano. L'uomo, in quanto essere vivente, è un sistema altamente organizzato. L'uomo, tuttavia, non nasce isolato, ma "naturalmente" implica una famiglia. Questa unità biologica e sociologica è un sistema organizzato con proprie caratteristiche individuali da famiglia a famiglia. L'aver inserito l'uomo in una famiglia e averla definita un'unità sia biologica sia sociologica ci apre due strade che vanno entrambe percorse. L'uomo, in quanto essere vivente, è integrato in una *habitat* ambientale e come gli altri animali (e purtroppo anche di più) modifica il suo stesso ambiente naturale. L'uomo, in quanto essere sociale, è inserito in una famiglia, in un clan, in un'etnia, in uno stato, ecc. e tutti questi enti sono sistemi sociologici che sono determinati e determinano il singolo uomo. Dice Morin che l'uomo è un auto-eco-socio-organizzazione e con questa apertura sia sociale sia naturale dell'uomo non posso che concordare.

Passiamo ora ad esaminare il concetto di sistema in fisica (e più in particolare in meccanica), in chimica e in biologia.

## 2b. Il concetto di "sistema meccanico"<sup>9</sup>

Per trattare l'ente concettuale "sistema meccanico" partiamo da cosa s'intende per sistema e suo stato in meccanica. Diamo per assodato che è stato definito un ente fisico, distinto dai processi in cui è immerso, nonostante i problemi generali che esistono a riguardo<sup>10</sup> e riprecisiamo che nella meccanica il termine "sistema" è sinonimo di "ente" e non include in nessun modo il concetto di struttura o d'organizzazione. Consideriamo, quindi, un ente fisico che muta nel tempo. Tale sistema sarà assunto isolato dall'ambiente. Questa è ovviamente una limitazione, ma lo studio di sistemi fisici aperti, come quelli trattati dalla termodinamica, è praticamente assente in meccanica classica. In fisica tale ente è descritto da un'ennupla di valori di grandezze fisiche osservabili. Tale ennupla può essere divisa in due gruppi principali: le M grandezze che sono costanti (o approssimativamente costanti) nell'intervallo di tempo che c'interessa e le N-M rimanenti grandezze fisiche che si modificano in maniera sostanziale. Le prime, chiamate "variabili del sistema", formano e descrivono il sistema in esame; le seconde sono le "variabili di configurazione" (o di stato) del sistema e istantaneamente descrivono il suo stato. Questa divisione in sistema e suo stato è legata all'intervallo di tempo in esame (a priori tutte le variabili si modificano) e alla precisione della misura, cioè alla strumentazione usata per misurare le variabili. Il numero delle variabili di stato (nel nostro caso N-M) ci dà il numero di "gradi di libertà" del sistema, numero che è una caratteristica univocamente fissata per un dato sistema in meccanica. Non sono, invece, determinate le grandezze fisiche che devono rappresentare tali gradi di libertà. Tali grandezze sono, in generale, chiamate "coordinate generalizzate" di un opportuno spazio, detto delle "configurazioni". Tale spazio è essenzialmente statico e, quindi, può essere usato solo per descrivere gli stati d'equilibrio del sistema. Se definiamo anche le "velocità generalizzate", cioè le derivate rispetto al tempo delle coordinate generalizzate (saranno anch'esse N-M), possiamo definire uno "spazio delle fasi" (di dimensione  $2(N-M)$ ) dove un punto in tale spazio individua lo stato dinamico del sistema. Riassumendo, un sistema fisico isolato, nel senso della meccanica classica, è un sistema *determinato dal proprio stato*, il che significa, tra l'altro, che lo stato del sistema in qualsiasi momento può essere rappresentato da un'equazione univoca del suo *stato iniziale* e della coordinata del *tempo*. In pratica, in simili rappresentazioni teoriche lo stato del sistema in qualsiasi particolare istante è definito specificando i valori di una serie selezionata di variabili per quel dato istante e della loro variazione (derivata). Tali variabili sono chiamate *variabili di stato* e il loro numero dipende, naturalmente, dal grado d'astrazione o di semplificazione che si vuole inserire nel modello e dalle *condizioni* che si presumono costanti ai fini dell'indagine che si sta compiendo.

Fu Hamilton, nel XIX secolo, a formulare il problema dinamico in questa maniera astratta: non più in termini di coordinate spaziali e delle loro derivate rispetto al tempo (le velocità), ma introducendo coppie di variabili, *p* e *q* (coordinate e momenti generalizzati), considerate variabili indipendenti e legate da una relazione fondamentale che le

9 G. Villani, *È la molecola un sistema meccanico?*, in *Storie di chimica e oltre*, a cura di V. Villani, Aracne, Roma 2005.

10 G. Toraldo di Francia, *Tempo Cambiamento Invarianza*, Einaudi, Torino, 1994, pp. 33-40.



definisce come variabili canoniche. Così uno stesso sistema può essere descritto mediante più coppie di variabili canoniche differenti. In questo formalismo, l'energia del sistema (la somma dell'energia cinetica e potenziale) svolge un ruolo fondamentale. Espressa nelle variabili canoniche, essa costituisce l'hamiltoniana del sistema, che è lasciata invariata da tutte le trasformazioni canoniche e da tutti i possibili cambiamenti di variabili. L'hamiltoniana di un sistema permette di esprimere le equazioni d'evoluzione delle coordinate e velocità generalizzate sotto forma di  $2n$  equazioni differenziali del primo ordine. Essa genera pertanto in qualche maniera il moto del sistema. Durante il XIX secolo, e fino ai giorni nostri, gli sforzi si sono concentrati soprattutto sulla questione dell'identificazione dei problemi dinamici che possono essere effettivamente risolti in questo modo, cioè formulati in termini d'equazioni differenziali integrabili che permettano dunque il calcolo delle traiettorie a partire dalle  $2n$  variabili canoniche.

In meccanica esistono solo due forme d'energia: quella cinetica e quella potenziale. L'energia cinetica è legata alle velocità generalizzate, ed è sempre esprimibile in una forma quadratica. L'energia potenziale, invece, è legata alle coordinate generalizzate, e può assumere diverse forme matematiche in differenti sistemi. La somma dell'energia cinetica e dell'energia potenziale è l'energia totale del sistema e si deve conservare. Un punto importante da evidenziare è che in meccanica esiste una differenza sostanziale tra l'energia cinetica e quella potenziale. Mentre la prima può essere sempre scritta come una somma di contributi, ciascun pertinente ad un singolo grado di libertà, non è sempre vero che ciò valga anche per l'energia potenziale. Infatti, se fosse sempre vero che ambedue le forme d'energie possono essere scritte come somma di  $N-M$  contributi, ciascun relativo ad un singolo grado di libertà, si avrebbero  $N-M$  equazioni dinamiche indipendenti, una per ciascun grado di libertà, e per ognuno varrebbe un principio di conservazione dell'energia e nessuno scambio sarebbe possibile tra i diversi gradi di libertà che descriverebbero un sistema a  $N-M$  gradi non interagenti. Viceversa, un'energia potenziale che sia una funzione non decomponibile delle coordinate costituirà un "serbatoio comune" attraverso il quale i diversi gradi di libertà potranno, come risultato finale, scambiarsi energia cinetica. Esistono, poi, per i sistemi integrabili (sotto classe dei sistemi dinamici) delle trasformazioni canoniche che hanno per effetto di annullare il termine d'energia potenziale. Tutta l'energia del sistema è con ciò attribuibile ad opportune *particelle* del sistema prese isolatamente, particelle definite dalla trasformazione canonica. Tali particelle, in questa descrizione, sono non-interagenti le une con le altre e, quindi, si muovono (hanno solo energia cinetica) in maniera indipendente. Ciò non vuol dire che si sia dimostrato che gli oggetti sono "realmente" indipendenti e le interazioni illusorie. Il formalismo hamiltoniano ha *assunto* che tutte le interazioni sono della stessa natura ed eliminabili mediante una trasformazione di variabili che le contenga tutte allo stesso modo, generando una descrizione in termini di oggetti indipendenti che evolvono spontaneamente. Questo tipo di formulazione fa apparire in modo evidente una delle caratteristiche essenziali dei sistemi conservativi descritti dalla dinamica hamiltoniana: la loro completa determinazione mediante le condizioni iniziali. La formulazione hamiltoniana mette in evidenza la proprietà es-

senziale di tutti i sistemi dinamici integrabili: il determinismo dell'evoluzione. In ciascun istante, lo stato del sistema è interamente determinato da quello che era lo stato iniziale e risalta il carattere essenzialmente statico di questa evoluzione dinamica: la traiettoria di ciascun punto indipendente è definita da un'invariante e lo studio dell'evoluzione delle variabili è ricondotto alla definizione di variabili tali da permettere di ricondurre l'evoluzione stessa a invarianza.

Ogni sistema fisico in meccanica classica è costituito da un insieme di "punti materiali", cioè punti dotati di massa, ciascuno dei quali possiede tre gradi di libertà, rappresentati dalle sue coordinate spaziali. In meccanica, quindi, ogni sistema fisico è costituito da un insieme di  $P$  particelle (atomi, molecole, ecc.) con  $3P$  gradi di libertà ed il suo stato ad ogni istante è determinato da  $6P$  valori. In meccanica esistono leggi generali del moto, che si traducono in un insieme d'equazioni differenziali, che, una volta risolte, permettono di ottenere le funzioni che descrivono l'evoluzione temporale di tutti i punti materiali. Tali funzioni ci danno una traiettoria nello spazio delle fasi per ogni singolo punto materiale e l'insieme delle traiettorie ci dà la trasformazione nel tempo di uno stato del sistema. Ogni traiettoria resta interamente fissata una volta noto un suo punto (determinato dalle condizioni iniziali). Tale traiettoria descrive, quindi, la storia completa (passata, presente e futura) del nostro punto materiale e l'insieme dei punti materiali quella del sistema, che è del tutto determinato e deterministico.

In sintesi possiamo riassumere lo schema meccanico: ogni corpo può essere decomposto in un insieme di particelle, ciascuna con la propria energia cinetica e con un'energia potenziale dovuta alla configurazione globale dell'insieme. Per ognuna di queste particelle esiste una traiettoria nello spazio delle fasi che determina in maniera univoca la sua evoluzione temporale e per la quale passato e futuro hanno lo stesso valore determinato.

Vi è un ultimo appunto a questo schema meccanicistico che qui vogliamo solamente segnalare. Per prima cosa l'esperienza mostra che per quanto dettagliata sia la dissezione del corpo nelle sue parti (particelle) esistono sempre nei processi reali dei gradi di libertà non inclusi che rendono il sistema "dissipativo". Se vogliamo, quindi, avere una conservazione dell'energia occorre introdurre un'altra forma d'energia (detta "interna"), e strettamente legata all'entropia, che non può essere collegata direttamente alle coordinate e alle velocità generalizzate, cioè non è "meccanica". Il determinismo ideale si scontra, quindi, con i fatti reali che, a causa dei processi dissipativi, sottraggono continuamente energia ai gradi di libertà della descrizione dinamica, riducendo prima o poi il sistema alla quiete. È quello che Prigogine chiama il tempo-reale della biologia contrapposto al tempo-illusione della fisica<sup>11</sup>. In esso gli oggetti non riescono a permanere in stato di moto senza che qualche sorgente di energia non li rifornisca continuamente e il moto uniforme non è uno stato naturale, ma uno stato mantenuto a prezzo di una costante produzione di entropia.

## 2c. Sistemi chimici

Lo scopo di questo paragrafo è di ricercare il concetto di sistema, come da noi inteso (realtà strutturata), nell'ambi-

11 I. Prigogine, *La nuova alleanza*, Einaudi, Torino, 1981, pp. 273 sgg.

to della chimica e di mostrare le differenze e le similitudini con il sistema meccanico già trattato. La chimica, come detto, lavora su due piani: quello macroscopico delle sostanze pure (elementi e composti) e quello microscopico degli atomi e delle molecole. Svilupperemo, di conseguenza, il concetto di sistema chimico su ambedue i piani. In particolare, ci concentreremo sul concetto di *composto chimico* nel piano macroscopico e sull'aggregato strutturato d'atomi, la molecola, nel piano microscopico.

A differenza della fisica, ambedue questi tipi di sistemi chimici svolgono un ruolo fondamentale in questa disciplina, configurando, quindi, la chimica come la prima vera scienza sistemica e proponendola come uno snodo essenziale per guardare al mondo materiale (inanimato e animato) in un'ottica non riduzionista e plurale. Infatti, già prima di cercare il concetto di sistema in biologia, la visione del mondo materiale che viene fuori è articolata, con un approccio riduzionista ed uno olistico, con un'ottica fisica incentrata sul "semplice" ed un'ottica chimica sulla "complessità". Da un punto di vista culturale e filosofico, la peculiarità del mondo chimico è quella di essere un mondo ricco qualitativamente: i suoi tipi d'enti (molecole e composti), milioni, sono tutti diversi gli uni dagli altri al punto da meritare un nome individuale. È questa sua caratteristica che rende la chimica atta a spiegare tanto il complesso mondo macroscopico inanimato, fatto d'oggetti diversi sotto tanti punti di vista qualitativi, quanto, l'ancora più complesso, mondo vivente.

Anche dal punto di vista strettamente scientifico, i livelli di complessità delle molecole e dei composti chimici presentano delle peculiarità: sono il gradino precedente la biforcazione tra il mondo inanimato e quello animato. Rispetto al mondo vivente, le molecole ed i composti sono i livelli di studio immediatamente precedente e sono, quindi, fondamentali nel suo studio, come la biochimica sta ad evidenziare. Essi sono, tuttavia, anche i livelli immediatamente precedenti degli oggetti inanimati macroscopici che ci circondano ed anche per essi il mondo molecolare e quello dei composti chimici diventano il referente di spiegazione.

Iniziamo dal livello macroscopico per poi proseguire con quello microscopico, seguendo sia un metodo storico sia un metodo epistemologico.

Un punto essenziale nella genesi del concetto di composto chimico, come è ora concepito, è stato quello di superare la visione che tali sostanze fossero strettamente legate alla "metodologia" di ottenimento e che, quindi, fossero di numero infinito. A prima vista, può sembrare strano che per il concetto moderno di elemento si è dovuto procedere verso una pluralità (dai quattro elementi di Aristotele ai trentatré di Lavoisier<sup>12</sup>) e per quello di composto ridurre la sua pluralità (da infiniti a moltissimi). In realtà, la logica riduzionista che porta a pochi elementi presuppone che i composti siano infiniti in quanto mescolanza senza creazione di nuovo. La logica olistica, invece, presuppone a tutti i livelli una complessità intermedia tra "pochi" e "infiniti". Ritornando ai composti chimici quindi, l'idea, alchemica prima che chimica, che essi fossero in numero infinito costituiva un ostacolo da rimuovere verso l'attuale visione chimica. Nel Seicento e Settecento quasi tutti i chimici ragionavano secondo l'ot-

tica riduzionista. Per esempio nel 1706 W. Homberg nel suo *Essays de chimie* diceva che, poiché la sostanza di un corpo composto consisteva esclusivamente nell'assemblaggio delle materie di cui era composto, se si fosse cambiato quest'assemblaggio (o raggruppandone le parti in altro modo o aumentando qualcuna di queste parti), poiché tali possibilità erano in numero infinito, era chiaro che il cambiamento di sostanza poteva essere anch'esso infinito. Inoltre, Homberg riteneva che erano le innumerevoli circostanze concrete alle quali avvenivano le reazioni chimiche a dar luogo alla serie continua e infinita di composti diversi: "La materia della luce producendo le materie solforose, si introduce nella sostanza dei corpi, ne cambia l'arrangiamento delle parti e le aumenta, e di conseguenza cambia la sostanza stessa di questi corpi in tutti i modi in cui essa può differentemente collocarsi e in quantità differente, la qual cosa produce una varietà infinita; in modo tale che se si volesse paragonare la varietà delle materie che esistono, a quella che potrebbe esistere per mezzo di tutte le combinazioni possibili, noi saremmo obbligati a dire che l'Universo conosciuto è ben poca cosa in confronto di ciò che potrebbe essere, e anche se si avessero numerosi Mondi come il nostro, essi potrebbero essere tutti forniti di oggetti differenti senza cambiare la materia, né la maniera in cui questi oggetti sarebbero composti; la qual cosa dimostra una ricchezza ed una potenza infinita dell'Essere che ha prodotto l'Universo"<sup>13</sup>. L'idea della esistenza in natura di un *continuum* di composti chimici sviliva il significato e l'importanza degli effettivi composti ricavati sperimentalmente. Essi, infatti, erano solo legati alle capacità storiche della sperimentazione chimica e, quindi, anche ogni loro classificazione era artificiale e limitata: l'essere strettamente legati alle condizioni delle reazioni abbassava lo *status ontologico* dei composti chimici.

All'inizio dell'Ottocento si opposero due visioni dei composti chimici e di conseguenza anche del loro numero: quella di Claude Louis Berthollet [1748-1822] e quella di Joseph Louis Proust [1754-1826]. Nel 1799 con la *Recherches sur le loi de l'affinité* e nel 1803 con l'*Essai de statique chimique*, Berthollet costruì la sua teoria sulle affinità chimiche, e qui ne analizzeremo solamente il corollario che riguarda il numero dei composti chimici. Per Berthollet il numero dei composti chimici era infinito ed in particolare dalla mescolanza di due reagenti si otteneva una serie infinita di prodotti la cui proporzione nei reagenti era sempre compresa tra due valori limite, un minimo ed un massimo. L'esistenza di due punti limite in un composto di due elementi, e quindi l'impossibilità di infiniti altri composti accanto agli infiniti possibili, emancipava parzialmente i composti chimici dalle circostanze di reazione in quanto vi erano dei composti non ottenibili, in qualunque circostanza di reazione. Dall'altra parte, a seguito di ricerche sperimentali soprattutto sugli ossidi metallici del ferro, del rame e dello stagno, Proust enunciò la sua *legge delle proporzioni definite* secondo la quale ogni composto chimico era costituito da una proporzione fissa e costante dei componenti, indipendentemente dalle condizioni sperimentali nelle quali esso era formato. Le ricerche di Proust ebbero un discreto successo e la legge

12 G. Villani, La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole, CUEN, Napoli, 2001, Cap. 1.

13 W. Homberg, Suite de l'article trois des *Essays de chimie*, in A. Di Meo, in *Riflessioni sulla Chimica: radici, specificità, attualità e prospettive*, a cura di G. Villani, Nuova Civiltà delle Macchine, Rai-Eri, Vol. 3 2004.

delle proporzioni definite prevalse sull'ipotesi continuista di Berthollet.

La conseguenza principale nell'ambito epistemologico della legge delle proporzioni definite di Proust è che essa configura definitivamente i composti chimici come entità individuali da ricercare e determinare. Il problema della nomenclatura ne è una normale conseguenza. Se i composti chimici fossero stati infiniti avrebbe avuto poco senso ricercare per loro un nome che non fosse una pura etichetta, ma che fosse, per così dire, "naturale". Ora, invece, che ogni composto chimico è "a proporzioni definite" vale la pena di determinarne la formula e di legarla alle sue caratteristiche fisiche e chimiche. Ovviamente le circostanze di laboratorio, ora come allora, determinano la realizzazione o meno di un determinato composto, ma nessuna circostanza può generale le proporzioni non frazionarie (diverse cioè da 1/2, 1/3, 2/3, ecc.) e condizioni differenti possono dare lo stesso composto che è identico, per esempio, sia che venga ottenuto per sintesi in laboratorio sia che venga estratto da un prodotto naturale. Questo è oggi ritenuto più che ovvio, quasi naturale e, di conseguenza, non si riflette e non si fa apprezzare all'allievo in ambito didattico, lo sforzo per giungere a questa conclusione tutt'altro che ovvia e banale.

Il concetto di molecola è relativamente moderno, anche se può fare sfoggio d'antenati importanti, e questo non è strano in un'ottica riduzionista. Che la materia fosse formata da aggregati (formati in maniera più o meno casuale) d'atomi era un'idea presente già in Democrito, padre dell'atomismo greco, come abbiamo detto. Tuttavia, a lungo nessuno si era occupato di evidenziare e studiare questi aggregati, che restavano, quindi, gruppi d'atomi le cui proprietà erano quelle medie degli atomi costituenti, né di attribuire loro un nome. È, infatti, con l'attribuzione di un nome che si evidenzia un nuovo *status* ontologico di questi enti che passano da aggregati (insieme d'atomi) a molecole (sistema d'atomi). Quando una porzione di materia ha un suo nome specifico significa che si vuole mettere in evidenza la sua individualità (proprietà specifiche) e tale molecola si può usare come un soggetto d'azione. La visione del mondo microscopico fatta d'aggregati senza particolari sistemi da evidenziare trovava la sua controparte nel mondo macroscopico delle sostanze chimiche nell'idea che le sostanze semplici fossero poche (si pensi alle quattro sostanze d'Aristotele) ed era solo la loro combinazione che creava una materia dall'apparenza così varia.

Nell'atomismo classico, esisteva sia un ostacolo epistemologico sia un ostacolo scientifico alla definizione di un concetto analogo all'attuale concetto di molecola. Da un punto di vista epistemologico, l'atomismo classico è stato probabilmente la prima filosofia riduzionista nel senso che uno dei suoi scopi primari era di eliminare tutte le differenze qualitative che esistevano tanto a livello macroscopico quanto a quello microscopico. In quest'ottica, la molecola come ente strutturato (sistema) distinto dall'insieme degli atomi era incomprensibile. Nella stessa logica filosofica si muove la fisica odierna (meccanica quantistica). L'insieme di enti atomici è per essa un aggregato non un sistema e niente di nuovo si genera mettendo insieme un gruppetto di atomi. Dal punto di vista scientifico poi, per Democrito, gli atomi non perdevano la loro identità nel processo di aggregazione e restavano in contatto, giustapposti. Aristotele criticò l'atomismo perché questi atomi non potevano nelle

aggregazioni formare nuove entità. Da questo punto di vista, gli atomisti negavano l'individualità delle sostanze composte. Aristotele era su questo punto più consono con la visione chimica moderna: i costituenti nel formare i composti danno vita a sostanze nuove e non a semplici giustapposizioni di elementi preesistenti. L'impenetrabilità e l'eternità degli atomi democritei rendevano la visione odierna delle molecole impossibile.

Nel XIX secolo il concetto di molecola a lungo è stato confuso con il concetto d'atomo. Alla fine del XVIII secolo e agli inizi del XIX i chimici francesi assegnavano il termine *molécule* al limite di divisibilità delle sostanze, mentre i chimici inglesi usavano con lo stesso significato il termine *atom*. Parte della confusione veniva dal fatto che i chimici non riuscivano ad immaginare che le molecole d'alcuni elementi (idrogeno, ossigeno, ecc.) fossero formate da più atomi (H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, ecc.). Dalton aveva escluso che potesse esistere un legame tra due atomi uguali. In conseguenza del fatto che con l'espressione "particella" una volta s'intendeva l'atomo e un'altra volta la molecola si manifestò un'evidente contraddizione tra le ipotesi di Dalton e quelle di Gay-Lussac. Avogadro, nel 1811, rimosse queste contraddizioni ed iniziò a distinguere questi due concetti di particella elementare, ma il suo lavoro fu a lungo sconosciuto. Uno dei primi ad aver chiaramente capito l'indispensabilità di una chiara delimitazione dei concetti d'atomo e di molecola fu M. A. A. Gaudin. Avendo nettamente definito tali concetti, Gaudin introdusse per i gas elementari la distinzione in molecole monoatomiche, biatomiche e poliatomiche. Egli scriveva che una molecola di gas idrogeno combinandosi con una molecola di gas cloro dava due molecole di gas acido cloridrico; affinché ciò avvenisse era necessario che le molecole originali si dividessero in due parti e poiché queste due mezze molecole non potevano più ulteriormente dividersi noi le consideravamo degli atomi. Tale autore, per primo, scrisse correttamente la sintesi dell'acqua  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ , in cui appare chiara la biatomicità della molecola dell'ossigeno e dell'idrogeno, ma neanche questo lavoro chiarì definitivamente la situazione. Nel 1848 ci provò Gerhardt a chiarire la differenza tra atomo e molecola. Egli diceva che l'atomo era indivisibile, ma esso non esisteva allo stato libero isolato; la molecola era un raggruppamento d'atomi tenuti insieme dall'attrazione della materia. Questo gruppo era divisibile con i normali mezzi chimici.

Fu il lavoro di Cannizzaro a risolvere definitivamente la questione della differenza tra atomo e molecola. Basandosi sulla misura della densità di vapore delle sostanze elementari e dei composti, utilizzando i calori specifici per il controllo dei pesi atomici, come pure il criterio dell'isomorfismo per rivelare le anomalie nella "costituzione molecolare", Cannizzaro diede un nuovo sistema di pesi atomici per 21 elementi, risultati poi tutti sostanzialmente corretti. A seguito della relazione di Cannizzaro a Karlsruhe del 1860 fu accettata la seguente proposta: "si propone di adottare concetti diversi per molecola e atomo, considerando molecola la quantità più piccola di sostanza che entra in reazione e che ne conserva le caratteristiche fisiche e intendendo per atomo la più piccola quantità di un corpo che entra nella molecola dei suoi componenti".

Il concetto di molecola svolge un ruolo fondamentale nella scienza attuale e non solo. Il sottotitolo del mio libro *La chiave del mondo* recita "dalla filosofia alla scienza:



l'onnipotenza delle molecole". Tale concetto può essere utilizzato per tutti gli enti materiali, costituendo un particolare approccio scientifico allo studio della materia (approccio chimico per composizione). È tale concetto, infatti, che ci consente di padroneggiare la complessità qualitativa e quantitativa del mondo macroscopico trasportandola in parte nel mondo microscopico. È in questo modo che si evita l'alternativa tra la semplicità (uno o pochi elementi microscopici) o la completa complessità (infinite sostanze microscopiche, tante quante sono le sostanze macroscopiche uniformi come il vino, il legno, ecc.). L'universo molecolare con milioni d'individui differenti, ognuno con un nome proprio, può rappresentare inoltre il collegamento tra il "semplice" mondo della fisica e il "complesso" mondo biologico e fare anche da prototipo di spiegazione per branche scientifiche (come le scienze umane) difficilmente strutturabili intorno al concetto di legge, tipico dell'approccio fisico <sup>14</sup>.

Confrontiamo adesso il concetto di molecola e quello di sistema meccanico. Consideriamo il seguente sistema meccanico: un gruppo di palle in movimento su di un tavolo da biliardo. L'unica interazione meccanica possibile tra i costituenti del sistema è l'urto, cioè un'interazione istantanea e a contatto, trascurando ovviamente l'attrazione di gravità. Tale interazione modifica solamente le velocità delle palle in un sistema ideale (urto elastico). Questo sistema meccanico rappresenta bene l'idea della materia degli atomisti classici: gli atomi erano pezzi di materia perfettamente elastici che si urtavano in uno spazio vuoto. Non v'è dubbio che le velocità di due sfere che siano entrate in collisione in un dato istante rimangono fra loro *correlate* dopo l'urto a causa della legge di conservazione della quantità di moto (o se si vuole dell'energia). Precisando meglio il concetto di correlazione, possiamo dire che due grandezze  $v_A$  e  $v_B$  (e con loro i sistemi fisici e cioè le due sfere A e B) non sono correlate quando la probabilità *congiunta* di trovare la sfera A alla velocità  $v_A$  e la sfera B alla velocità  $v_B$  è uguale al prodotto delle probabilità  $P(v_A)P(v_B)$ . Se la velocità di una pallina dipende da quella di un'altra con cui ha colliso ovviamente la probabilità congiunta non può essere il semplice prodotto delle probabilità. Nel caso più semplice di due palline uguali che si urtano di cui la prima, A, in moto a velocità  $v_A$  e la seconda, B, ferma si ottiene dopo l'urto A ferma e B con velocità  $v_A$ . In generale, quando due corpi, A e B, con velocità  $v_A$  e  $v_B$  collidono, le velocità risultanti saranno funzione di entrambe le velocità iniziali.

L'istaurarsi di una correlazione dopo un'interazione non è specifica solamente dell'urto, ma è valida per due qualunque sistemi che siano stati in muta interazione nel passato, anche se al presente non lo sono più. La correlazione fra gli eventi appare, quindi, come una *memoria* di fatti accaduti nel passato. In questo contesto possiamo tradurre la proprietà di omogeneità del tempo asserendo che la memoria di un fatto permane inalterata finché non accade qualche nuovo evento: il puro e semplice scorrere del tempo non altera il ricordo, che continua ad essere presente in termini di correlazioni, e la misura dell'effettivo *isolamento* di un sistema potrà essere vista come maggiore o minor durata della memoria. Se ora una sfera A, dopo avere urtato la sfera B, urterà una nuova sfera C, la

correlazione tra A e B si trasferisce anche a C che "ricorderà" anche l'urto A-B. Come è facile intuire, a causa dei successivi urti si ha una crescita delle correlazioni che però divengono singolarmente sempre più deboli. Dopo un certo tempo la velocità di una qualunque sfera sarà determinata da tutte le miriadi di urti precedentemente subiti, mentre l'influenza di un singolo urto accaduto nel passato diventerà sempre più piccolo, al limite trascurabile. La stessa diffusione delle correlazioni accade per un insieme qualunque di oggetti che siano stati "uniti" da qualunque interazione, anche diversa dall'urto. Secondo Prigogine è proprio questa diffusione e crescita delle correlazioni che rappresenta fisicamente la freccia del tempo, ossia la sua *unidirezionalità*. La grandezza teorica deputata a quantificare la *direzionalità* del tempo è l'*entropia*, mentre l'energia (o meglio la sua conservazione) ne riflette la sua *omogeneità*.

Poniamoci ora la domanda se il nostro insieme di palle disposte in un certo modo su di un tavolo da biliardo costituisca o no un ente strutturato, un sistema. Certo ogni insieme di oggetti fermi ha una determinata posizione relativa e se per struttura si intende solo la disposizione spaziale quest'insieme ha una determinata struttura. Io credo, come dovrebbe essere a questo punto evidente, che il concetto di struttura, nel caso di enti materiali, implichi senz'altro una disposizione spaziale delle parti costituenti, ma non si esaurisca in essa. Credo che più rispondente all'uso che la scienza fa del concetto di struttura sia l'evidenziare le seguenti proprietà. Si dice che una sistema è dotato di struttura quando l'insieme delle parti costituenti presenta due caratteristiche: tali parti sono in certe relazioni stabilite, e per un tempo sufficientemente lungo rispetto ai fenomeni che si stanno considerando, e tali relazioni modificano i componenti rendendo specifica ed unica questa aggregazione, trasformano cioè un aggregato in un sistema. Una volta che il concetto di struttura è definito in questi termini possiamo senz'altro affermare che un insieme di palle da biliardo non costituisce una struttura ed un insieme di atomi sì. Tutto ciò si riconnette alla difficoltà, già evidenziata, per l'atomismo classico di concepire il concetto di struttura e di spiegare, quindi, l'insorgere delle proprietà nuove in un composto. La mancanza del concetto di struttura ha sempre resa l'aggregazione atomica qualcosa di *puramente meccanica* e non in grado di spiegare il *nuovo* che emergeva nel momento in cui si andava a formare una vera e propria molecola.

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 si parla di atomi *in situ*. Consideriamo, per esempio, quattro molecole che contengono atomi d'idrogeno:  $H_2O$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_5OH$ ,  $C_6H_6$ . Ogni chimico sa bene che l'idrogeno dell'acqua è diverso (per esempio è più acido) di quello del metano, che nell'alcol etilico vi sono due tipi differenti di idrogeni e ambedue differenti da quelli dell'acqua e del metano e lo stesso dicasi per il benzene. Ovviamente se indichiamo con lo stesso simboli (H) questi atomi qualcosa devono pure avere di simile e tuttavia non sono identici. Potremmo dire con Morin, che le proprietà di eguaglianza e di diversità sono ambedue presenti.

Le definizioni classiche della struttura molecolare 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

<sup>14</sup> G. Villani, *A lezione dalle molecole*, KOS, nuova serie n. 203-204, p. 34.

tali legami generano sugli atomi costituenti. È questa modifica, dovuta all'interazione specifica ed unica tra gli atomi, che costituisce il sistema molecolare, 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 una struttura perché le palle continuano ad essere identiche alle stesse palle separate. È in questo senso che si afferma 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, in senso generale, come abbiamo già detto, l'importanza del problema delle parti e delle loro qualità all'interno del tutto era stato intuito da Aristotele ed era fondamentale per i filosofi medievali.

## 2d. Sistemi in biologia

Dopo aver trattato nei paragrafi precedenti i sistemi materiali inanimati, concentriamoci ora sui sistemi viventi. Gli organismi viventi, più delle molecole, si differenziano dai sistemi fisici e, quindi, esiste tutto un ambito filosofico che li ha da sempre differenziati. Come già detto, uno degli scopi di questo lavoro è di evidenziare l'impossibilità concettuale, e non solo pratica, del riduzionismo e, quindi, della riduzione della biologia a chimica e della chimica alla fisica. Tuttavia, come già è stato detto, altrettanto importante per il lavoro è di evitare la dicotomia inanimato-animato che porta a due riduzionismi distinti per i due ambiti. La divisione tra sistemi aperti e sistemi chiusi, di cui si è già parlato, è anch'essa funzionale a questo scopo. Questi due tipi di sistemi hanno caratteristiche molto diverse e rappresentano effettivamente uno spartiacque importante. Va comunque evidenziato e ripetuto che, sebbene i sistemi viventi siano i principali e più importanti sistemi aperti, il concetto di sistema aperto si applica anche in ambito fisico e in quello chimico. In quest'ottica la differenza tra sistemi non è, quindi, tra inanimato e animato, ma tra sistema aperto e sistema chiuso e questa differenziazione non è una dicotomia ontologica, ma due tipi differenti di modelli per i sistemi. Nella rimozione della dicotomia animato-inanimato, un ruolo chiave è svolto dalla chimica. La sua autonomia, la sua irriducibilità, moltiplica le differenze e le stempera. L'idea che sorregge questo lavoro è che gli enti strutturati od organizzati, i sistemi, sono presenti in molti ambiti e, quindi, creano differenze epistemologiche e non dicotomie. La molecola, come abbiamo visto, è da questo punto di vista paradigmatica, ma torniamo al vivente.

Il rapporto parte-tutto è estremamente complesso nei sistemi viventi: le parti viventi sono dei "tutti" e i "tutti" viventi sono delle parti. Per dirla con Koestler<sup>15</sup>: "Nel campo della vita, non esistono né parti né totalità in senso assoluto". Anche all'occhio inesperto di questioni filosofiche, appare subito evidente che una caratteristica essenziale del vivente è quella di sottrarsi alla scomposizione. Un organismo è vivente solo fin quanto è "tutto intero"; qualunque divisione sostanziale "uccide" l'organismo.

In biologia, la pratica analitica metodologica e non ideologica è utile, rinforza l'immagine di una natura vivente a strati progressivamente *emboitées*<sup>16</sup> e produce un'ana-

logia di fondo tra la ricerca microscopica del mondo fisico e la ricerca particellare delle scienze biologiche<sup>17</sup>. Anche in biologia è cresciuto, infatti, l'uso degli *osservabili*, entità invisibili ad occhio nudo, che, così come le strutture atomiche, possono essere oggetto di studio solo mediante potenti protesi tecnologiche. Tuttavia, queste analogie sul piano tecnico, non devono essere viste come similitudine di approccio epistemologico. Infatti, sebbene tanto in fisica come in biologia, o almeno in alcuni settori di entrambe, conoscere la realtà può significare anche decomporla nelle sue parti minime costituenti, il risultato globale è differente. In fisica, la rivoluzione analitica-riduzionista ha posto al centro l'elaborazione astratta di modelli semplici e di calcoli astratti. Invece, il mondo biologico è ed è rimasto *plurale e prorompente*, individuale ed irriducibile. Anche le prime osservazioni "in profondità" di infusori e protozoi, hanno evidenziato al naturalista un mondo multiforme e decisamente inatteso, più che il mondo asettico del microscopico fisico.

L'aspetto analitico della scomposizione in infinitesimi non può disinteressarsi del problema, basilare in biologia, delle relazioni circolari tra parti e intero e del loro trasformarsi nel tempo, cioè dalle parti concepite anteriori agli interi, più che collegate attraverso relazioni di assemblaggio. Sebbene nel riduzionismo recente e più sofisticato<sup>18</sup>, i *feedback* che integrano e definiscono le funzioni derivandole dalle parti e retroagiscono sullo stato di queste ultime, complicano il problema delle parti nel tutto, è indubbio che la vecchia ottica riduzionista del "conoscendo le caratteristiche delle parti, più le loro relazioni reciproche" si determina il tutto non regge. L'importanza di questa spiegazione circolare nei sistemi in generale, e, quindi, in quei sistemi biologici che sono gli organismi viventi è qui evidente.

Secondo alcuni, vi è una nuova forma di riduzionismo in biologia, non più fiscalista e meccanicista, ma informazionale, legata alla decodifica del DNA. Monod dopo aver definito gli esseri viventi "macchine chimiche" aggiunge<sup>19</sup>: "Come ogni macchina, ogni organismo, anche il più semplice, rappresenta un'unità funzionale coerente e integrata. È ovvio che la coerenza funzionale di una macchina chimica tanto complessa, e per di più autonoma, esige l'intervento di un sistema cibernetico che controlli in più punti la sua attività". È infatti evidente che, anche se gli enzimi svolgessero alla perfezione il loro compito reazione per reazione, il metabolismo cellulare finirebbe inevitabilmente nel caos se tali reazioni non fossero subordinate le une alle altre. In realtà, l'aspetto informazionale può essere inglobato tanto nel contesto riduzionista quanto in quello olistico. Infatti, la genetica molecolare è una forma di riduzione *sui generis* (non più fisico-chimica, ma basata sulle scienze della comunicazione). Più che di riduzionismo in senso classico, qui si deve parlare di un "prestito metaforico" che, tra l'altro, non lascia invariato il linguaggio tratto dalla teoria delle comunicazioni: codice, traduzione, errore di copiatura ecc. sono altrettanti termini teorici costitutivi dei dizionari della genetica, che si applicano alla interpretazione e spiega-

17 E. Gagliasso, *Verso un'epistemologia del mondo vivente*, Guerini, Milano, 2001, pp. 63-64.

18 S. M. Amsterdamsky, *Riduzione*, in Enciclopedia, vol. 12, Einaudi, Torino, 1981; E. Gagliasso, cit., p. 89.

19 J. Monod, *Il caso e la necessità*, Mondadori, Milano 1997, pp. 45-46.

15 A. Koestler, *Il fantasma dentro la macchina*, SEI, Torino 1971, p. 317.

16 F. Jacob, *La logica del vivente*, Mondadori, Milano, 1971.

zione del significato del DNA e del suo funzionamento in maniera diversa dagli omologhi termini della scienza delle comunicazioni. È sicuramente vero che per cogliere il significato e la portata della decodifica del DNA ad opera di Watson e Crick, non si può non avere presente ciò che in quegli stessi anni avviene nel mondo delle scienze delle comunicazioni, con l'elaborazione del concetto di "informazione" di Shannon e Weaver. Tuttavia, bisogna anche vedere come tale concetto, esportato in genetica, è stato modificato da quello cibernetico.

Chiuderei questo paragrafo rifacendomi a Morin, la cui posizione sul problema apertura-chiusura dei sistemi viventi è da me condivisa. Il concetto di ambiente deve diventare ecosistema, cioè un ambiente naturale unitario (un sistema appunto) costituito dagli esseri viventi che vivono in quella "nicchia" (biocenosi), dall'ambiente inorganico (biotopo) e da tutte le interazioni. Per ogni essere vivente l'ecosistema è assai più di una riserva di cibo o di una fonte di entropia negativa da cui l'essere ricava organizzazione, complessità, informazione. È una delle dimensioni della vita, non meno fondamentale dell'individualità, della società, del ciclo delle riproduzioni. L'ambiente coopera, infatti, in permanenza con l'organizzazione degli esseri viventi che sono, quindi, in permanenza eco-dipendenti. Gli esseri eco-dipendenti hanno una doppia identità: un'identità propria che li distingue e un'identità di appartenenza ecologica che li collega al loro ambiente. Dice Morin <sup>20</sup>: *"Tali esseri possono costruire e mantenere la loro esistenza, la loro autonomia, la loro individualità, la loro originalità, solo nel rapporto ecologico, cioè in e attraverso la dipendenza nei confronti del loro ambiente. Nasce di qui l'idea alfa di ogni pensiero ecologizzato: l'indipendenza di un essere vivente ne richiede la dipendenza nei confronti dell'ambiente che lo circonda"*. L'apertura ecologica garantisce al sistema un rapporto insieme energetico, materiale, organizzativo ed esistenziale con l'ambiente. Vediamo, quindi, che l'apertura ecologica non è una finestra sull'ambiente: l'organizzazione così aperta non si inserisce nell'ambiente come la semplice parte di un tutto. L'organizzazione e l'ambiente sono, pur rimanendo distinti l'una dall'altro, *l'una nell'altro*. L'esistenza è contemporaneamente immersione in un ambiente e distacco rispetto a tale ambiente. Da un lato "non si dà alcuna possibilità di esistenza distaccata e autonoma", dall'altro ci vuole un certo distacco, una certa autonomia, cioè un minimo di individualità, per esistere. L'apertura del sistema è, quindi, assai più radicale di quella termodinamica. Essa è ancor più profonda di quanto avessero pensato gli scopritori del "sistema aperto", i quali avevano colto solo i caratteri esterni del fenomeno (input/output, stato stazionario). Essi avevano certo svelato l'importanza capitale del rapporto ecologico, ma senza trarne tutte le conseguenze. L'apertura è una nozione ad un tempo organizzativa, ecologica, ontologica, esistenziale. Questa nozione di portata polidimensionale richiede una completa riorganizzazione intellettuale.

Vi sono ancora due aspetti fondamentali da tenere presente, uno riguarda tutti gli esseri viventi e l'altro l'uomo. Quella ecologica è, per così dire, un'apertura "spaziale" nel senso che l'essere vivente è immerso in uno spazio, vivente e non. Esiste poi un'apertura "temporale". Qui

non vogliamo intendere il tempo di vita dei singoli esseri viventi, ma il fatto che al loro interno esiste un qualcosa che li trascende temporalmente sia verso il passato sia verso il futuro: il loro patrimonio genetico. Il patrimonio genetico di ogni individuo è qualcosa che viene da lontano nel tempo, dalla notte dei tempi, dalla nascita della vita e che si protende nel futuro. Questa entità trascende gli individui e crea una storia naturale in cui posizionarli. Questo vale per tutti gli esseri viventi, dai monocellulari all'uomo e questa trascendenza temporale, tramite la riproduzione, è parte definitoria del singolo individuo.

Per l'uomo poi esiste un'ulteriore trascendenza spaziotemporale che è quella della società in cui nasce e vive e che è parte dell'individuo, che lo relazione al tutto, non meno di quella ecologica, al suo ambiente "umano". Parte integrante di questa trascendenza umana è la cultura che non è l'elenco dei "grandi" del passato o delle loro opere, ma la stessa vita "interiore" di ognuno, che tutti, e in modo un po' maggiore i "grandi" del passato, contribuirono a creare e propagare.

### 3. Conclusione

Da quanto detto, dovrebbe trasparire evidente l'importanza del concetto di sistema in scienza. Eppure esso è così ben nascosto in fisica e in chimica che sembra proprio tale concetto la base della dicotomia animato-inanimato: l'individuo biologico contrapposto alle entità fisiche e chimiche. L'indivisibilità del primo contrapposto all'analisi delle seconde. Se poi ci si sposta sul piano delle scienze umane, nelle discipline sociali e antropologiche, si vede crescere l'importanza del concetto di sistema fino all'individualità di ogni singolo sistema vivente umano, la singola persona.

In questo lavoro si è cercato di far vedere che il concetto di sistema, pur nella differenza d'importanza, svolge un ruolo sia nelle scienze naturali dell'inanimato, sia in quelle dell'animato oltre che in quelle umane. Esso può essere, quindi, un concetto unificante e la Teoria dei Sistemi, con tutti i suoi limiti, ne rappresenta una controprova. Un ruolo centrale per il concetto di sistema è svolto dalla chimica che, come detto, è la prima vera scienza sistemica. Come applicare queste nozioni in ambito didattico e chimico in particolare? È fuori dallo scopo di questo lavoro e dalle competenze dell'autore, dare "ricette" specifiche per portare nella maniera più opportuna in ambito didattico il concetto di sistema chimico. Tuttavia, abbiamo visto che la chimica rappresenta una fondamentale scienza sistemica per l'importanza che in essa assume il concetto di molecola (sistema di atomi) e di composto chimico (sistema di elementi) e questa "verità scientifica" va sottolineata sul piano filosofico, rivendicata su quello culturale ed integrata in quello didattico. Ancora una volta appare fondamentale il ruolo culturale della chimica, snodo essenziale tra la fisica e la biologia, tra il "semplice" (ma abbiamo visto che anche in fisica esistono sistemi complessi) del fisico e il "complesso" traboccante della biologia. Non più ponte tra fisica e biologia, perché per sua tipologia il ponte è qualcosa di piccolo tra due territori grandi, ma qualcosa di concettualmente simile alle altre due discipline. Inoltre, in questa differenziazione "alla pari" tra fisica, chimica e biologia ne resta stritolato tanto il riduzionismo quanto la dicotomia inanimato-animato.

20 E. Morin, *Il metodo 1. La natura della natura*, Raffaello Cortina, Milano 2001, p. 235.



# Evaporazione ed ebollizione: come i corsisti SSIS comprendono i fenomeni

RAFFAELE PENTIMALLI (\*)

## Riassunto

*Questo lavoro ha lo scopo di indagare la comprensione di semplici ma fondamentali concetti scientifici come evaporazione ed ebollizione da parte di docenti in formazione. Ne emergono carenze significative che portano a riflessioni sulla preparazione disciplinare e sulle presunzioni di comprensione da parte degli stessi docenti.*

## Abstract

*This study explores student teachers understanding of evaporation and boiling. The Lack of understanding by Science student teachers of some very basic science is significant and implications include the subject knowledge requirements for initial teachers training and the need for a more critical perspective on the understanding that teachers think to have.*

## Introduzione

I fenomeni della evaporazione ed ebollizione sono stati argomento di indagine circa la loro comprensione da parte di allievi delle prime fasce di età scolari (1) e anche per studenti di scuola secondaria (2) evidenziando come la loro piena acquisizione non sia soddisfacente. Eppure la relativa semplicità dei fenomeni fa sì che questi vengano dati per acquisiti nei livelli scolari successivi e non ci si "attardi" su questi concetti soprattutto a partire dalle scuole superiori. Il risultato è che gli studenti si portano dietro una serie di misconcezioni gravissime: i due fenomeni sono spesso confusi e trattati come se in realtà coincidessero. Ci si dovrebbe aspettare che i futuri docenti debbano avere una buona familiarità con questi processi e una comprensione qualitativamente completa dei modelli che sottostanno alla spiegazione scientifica dei fenomeni. Non dovrebbero cioè avere problemi a spiegare l'evaporazione di un liquido puro in qualunque condizione di temperatura, così come dovrebbero sapere interpretare adeguatamente il fenomeno di ebollizione di un liquido in diverse condizioni di pressione.

Questo studio si è prefisso lo scopo di indagare questa ipotesi presso studenti delle SSIS, futuri docenti di scienze nella scuola secondaria di primo e secondo grado, prendendo le mosse da una serie di analoghe ricerche condotte su docenti in formazione (4,5,7) che hanno ampiamente dimostrato che, non sempre, la capacità di spiegare in termini corretti fenomeni chimici e fisici semplici, alla luce

di teorie scientifiche elementari come quella cinetico-molecolare, si possa considerare acquisita.

## Il campione

L'indagine è stata svolta nel I semestre degli anni accademici 2003/2004 e 2004/2005 nei corsi di Didattica della Chimica e Laboratorio di Didattica della Chimica. Sono stati sottoposti ad indagine 70 futuri docenti frequentanti le SSIS di Aosta e Pavia, le cui lauree coprivano quasi l'intero panorama di quelle che danno accesso alle classi 059-060, con prevalenza di quelle in Scienze Biologiche (35%) e Scienze naturali (28%) seguite da Scienze Geologiche, Biotecnologie, Agraria, Scienze Forestali, Chimica, Matematica, Scienze Ambientali.

Il campione è risultato così costituito per Ateneo e classe di concorso

| Ateneo | Classe 059     | Classe 060     |
|--------|----------------|----------------|
| Aosta  | 7 (2004/2005)  | —              |
| Pavia  | —              | 21 (2003/2004) |
| Pavia  | 19 (2004/2005) | 23 (2004/2005) |

## La metodologia

Sono stati utilizzati sei brevi filmati e un questionario già utilizzati nei precedenti studi e prodotti dall'University of Manchester (5,7), gentilmente forniti per lo scopo di questa ricerca.

Le sequenze video riguardano:

- 1) Evaporazione da un contenitore aperto : in due contenitori sono posti uguali volumi di acqua ed esano che vengono sistemati sotto cappa e lasciati evaporare spontaneamente per circa 3 ore. Alla fine l'esano è praticamente scomparso, l'acqua risulta diminuita di circa un quinto del volume.
- 2) Evaporazione forzata : viene fatta passare aria compressa attraverso un volume di 10 cm<sup>3</sup> di esano contenuti in un becker che è stato posato su di un pezzo di legno bagnato; alla fine l'esano è evaporato e il becker risulta essersi "incollato" al legno a causa del congelamento dell'acqua interposta
- 3) Acqua che bolle: un campione di acqua viene fatto bollire in vaso aperto e si mettono in evidenza i fenomeni che accadono
- 4) Si riduce la pressione su un campione di acqua in contenitore chiuso a temperatura ambiente: un campione di acqua è posto in un pallone collegato ad una pompa aspirante che produce un vuoto spinto
- 5) Acqua nella siringa : si preleva con una siringa una piccola quantità di acqua a circa 40°C ; si chiude ermeticamente con plastilina la bocca della siringa e si muove il pistone verso l'alto e verso il basso osservando cosa accade

(\*) Docente a contratto SSIS Aosta, Pavia, Genova

6) Apertura di lattine di cola : due lattine di cola sono lasciate indisturbate a T ambiente; poi vengono aperte con cautela, una dopo essere stata agitata e l'altra senza aver subito alcuno scuotimento. La prima produce abbondante schiuma la seconda no.

Dopo avere visionato ciascuna sequenza video i partecipanti allo studio hanno completato un breve questionario composto da alcune domande che richiedono di spiegare

i fenomeni osservati. Le domande sono riportate con le percentuali di risposte considerate corrette nella tabella 2; tali risposte sono state considerate corrette in quanto "scientificamente valide" in accordo con modelli consolidati di interpretazione dei fenomeni.

### Risultati

La tabella 2 mostra la percentuale di risposte corrette in questo studio rispetto a quelle rilevate nello studio del 2003 (7)

| Domanda   | Risposta corretta   | Questo studio %<br>risposte corrette | Goodwin 2003 %<br>risposte corrette |
|---|---|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Evaporazione da contenitore aperto</b>   |   |                                      |                                     |
| 1.1 Dove sono andati i liquidi  | Sono evaporati<br>Sono passati nell'aria  | 86                                   | 100                                 |
| 1.2 Spiegate perché l'esano è evaporato più dell'acqua                                      | L'esano: è più volatile; ha maggior tensione di vapore; ha una temperatura di ebollizione più bassa | 46                                   | 92                                  |
| 1.3 a Quali molecole sono più grandi  | Esano   | 76                                   | 94                                  |
| 1.3 b Quale liquido dovrebbe evaporare maggiormente   | Acqua   | 47                                   | 58                                  |
| 1.4 Come varia la temperatura di un liquido mentre evapora                                  | Diminuisce  | 24                                   | 31                                  |
| <b>Evaporazione forzata</b>   |   |                                      |                                     |
| 2.1 Quale effetto hanno le bolle d'aria che passano sull'evaporazione dell'esano            | Aumentano la velocità di evaporazione   | 44                                   | 75                                  |
| 2.2 L'esano sta bollendo  | No  | 71                                   | 73                                  |
| 2.3 Perché l'acqua sul legno gela   | L'evaporazione abbassa la temperatura sotto il punto di congelamento                                | 60                                   | 73                                  |
| 2.4 Da cosa deriva la condensa esterna le becker  | Condensazione di umidità presente nell'aria   | 31                                   | 87                                  |
| 2.5 Ci sarebbe ugualmente anche in assenza di acqua sul legno                               | Si  | 36                                   | 92                                  |
| <b>Acqua che bolle</b>  |   |                                      |                                     |
| 3.1 Disegnate un grafico che illustri la variazione della temperatura durante l'esperimento | Andamento crescente con plateau a 100°C, senza prosecuzione in salita oltre tale T                  | 66                                   | 92                                  |
| 3.2 A cosa pensate siano dovute le piccole bolle che si vedono all'inizio                   | A gas disciolti nell'acqua (aria e simili)  | 30                                   | 60                                  |
| 3.3 A che cosa sono dovute le grandi bolle che si osservano durante l'ebollizione           | Vapore acqueo   | 43                                   | 50                                  |
| 3.4 Da cosa deriva la condensa che si osserva sul becker all'inizio                         | Umidità dovuta alla combustione del gas usato per riscaldare  | 27                                   | 79                                  |
| 3.5 Da dove traggono origine le bolle che si formano sui lati del becker                    | Imperfezioni del vetro che fungono da centri di enucleazione per il vapore                          | 7                                    | 37                                  |
| <b>Ebollizione a pressione ridotta</b>  |   |                                      |                                     |
| 4.1 a L'acqua è calda   | No  | 83                                   | 92                                  |
| 4.1 b L'acqua sta bollendo  | Si  | 53                                   | 73                                  |
| 4.2 A che cosa sono dovute le grandi bolle che si osservano                                 | Vapore acqueo   | 33                                   | 45                                  |
| 4.3 Come varia la temperatura del liquido   | Diminuisce all'avanzare dell'ebollizione  | 24                                   | 31                                  |
| <b>Acqua nella siringa</b>  |   |                                      |                                     |
| 5.1 Il fenomeno sarebbe lo stesso se fosse rimasta aria nella siringa                       | Si  | 31                                   | 38                                  |
| 5.2 Che variazioni di temperatura dell'acqua ci si aspetta mentre la siringa sale/scende    | Raffreddamento mentre sale e riscaldamento mentre scende  | 21                                   | 29                                  |
| <b>Apertura di lattine di cola</b>  |   |                                      |                                     |
| 6.1 Quale gas è coinvolto nel fenomeno  | Biossido di carbonio  | 100                                  | 100                                 |
| 6.2 a La pressione è la stessa prima dello scuotimento                                      | Si  | 86                                   | 100                                 |

|  |   |    |    |
|--|---|----|----|
| 6.2 b La pressione è la stessa dopo lo scuotimento                                       | Si; vi è una piccola variazione di Temperatura per lo scuotimento ma non intacca apprezzabilmente la pressione  | 16 | 18 |
| 6.3 Perché l'agitazione induce una così grande variazione nel comportamento all'apertura | L'agitazione distribuisce piccole bolle di gas nel liquido che agiscono come nuclei di aggregazione che, all'apertura, innescano la forte fuoriuscita del gas | 11 | 8  |
| 6.4 La bibita che fuoriesce sta bollendo   | Si  | 9  | 4  |

Alcune risposte "corrette" necessitano di un qualche approfondimento. La risposta 1.4 merita attenzione perché gli intervistati sembrano non riconoscere la endotermicità del fenomeno "evaporazione" mentre una maggior percentuale riconosce questo fatto per l'evaporazione forzata alla domanda 2.3. Probabilmente l'evidenza dell'acqua che gela li ha fatti riflettere maggiormente sugli effetti termici della evaporazione. L'argomento ritorna, sotto altra forma, a proposito della ebollizione sotto vuoto nelle domande 4.3 e 5.2 dove le risposte corrette sono molto basse (24 e 21 % rispettivamente) riprendendo il trend poco soddisfacente della 1.4; sono anche sostanzialmente gli stessi che danno la risposta corretta. Le domande relative alla formazione di condensa sul contenitore danno parimenti risultati diversificati: la 2.4 presenta 17% di risposte corrette e la 3.4 il 27. Solo in alcuni casi le risposte corrette sono dovute agli stessi intervistati. Sembra che nei due casi i fenomeni siano visti da punti di vista diversi.

Una percentuale non soddisfacente di risposte corrette ricevono la domanda 1.2, 1.3 b, 2.1, 3.2, 3.3 che dimostrano conoscenze molto approssimative dei fenomeni da parte della maggioranza degli intervistati, ponendosi a valori molto più bassi di risposte corrette rispetto allo studio di Goodwin.

Un commento a parte meritano le risposte alle domande 6.2 b, 6.3, 6.4. Infatti in questo caso siamo nel campo di una sottile conoscenza dei fenomeni. Lo scuotimento della lattina prima dell'apertura porta ad una fuoriuscita esplosiva di gas e bibita che convince molti del fatto che la pressione debba essere aumentata se non altro a causa del trasferimento di energia che l'agitazione produce; questa induce un aumento di temperatura che si ripercuote sulla pressione. In effetti il trasferimento di energia è minimo rispetto a quella che sarebbe necessaria per giustificare l'aumento di temperatura e quindi pressione; pertanto la risposta giusta deve trovare spiegazione nella differente velocità con la quale il fenomeno avviene. Le piccole bollicine di gas distribuite nella soluzione agiscono come nuclei di addensazione per formare bolle di maggiore dimensione che producono il fenomeno osservato (3).

Ancora più controversa la risposta alla domanda 6.4 per la quale è data come corretta la soluzione che spiega il fenomeno in termini di ebollizione della cola. Al riguardo il dibattito è aperto e si rimanda alla letteratura (6). Le premesse di tale dibattito sono che la  $CO_2$  debba considerarsi parte integrante della soluzione e che il fenomeno non si riduca al semplice rilascio di gas da parte della soluzione ma che si tratti di una vera e propria ebollizione di una soluzione costituita da diversi componenti, uno dei quali è l'anidride carbonica, e che quindi a questo sistema vadano applicate le regole di Raoult sulla ebollizione di soluzioni. In breve:

1) Nella lattina sigillata a temperatura ambiente: il sistema è all'equilibrio, la soluzione è al suo punto di ebollizione alla pressione del gas che è contenuto nelle bollicine (acqua e anidride carbonica)

2) La lattina viene aperta: la pressione sulla superficie della soluzione si riduce drasticamente cosicché la soluzione viene a trovarsi al di sopra del suo punto di ebollizione

3) Allora: la soluzione bolle fino a quando la concentrazione dell'anidride carbonica disciolta non scende a quella che definisce il punto di ebollizione a temperatura e pressione ambiente

4) Infine: continua l'evaporazione di anidride carbonica e acqua fino a quando le pressioni parziali dei due gas non uguagliano quelle esistenti nell'atmosfera esterna

### Alcune considerazioni conclusive

Appare in qualche modo preoccupante, anche in relazione ai risultati dello studio originale citato, la bassa percentuale di risposte corrette ad alcune domande. Si conferma l'ipotesi di partenza che ha mosso l'Autore a svolgere lo studio: si tratta di fenomeni che troppo spesso vengono considerati minori, acquisiti per definizione quando si arriva agli studi superiori, per non parlare di quelli universitari, e pertanto non meritevoli di alcun approfondimento. I risultati, purtroppo, dicono che il gap di conoscenze è grave, particolarmente se consideriamo la futura professione di coloro che hanno risposto: insegnanti, coloro che dovrebbero chiarire questi concetti ai futuri allievi. Quali risultati ci possiamo aspettare? Se le cose stanno così sulle cose "banali" come staranno su quelle importanti? La preoccupazione cresce. Soprattutto se si considera come molti libri di testo affrontano l'argomento: esperienze standard, spesso descritte, definizioni, schemi da mandare a memoria sui passaggi di stato, senza alcuna riflessione su quello che accade e nessuna interpretazione particellare del fenomeno che coniughi aspetti strutturali ed energetici.

Se a tutto questo si aggiunge la crescente "tosatura" alla quale le ore di insegnamento dedicate alle discipline scientifiche stanno per andare incontro, la tentazione di far confluire nello stesso insegnamento (vedi scuola secondaria di primo grado) scienza e tecnologia, dove l'informatica la farà da padrona, credo ci sia veramente da preoccuparsi per il futuro della conoscenza scientifica sempre più patrimonio di una ristretta élite. E gli obiettivi della UE fissati a Lisbona circa l'aumento della percentuale di giovani che scelgano carriere nel settore scientifico e tecnologico? Su quali basi di conoscenze consolidate pogeranno?

### Bibliografia

- 1) R.J. Osborne, M.M. Cosgrove, *Journal of Research in Science Teaching* 1983, **20**, 825-838
- 2) A. Borsese, R. Pentimalli, *Nuova Secondaria* 1985, **VII** (3), 80 - 86
- 3) D.W. Deamer, B.K. Selinger, *Journal of Chemical Education*, 1988, **65**, 518
- 4) A.J. Goodwin, *School Science Review* 1995, **76**, 100-109
- 5) A.J. Goodwin, Y. Orlik, *Revista de Education en Ciencias*, 2000, **1**, 118-123
- 6) A.J. Goodwin, *Journal of Chemical Education*, 2001 **78**, 385-387
- 7) A.J. Goodwin, *School Science Review*, 2003, **84**, 131-141



## La Filosofia Corpuscolare e l'opera di Robert Boyle

RAFFAELLA SELIGARDI\*

### 1. Introduzione: le concezioni corpuscolari dell'antichità

Il corpuscolarismo ebbe la sua epoca d'oro nel Seicento, ma era presente anche agli albori delle teorie sulla materia, in epoca classica. Attorno al V secolo a.C. Anassagora di Clazomene elaborò la teoria dei semi (*semina rerum*). Questi semi erano intesi come particelle di materia qualitativamente diverse le une dalle altre, nel senso che esistevano semi di oro, di ossa, di acqua, ecc., capaci di unirsi, dando origine ai corpi, e di separarsi, determinandone la morte o la dissoluzione; erano infinitamente divisibili e si trovavano in tutti i corpi ("ogni cosa è mescolata in ogni cosa" [DK 59 A 45, cit. in Abbagnano-Fornero, p. 83]) in diversa quantità, nel senso che, per esempio, un pezzo d'oro era composto prevalentemente d'oro, ma conteneva anche semi di tutte le altre cose (latte, unghie, pietre...). Per questo furono successivamente detti da Aristotele *omeomerie*, cioè parti simili. In origine, secondo Anassagora, un'intelligenza ordinatrice, di natura divina, il *Noûs*, aveva separato i vari semi dal caos in cui si trovavano, producendo un movimento turbinoso che li aveva divisi secondo il caldo e il freddo, la luce e l'oscurità, e aveva dato origine per distacchi successivi ai corpi così come li conosciamo.

Diametralmente opposta a questa è la concezione atomista elaborata da Leucippo di Mileto e dal suo discepolo Democrito di Abdera, sempre nel V secolo a.C. Gli atomi sono indivisibili, come dice la parola stessa, pieni, impenetrabili, immutabili ed eterni e si possono cogliere solo con la ragione. Si distinguono gli uni dagli altri unicamente per grandezza, forma e posizione, quindi tutte le qualità dei corpi come il colore, il sapore, l'essere caldo o freddo, ecc. dipendono unicamente dal modo di aggregarsi degli atomi, cioè dalla struttura interna di un corpo. Le qualità dunque non esistono negli atomi: gli atomi non hanno colore né sapore e non possono subire alterazioni quali ad esempio il riscaldamento o il raffreddamento. Quindi, le qualità sensibili dipendono unicamente dalla forma, grandezza e disposizione degli atomi. Ad esempio, il dolce deriva "dagli atomi rotondi e di discreta grandezza, l'acre dagli atomi di figura grande con asperità e con molti angoli e senza rotondità, l'acido o l'acuto – come dice il nome stesso – dagli atomi angolosi, a curve, sottili e non tondeggianti" (DK 68 A 129, cit. in Abbagnano-Fornero, pp. 97-98). Gli atomi volteggiano caoticamente in tutte le



direzioni, muovendosi nel vuoto, formando vortici atomici con le particelle più grandi al centro e quelle più piccole negli strati via via più esterni. La concezione atomista è strettamente determinista, meccanicista e materialista: non c'è posto in essa per le cause finali e nemmeno per gli dei. Queste due concezioni furono presto soppiantate dalle filosofie di Platone e di Aristotele, che abbandonarono ogni forma di corpuscolarismo. Secondo Platone la struttura dell'universo è di tipo geometrico, e consta di triangoli, dai quali derivano i quattro elementi e l'etere, e ad ognuno di questi ultimi corrisponde un solido platonico; Aristotele accetta la teoria dei quattro elementi di Empedocle, e stabilisce il limite della divisibilità della materia nel punto in cui, dividendo oltre, si verrebbe a perdere la forma sostanziale, cioè non sarebbe più possibile riconoscere una sostanza come tale (teoria dei *minima naturalia*).

Le due teorie corpuscolari vennero recuperate in epoca ellenistica (III secolo a.C.) dagli Stoici e dagli Epicurei. Gli Stoici sono più vicini ad Anassagora: anche per essi esistono i semi (*logoi spermatikoi* = ragioni seminali) di tutte le cose, dai quali esse nascono e si sviluppano. La ragione seminale originaria è lo *pneuma*, il soffio caldo divino, principio della vita e della sua conservazione. La materia è inerte e passiva, cioè incapace di agire e di produrre qualsiasi cosa; è solo grazie all'attività della ragione divina, presente in tutte le cose come *pneuma*, che la materia si determina nei vari esseri che esistono. Quindi, così come in Anassagora l'ordine del mondo era dato dal-

\* Dip. di Filosofia - Università di Bologna

la ragione ordinatrice, così anche nella filosofia stoica il ruolo della divinità è necessario all'ordine e allo sviluppo del mondo, che si svolge ciclicamente: tutto è predeterminato e destinato a ripetersi sempre identico all'infinito, perché uno solo è l'ordine razionale necessario, e deviare da questo ordine sarebbe follia. Anche gli Stoici, come già gli atomisti, ammettono l'esistenza del vuoto, assieme ad altri soli tre incorporei: il tempo, il luogo e il significato.

La dottrina di Epicuro è più vicina a quella degli atomisti: come quella è materialista e meccanicista. Una proprietà fondamentale degli atomi, che nei democritei era solo derivata, è il peso. In virtù del loro peso gli atomi cadono in linea retta, dall'alto verso il basso, nel vuoto infinito. E' grazie al *De rerum natura* di Tito Lucrezio Caro (I secolo a.C.) che conosciamo meglio le differenze tra la fisica democritea e quella epicurea, grazie alla teoria del *clinamen* (declinazione, deviazione):

[...] gli atomi, nel loro stesso muoversi a perpendicolo attraverso il vuoto spazio, trascinati dal loro peso, a un momento non precisato e in luoghi non precisati si allontanano un poco dalla loro traiettoria, di quel tanto per cui si può parlare di una declinazione. Se non fossero soliti subire questo spostamento, essi cadrebbero tutti quanti dall'alto per l'immenso vuoto come gocce di pioggia, né vi sarebbe urto o colpo alcuno per dare inizio alle cose, e la natura non avrebbe mai prodotto quindi nulla. (Lucrezio, *De rerum Natura*, II, cit. in Abbagnano-Fornero, p. 420)

Quindi, è grazie a questa deviazione del tutto casuale che il moto degli atomi dà origine a urti che generano a loro volta aggregati di particelle. Se gli Epicurei introducono il caso nella necessità delle leggi del moto, non vi introducono comunque nessun finalismo o provvidenzialismo, come avevano invece stabilito gli Stoici. E' vero che gli dei esistono (sono anch'essi composti di atomi), ma non si curano affatto degli uomini.

L'avvento del neoplatonismo e del cristianesimo oscurarono queste concezioni, che contenevano un pericoloso materialismo che poteva sfociare in ateismo; inoltre, il successivo oblio dei classici in epoca alto-medievale, e poi la sintesi tra aristotelismo e dottrina cristiana operata da Tommaso d'Aquino (1225/6-1274) determinarono la scomparsa delle concezioni corpuscolari fino al Rinascimento.

## 2. Il contesto umanistico-rinascimentale

Il periodo dell'Umanesimo e del Rinascimento fu fondamentale per preparare la strada alla rivoluzione scientifica del XVII secolo. Tra Quattrocento e Cinquecento un nuovo modo di guardare alla natura e al ruolo dell'uomo in essa si fece strada in Europa. Le dottrine di Aristotele cominciarono a mostrare le loro contraddizioni, e gli uomini di cultura iniziarono a cercare altrove le spiegazioni filosofico-razionali dell'origine e della struttura dell'universo. Numerosi testi classici vennero riscoperti nella loro forma originale e purgati dagli errori di molteplici traduzioni (dal greco al latino, poi dal latino all'arabo, poi dall'arabo al latino...). La stampa, inventata attorno al 1450, fu uno strumento potentissimo e fondamentale per la diffusione della nuova mentalità.

**102** Nel 1417 venne riscoperto il *De rerum natura* e nel 1473 apparve la sua *editio princeps*; nel 1470 era già stata pubblicata la prima traduzione latina delle *Vite e dottrine dei*

*filosofi*, in dieci libri, di Diogene Laerzio, che negli ultimi due libri trattava di Leucippo, Democrito, Epicuro (Meinel, p. 71). Già dal secolo successivo il corpuscolarismo degli antichi cominciò a venire utilizzato come teoria esplicativa di alcuni fenomeni alternativa a quella di Aristotele. Per esempio, il medico veronese Girolamo Fracastoro (1478-1553), nell'opera *De syphilis sive de morbo gallico* (1530), spiegò il contagio delle malattie attraverso corpuscoli che passavano da un corpo all'altro (Ciardi, p. 26).

Tuttavia, accanto a coloro che, rifiutando Aristotele, cercavano comunque nel pensiero degli antichi un'alternativa altrettanto autorevole, ci fu chi rifiutò *in toto* la sapienza del passato per proporre un modello interpretativo diverso. Fu così che nel Cinquecento il grande antagonista di Aristotele divenne il medico svizzero Philipp Aureol Theophrast Bombast von Hohenheim, noto come Paracelso (1493-1541). Alla dottrina dei quattro elementi egli sostituì quella dei *tria prima*: sale, zolfo e mercurio. Con Paracelso nacque la iatrochimica, cioè la chimica medica. Nella sua concezione, la chimica doveva servire fondamentalmente a due cose: trovare rimedi farmaceutici nuovi ed efficaci ed occuparsi della trasmutazione dei metalli. I tre principi individuati da Paracelso erano portatori di proprietà ben precise, in modo da spiegare anche le proprietà dei loro composti (per esempio, il sale era principio di fissità, lo zolfo di combustibilità, ecc.). Secondo Paracelso, tutti i corpi erano composti da questi tre principi, che andavano distinti dallo zolfo, sale e mercurio reali reperibili in natura: essi avevano una valenza più metafisica che fisica.

Al di là delle implicazioni magico-alchemiche della dottrina di Paracelso, la sua importanza storica risiede nel tentativo di trovare un'alternativa all'autorità dei peripatetici, fondata non solo su argomentazioni di tipo logico-filosofico, ma su fatti empirici. Con Paracelso, che considerò, assieme all'astrologia, alla filosofia, all'etica, anche l'alchimia come base della medicina, la pratica di laboratorio cominciò a diventare altrettanto importante della teoria. Paracelso non fu il solo a sottolineare la necessità di operare empiricamente sulla materia. Nel Cinquecento si assiste ad una fioritura incredibile di trattati che sono ancora più tecnici che scientifici, ma che sono comunque rivelatori del nuovo approccio dell'uomo nei confronti della natura. E' il caso, ad esempio, di opere quali *De la pyrotechnia* (1540) del senese Vannoccio Biringuccio (1480-1539), del *De re metallica* (1556) del tedesco Georg Bauer noto come Agricola (1494-1555), del più tardo *L'arte vetraria* (1612) dell'abate alchimista Antonio Neri (1576-1614) (Ciardi, pp. 36-37). Anche se questi autori avevano diverse concezioni a proposito del sapere alchemico, ciò che li accomuna è un approccio di tipo chimico allo studio delle sostanze da manipolare per essere utilizzate praticamente dall'uomo, che siano minerali, metalli o vetro.

Tutti questi fattori, cioè il rifiuto dell'autorità di Aristotele accompagnato dalla ricerca di filosofie alternative, l'approccio empirico allo studio della materia, la concezione utilitaristica solo in apparente contraddizione con quella alchemica, confluiranno nelle istanze del secolo successivo e si confronteranno con la nascita della scienza moderna.

## 3. La rivoluzione scientifica e il corpuscolarismo Seicentesco

Uno dei caratteri fondamentali della rivoluzione scientifica è stato individuato nella meccanizzazione dell'imma-

gine del mondo, mentre un altro tratto distintivo è la sua quantificazione, cioè l'applicazione della matematica allo studio dei fenomeni naturali. Se questo secondo punto è indiscutibile per quanto riguarda quelle che oggi chiamiamo scienze fisiche, risulta più problematico per la chimica, perché i corpuscoli non si potevano né vedere né misurare. Tuttavia, la concezione corpuscolarista fu veicolata, oltre che dal grande successo dell'opera di Lucrezio, anche dall'invenzione del microscopio (Meinel, p. 82), che consentì di avvicinarsi un poco all'infinitamente piccolo: non si potevano vedere gli atomi, ma si poteva constatare empiricamente che anche dividendo una sostanza oltre la sfera del visibile ad occhio nudo essa manteneva le sue caratteristiche.

Per quanto riguarda la concezione meccanicista, è bene fare alcune precisazioni. Antonio Clericuzio (Clericuzio, p. 215) ha individuato almeno cinque possibili visioni della struttura della materia che erano pressoché contemporanee nel Seicento:

1. teorie della materia puramente vitalistiche, che vedono la materia non corpuscolare, ma dotata di simpatie, antipatie, attrazioni, forze e poteri (per esempio, Paracelso);
2. teorie vitalistiche che adottano qualche tipo di visione corpuscolare: per esempio, il medico belga Jan Baptista van Helmont (1579-1644), il quale adottò l'acqua come principio universale della materia, ma parallelamente mantenne anche la nozione dei *semina rerum*;
3. teorie corpuscolariste che impiegano la nozione di forma come principio di organizzazione della materia (Daniel Sennert);
4. teorie corpuscolariste che includono la nozione di principi attivi:
  - a. la materia è attiva e il moto è una proprietà intrinseca degli atomi (Pierre Gassendi)
  - b. la materia non è attiva ma alcuni atomi sono stati dotati da Dio di un potere plastico (Robert Boyle);
5. teorie corpuscolari puramente meccanicistiche (Réné Descartes).

In questo ultimo gruppo si può annoverare anche Galileo Galilei (1564-1642), che nel *Saggiatore* (1623) espone la famosa distinzione tra proprietà oggettive (materia, posizione, figura) e proprietà soggettive (colore, sapore, odore, ecc.) dei corpi, derivate dalle prime e che risiedono esclusivamente nel soggetto che percepisce (Bellone, pp. 78-79). Queste proprietà verranno in seguito chiamate rispettivamente qualità primarie e qualità secondarie dal filosofo inglese John Locke (1632-1704).

Per meccanicismo in senso stretto si intende una concezione secondo la quale tutto ciò che esiste è spiegabile in termini di materia e moto, cioè una concezione molto vicina a quella di Leucippo e Democrito. Si noti che l'esistenza del vuoto non è una condizione necessaria al corpuscolarismo: il filosofo francese Réné Descartes, noto come Cartesio (1596-1650), ad esempio, ne rifiutava categoricamente l'esistenza. La preoccupazione fondamentale di tutti i corpuscolaristi, e in particolare dei meccanicisti in senso stretto, indipendentemente dal loro appartenere all'area cattolica o a quella riformata, era di evitare qualsiasi accusa di ateismo. La più a rischio in questo senso era la concezione meccanicistica di Cartesio, che identificava la materia con l'estensione e spiegava la struttura del-

l'universo esclusivamente in base alle leggi del moto. La critica fondamentale rivolta a Cartesio dai suoi contemporanei era che il ruolo di Dio era limitato alla creazione della materia e della quantità di moto originaria: una volta messo in moto il tutto, Dio diventava inutile. La teoria dei *semina rerum* invece, attribuendo un potere plastico e una certa attività alla materia, dimostrava la costante presenza della volontà divina nella creazione; i suoi fautori tuttavia dovevano a loro volta guardarsi da accuse di panteismo.

Le ragioni per aderire alla filosofia corpuscolarista erano di vario ordine: filosofico, epistemologico, teologico. Più difficoltose erano le ragioni sperimentali, per i motivi riportati sopra. La ragione considerata più decisiva fu elaborata per primo dal medico e alchimista tedesco Daniel Sennert (1572-1637), e prese il nome di *reductio in pristinum statum* (*Hypomnemata physica*, 1636) (Meinel, pp. 94-95). Sostanzialmente, si trattava di dimostrare che, facendo subire ad una sostanza numerose reazioni chimiche, era comunque possibile riottenere la nel suo stato originario (classici, in questo senso, furono gli esperimenti con il mercurio, che veniva precipitato e poi "rivivificato", oppure con argento e oro in lega che potevano essere riottenuti separatamente grazie alla dissoluzione in acidi opportuni). Questo dimostrava che le sostanze avevano una struttura particellare e che le particelle non erano passibili di alterazione: ciò che veniva alterato era solo il loro modo di aggregarsi.

Una concezione fondamentale, elaborata in particolare dal filosofo francese Pierre Gassendi (1592-1655) e descritta nell'opera postuma *Syntagma philosophicum* (1658), contribuirà enormemente a definire il dominio della scienza chimica e a separarlo da quello della fisica: la molecola. Secondo Gassendi, le molecole sono corpuscoli non percepibili dai sensi, composti da diversi tipi di atomi; differiscono tra loro quindi a livello di struttura (Clericuzio, pp. 65-67). Gassendi spiegava le reazioni chimiche come ad esempio le soluzioni e la loro saturazione in base alla forma delle molecole: quelle del soluto vanno a riempire i vuoti della stessa forma presenti nel solvente; quando tutti questi spazi vuoti sono pieni la soluzione è satura.

#### 4. Robert Boyle

Robert Boyle (1627-1691) viene etichettato, nei libri di testo, come fisico o come chimico, a seconda del contesto in cui lo si vuole citare. Noto a fisici e chimici per la legge sui gas e forse per la sua filosofia corpuscolare, viene considerato come un meccanicista e come uno dei padri della chimica moderna. In realtà, la chimica non si sviluppò dalla filosofia corpuscolare, ma da quella dei principi. Come si inserisce dunque Boyle in questo quadro, e quale fu il suo ruolo nello sviluppo della scienza?

L'opera più nota del filosofo naturale irlandese è *Il chimico scettico* (1661). Il titolo originale, *The sceptical chymist: or chymico-physical Doubts & Paradoxes, Touching the spagyrist's principles Commonly call'd hypostatical, As they are wont to be Propos'd and Defended by the Generality of alchymists [...]* indica il programma che Boyle ha in mente: criticare le filosofie chimiche degli aristotelici e dei paracelsiani, che qui vengono chiamati chimici o spagirici. Scritto in forma di dialogo, non è un trattato contro l'alchimia, come potrebbe sembrare (è noto che Boyle si occupava della possibilità della trasmutazione dei metalli e di altre tematiche di ricerca tipicamente



alchemiche), ma contro la pretesa, sia da parte dei peripatetici, che da parte dei chimici, di ridurre la materia a quattro elementi o a tre principi primi riscontrabili nella composizione di tutti e di ciascun corpo naturale. Il ruolo del chimico scettico è affidato al personaggio di Carneade, il cui nome ricorda appunto un esponente della Nuova Accademia, lo scettico Carneade di Cirene (II secolo a.C.). Se la difesa del corpuscolarismo non costituisce l'argomento principale del *Chimico scettico*, essa diviene invece centrale in un'altra opera fondamentale di Boyle, *On the Origin of Formes and qualities* (1666), in cui comunque vengono riprese alcune delle tematiche dell'opera precedente.

Quella più nota, contenuta nel *Chimico scettico*, è la definizione di elemento chimico, che è stata per molto tempo considerata come la prima formulazione moderna di questo concetto:

Per prevenire errori devo anche avvertire che ora intendo per elementi quello che i chimici, che parlano in modo più chiaro, intendono per loro principî, cioè certi corpi primitivi e semplici, o perfettamente incomposti, che, non essendo costituiti di altre sostanze, né l'uno dell'altro, sono gli ingredienti di cui sono costituiti tutti quei corpi chiamati perfettamente composti, e in cui in ultima analisi questi sono risolti. La cosa che pongo ora in discussione è se esista un qualche corpo che si riscontri costantemente in tutti e in ciascuno di quei corpi che sono detti composti di elementi. (Boyle, *Il chimico scettico*, p. 218)

In realtà, gli storici hanno dimostrato che questa definizione "riprende la definizione di elementi come componenti di tutti i corpi misti, che è presente in tutta la trattatistica chimica del Seicento" (Abbri 1988, p. 359).

Secondo Boyle, i principi fondamentali dell'universo sono la materia e il moto. I corpuscoli sono materiali, ma il moto non è una proprietà intrinseca alla materia, perché essa non cessa di essere materia quando è in quiete. Tuttavia, Boyle fa alcune considerazioni importanti per differenziarsi dai meccanicisti in senso stretto, come gli Epicurei o i Cartesiani.

Ma quando io parlo di filosofia corpuscolare o meccanicistica sono lontano dall'affermare con gli epicurei che gli atomi, incontrandosi insieme casualmente, nel vuoto infinito, sono capaci da se stessi di produrre il mondo e tutti i suoi fenomeni, come sono lontano dall'affermare con alcuni filosofi moderni [cioè i Cartesiani] che, supponendo che Dio abbia introdotto nel complesso della massa materiale una tale quantità invariabile di moto, Egli non aveva bisogno di far altro per costruire il mondo, essendo le parti materiali capaci, per i loro stessi movimenti senza guida, di modellarsi in un sistema di quel tipo (che noi indichiamo con quel nome). Ma io propendo per una tale filosofia che si riferisca sì alle cose corporee, e distinguendo fra il primo principio delle cose e il corso successivo della natura, insegna, in primo luogo, non solo che Dio assegnò il moto alla materia, ma che in principio ne diresse i moto delle varie parti in modo da costringerle in quel mondo che Egli intendeva comporre (fornite di principî seminali e di strutture, o modelli di creature viventi) e stabili quelle regole del moto e dell'ordine tra le cose che siamo soliti chiamare leggi di natura. E avendo detto questo circa il primo punto, ci si può permettere di insegnare rispetto al secondo che, essendo stato l'universo una volta per tutte regolato da Dio,

ed essendo state stabilite le leggi del moto, ed essendo il tutto conservato dal suo incessante concorso e dalla sua universale provvidenza, i fenomeni del mondo così costituiti sono prodotti fisicamente dalle affezioni meccaniche delle parti di materia, e interagiscono secondo le leggi meccaniche. (Boyle, *Il chimico scettico*, p. 266)

Questa stessa visione viene ripresa anche nell'opera *Sull'origine delle forme e delle qualità*:

[...] benché io concordi con i nostri Epicurei nel ritenere probabile che il mondo sia costituito da un'innumerabile moltitudine di corpuscoli non percepibili singolarmente, dotati delle loro proprie misure, configurazioni e moti, e concordi inoltre con i Cartesiani nel credere (come mi risulta credette un tempo il famoso Anassagora) che la materia non ha il suo moto di per se stessa, ma lo riceve originariamente da Dio, ciononostante differisco sia da Epicuro sia da Descartes. Infatti, mentre il primo nega chiaramente che il mondo sia stato creato da qualche divinità (egli infatti riconosceva l'esistenza della divinità) e il secondo [...] riteneva che Dio, una volta impresso il moto alla materia e stabilite le leggi di tale moto, non doveva più intervenire in modo particolare per la produzione degli enti corporei, neppure delle piante o degli animali che, secondo lui, non sono altro che macchine, non credo affatto che né queste leggi cartesiane del moto né lo scontro casuale degli atomi degli Epicurei potrebbero ridurre la semplice materia a una struttura tanto ordinata e ben congegnata quale è questo mondo. Penso dunque che il saggio Autore della natura non solo mise in moto la materia, ma, quando decise di creare il mondo, regolò e guidò in modo tale i movimenti delle particelle di materia universale da ridurre i loro più grandi sistemi all'ordine nel quale avrebbero dovuto continuare a esistere e, in modo particolare, foggì alcune porzioni di materia in rudimenti o principi seminali, collocati in appositi ricettacoli (dei grembi, per così dire), e altre nei corpi di piante e animali. (Boyle, "Sull'origine delle forme e delle qualità", in *Opere*, pp. 365-366)

La preoccupazione di Boyle per garantire un ruolo a Dio nel creato era condivisa da molti suoi contemporanei; dalle sue stesse parole è evidente che egli non può essere considerato un meccanicista, perché, come scrive più avanti, "[...] ritengo del tutto improbabile che la materia bruta e senza guida, seppure in movimento, si configurerebbe mai in tali mirabili strutture quali sono i corpi degli animali perfetti." (Boyle, "Sull'origine delle forme e delle qualità", in *Opere*, p. 367)

Nel brano citato compare inoltre la concezione dei *semina rerum*, cioè di quelle particelle minime di materia che sono portatrici di un "programma", sono cioè capaci di formare la materia che si aggrega loro, di darle struttura. A questo proposito è opportuno definire meglio la nozione di struttura (*texture*). Boyle istituisce una sorta di gerarchia tra i corpi, dai semplici, ai misti del primo ordine, per così dire, a quelli del secondo ordine, ecc. (Clericuzio, pp. 122-123), affermando:

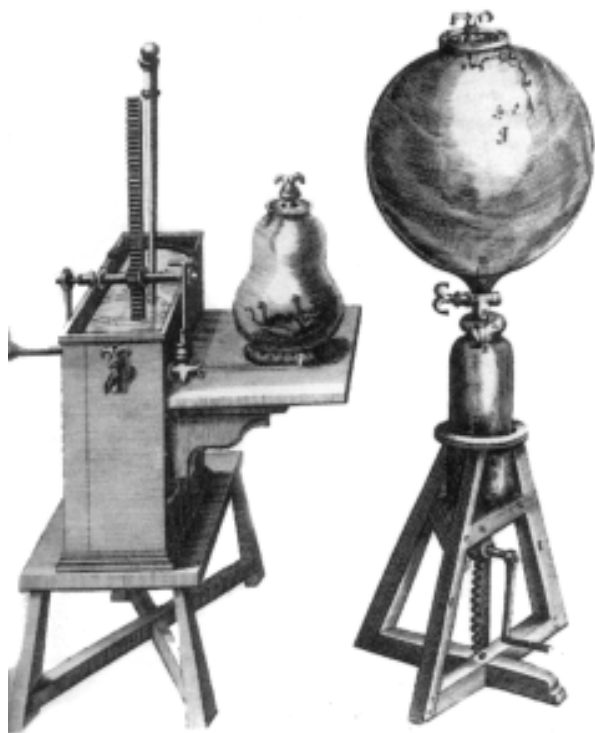
1. Che ci sono nel mondo moltissime particelle di materia, ciascuna delle quali è troppo piccola per essere, da sola, sensibile, ed essendo intera o indivisa, deve necessariamente avere la sua determinata figura ed essere molto compatta. Tanto che, sebbene essa sia divisibile mental-

mente e per divina onnipotenza, tuttavia, a causa della sua piccolezza e solidità, la natura non la divide effettivamente quasi mai. Tali particelle si possono, in questo senso, chiamare *minima* o *prima naturalia*.

2. Che ci sono anche moltitudini di corpuscoli, che sono formati dall'unione di parecchi dei suddetti *minima naturalia*, il cui volume è così piccolo, e la loro adesione così fitta e stretta, che ognuna di queste piccole primitive concrezioni o grappoli [*clusters*] (se così posso chiamarli) di particelle, da sola non può essere distinta dai sensi, e benché non sia assolutamente indivisibile per natura nei *prima naturalia* che la componevano o forse in altri piccoli frammenti; tuttavia, per le ragioni appena accennate, molto raramente accade che siano realmente dissolte o spezzate, ma rimangono intiere in una grande varietà di corpi sensibili, e sotto varie forme o travestimenti. (Boyle, "Sull'origine delle forme e delle qualità", in *Opere*, pp. 330-331)

Un esempio per quest'ultima affermazione è dato dai purganti, i cui grappoli di corpuscoli, se assunti da una balia, passano attraverso il suo latte nel corpo del neonato, provocando gli stessi effetti anche in quest'ultimo.

Come giustamente ha sottolineato Antonio Clericuzio (Clericuzio, p. 137), se i *prima naturalia* sono dotati principalmente di attributi fisici (o affezioni meccaniche, come le chiama Boyle: materia, moto, volume e figura), le proprietà fisiche e chimiche di un corpo, composto da grappoli di particelle, derivano invece dalla relazione tra le sue parti, cioè dalla natura della sua struttura interna (*texture*).



Questa concezione è molto simile a quella di molecola elaborata da Gassendi.

## 5. Conclusione

Nel Cinquecento era fondamentale trovare la giustificazione dell'esistenza dei corpuscoli, filosofica, epistemologica o teologica che fosse. Nel Seicento con la nascita della scienza sperimentale, la ricerca di questa giustificazione si

spostò in laboratorio. Nella seconda metà del secolo, Boyle eseguì e riportò un gran numero di esperimenti nei suoi scritti, ma essi erano volti soprattutto a mostrare come le "affezioni meccaniche" potessero giustificare le proprietà chimiche dei corpi. Quindi con Boyle si passa dalle domande "esistono i corpuscoli? come sono?" alla domanda "come funzionano?".

Boyle fu un chimico, con una visione della struttura della materia che rappresentava una tra le possibili visioni presenti nella sua epoca. Cartesio e Galileo, più strettamente meccanicisti, si occuparono soprattutto di fisica, cioè di quella che Aristotele chiamava la scienza del moto. Boyle, partendo da una concezione analoga sui componenti ultimi della materia, cercò di spiegarne i comportamenti chimici, cioè quali fossero le proprietà e i comportamenti reciproci delle sostanze, generalmente composte da grappoli di particelle, manipolate in laboratorio. Se dunque il programma meccanicista si rivelò estremamente fecondo per la fisica (si pensi appunto a Galileo, Cartesio, Newton), non lo fu per la chimica. Il meccanicismo, per lo stesso Boyle, risultava insufficiente ai fini della spiegazione di fenomeni chimici e soprattutto di fenomeni come la vita e l'organizzazione del vivente.

La nota affermazione di Thomas Kuhn, che il meccanicismo "proved a sterile and occasionally adverse intellectual climate for an understanding of the process underlying chemical change" (Kuhn, p. 15), ha profondamente influenzato anche le successive interpretazioni dell'opera di Boyle e la sua collocazione nella storia della fisica o della chimica. Tuttavia, studi recenti hanno dimostrato che non è vero che Boyle fu un meccanicista in senso stretto, così come non è vero che ci fu una sola filosofia corpuscolare. Resta comunque il fatto che nel Settecento l'esistenza dei corpuscoli sarà data per scontata e relegata nei capitoli introduttivi dei libri di chimica, che si occupavano di elementi, principi e affinità, e sarà su queste linee di ricerca che si svilupperà successivamente la scienza chimica. (Meinel, pp. 102-103)

## Bibliografia

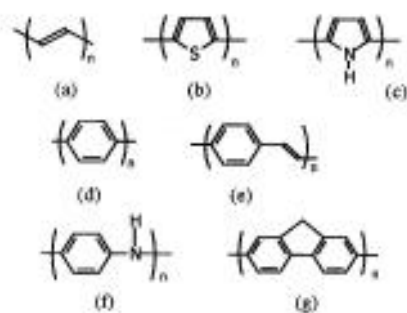
- ABBAGNANO, NICOLA; FORNERO, GIOVANNI, *Protagonisti e testi della filosofia*, nuova edizione a cura di GIOVANNI FORNERO, Milano: Paravia Bruno Mondadori Editori, 2000.
- ABBRI, FERDINANDO (a cura di), *Elementi, principi e particelle. Le teorie chimiche da Paracelso a Stahl*, Torino: Loescher, 1980.
- ABBRI, FERDINANDO, "Le origini della chimica moderna", in ROSSI, PAOLO (a cura di), *Storia della scienza moderna e contemporanea*, Torino: UTET, 1988, pp. 343-373.
- BELLONE, ENRICO, *Galileo: Le opere e i giorni di una mente inquieta*, Milano, Le Scienze, 1998.
- BOYLE, ROBERT, *Il chimico scettico. Il complesso itinerario dall'alchimia alla chimica moderna*, a cura di MARIANGELA CHIAPPARELLI SBRANA, Roma; Napoli: Theoria, 1985.
- BOYLE, ROBERT, *Opere*, a cura di CLELIA PIGHETTI, Torino: UTET, 1977.
- CIARDI, MARCO, *Breve storia delle teorie della materia*, Roma: Carocci, 2003.
- CLERICUZIO, ANTONIO, *Elements, principles and corpuscles. A study of atomism and chemistry in the Seventeenth century*, Dordrecht; Boston; London: Kluwer, 2000.
- KUHN, THOMAS, "Robert Boyle and structural chemistry in the Seventeenth century", in *Isis*, 1952, vol. 43, pp. 12-36.
- MEINEL, CHRISTOPH, "Early Seventeenth-century atomism. Theory, epistemology, and the insufficiency of experiment", in *Isis*, vol. 79, n° 296, 1988, pp. 68-103.



## I polimeri coniugati e le loro applicazioni nella vita quotidiana

ALESSANDRO FRALEONI-MORGERA\*

I polimeri coniugati sono materiali polimerici che hanno la peculiarità strutturale di presentare nella catena principale (il cosiddetto “backbone”) una successione ordinata di un legame semplice ed uno doppio, lungo tutta la catena (Figura 1). In generale, in questi materiali la catena principale è formata da atomi di carbonio, anche se esistono diversi esempi di polimeri coniugati nel cui backbone sono inclusi eteroatomi. Questa configurazione conferisce ai polimeri coniugati proprietà ottiche ed elettroniche simili a quelle dei semiconduttori inorganici, quali per esempio Silicio e Germanio, con una vera e propria struttura a bande, incluso un band gap (Figura 2) di entità variabile a seconda della struttura macromolecolare considerata.



**Figura 1** - Polimeri coniugati più comuni: (a) poliacetilene (PA); (b) politiofenene (PT); (c) Polipirrolo (PPy); (d) poli(*p*-fenilenvinilene) (PPV); (f) polianilina (PANI); polifluorene (PF).

Il prototipo di questa classe di polimeri è il poliacetilene (PA), che fu sintetizzato per la prima volta da G. Natta nel 1958 [1]; a causa della sua instabilità all'ossigeno e della sua scarsa processabilità (insolubile e infusibile), le sue proprietà vennero investigate però solo negli anni '70, quando in seguito ad una serie di studi condotti da Heeger,

McDiarmid e Shirakawa il PA rivelò la sua natura di semiconduttore intrinseco. Fu proprio grazie a queste scoperte che i tre ricevettero, nel 2000, il premio Nobel per la chimica [2].

Oltre al PA esiste una grande varietà di polimeri coniugati: tra questi possiamo menzionare il poli(*p*-fenilenevinilene) (PPV), il politiofene (PT), il polifluorene (PF), la polianilina (PANI), il polipirrolo (PPy), nonché una serie di derivati funzionalizzati di queste strutture di base e di copolimeri derivanti in vario modo dalle strutture di base evidenziate in Figura 1.

I polimeri coniugati possono essere utilizzati tal quali, ovvero come semiconduttori. In alternativa possono essere “drogati”, ovvero subire modifiche delle loro caratteristiche elettroniche per mezzo di metodi chimici o fisici.

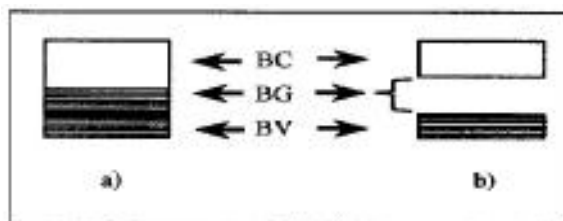
Nel primo caso il drogaggio (o doping) viene effettuato mediante aggiunta di un composto che estrae (drogaggio di tipo p, in pratica un'ossidazione) o dona (drogaggio di tipo n, ovvero una riduzione) elettroni dalla/allla catena macromolecolare. Attraverso questo procedimento la struttura elettronica del materiale viene sensibilmente modificata, aggiungendo in pratica dei livelli elettronici situati all'interno del bandgap. All'aumentare dell'entità del drogaggio questi livelli si organizzano in vere e proprie minibande, che si fondono poi con le bande di valenza e di conduzione a livelli di drogaggio elevati (Figura 3), portando di fatto ad una conduzione delle cariche elettriche di tipo metallico, fino a raggiungere conducibilità pari a quelle del rame [3].

Esiste anche la possibilità di drogare i polimeri coniugati mediante metodi cosiddetti “fisici”, ovvero estraendo/aggiungendo elettroni dallo/allo scheletro principale senza coinvolgere altre molecole. Questo può essere fatto per esempio mediante dispositivi elettronici, come transistor a effetto campo (cosiddetti FETs), anche se il meccanismo esatto di funzionamento di questo tipo di drogaggio non è ancora perfettamente chiaro.

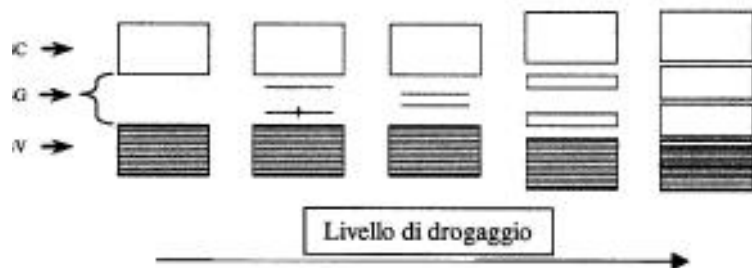
Grazie a questa loro versatilità, i polimeri coniugati trovano quindi applicazione pratiche simili a quelle dei loro corrispondenti inorganici, in svariati settori tecnologici.

**Figura 2** - Struttura a bande in un sistema  $\pi$  esteso:

- a) Ideale
- b) Reale
- BV = Banda di valenza
- BC = Banda di conduzione
- BG = bandgap







**Figura 3** - Evoluzione del sistema di bande dei polimeri coniugati con l'aumentare del livello di drogaggio. In questa figura è rappresentato il caso di drogaggio di tipo p (ossidazione), ma lo stesso tipo di processo avviene anche per il drogaggio di tipo n, in cui però le mini bande intra-bandgap sono piene di elettroni

In particolare, quando questi materiali sono mantenuti nello stato semiconduttore possono essere utilizzati nella realizzazione di schermi piatti per telefonini e computer, transistor ed altri componenti elettronici, celle fotovoltaiche plastiche, materiale attivo in laser portatili. Sotto forma drogata sono invece usati come antistatici (per esempio in tappeti), per schermature elettromagnetiche (per es. in schermi per computer) o inibitori di corrosione (in vernici).

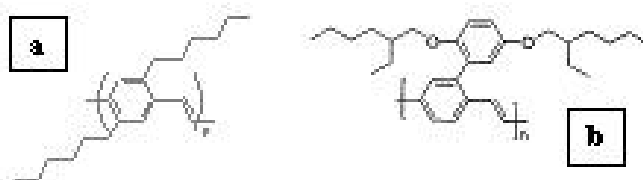
Pur avendo già trovato applicazioni commerciali, i polimeri coniugati non sempre sono stabili nel tempo all'ambiente e/o alle radiazioni luminose, anche se i meccanismi di degradazione sono in buona parte noti o comunque governabili. Le applicazioni pratiche di questi materiali dipendono quindi dalla possibilità di realizzare architetture macromolecolari adatte all'applicazione desiderata, e questo è possibile grazie alla chimica organica di sintesi, che permette di realizzare strutture monomeriche desiderate da polimerizzare in seguito. Per esempio, è noto che nel PPV uno dei punti di attacco del processo di fotoossidazione, che genera specie radicaliche reattive responsabili della distruzione dei legami coniugati e quindi delle proprietà elettroniche del polimero, è il sito dei protoni benzilici (Figura 4a). Realizzando polimeri in cui questa

posizione è resa non reattiva (Figura 4b), si ottengono perciò varietà di PPV stabili anche alla fotoossidazione.

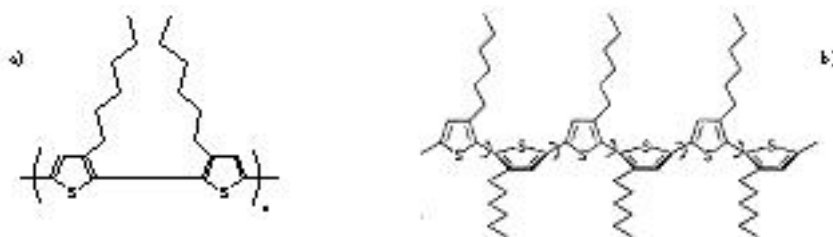
Un altro interessante esempio di come sia possibile sfruttare la conoscenza della chimica organica, in questo caso abbinata a quella della chimica fisica, è invece rappresentato dalla regolazione della lunghezza d'onda di emissione dei politiofeni. È infatti stato verificato che questo parametro, di fondamentale importanza per le applicazioni nel settore della realizzazione di schermi piatti polimerici, dipende strettamente dal cosiddetto "grado di coniugazione" della catena polimerica, ovvero dal grado di sovrapposizione spaziale degli orbitali  $\pi$  lungo la catena principale.

Tale parametro, nel caso dei politiofeni, può essere facilmente variato agendo sulla mutua coplanarità degli anelli tiofenici, che può a sua volta essere variata in funzione del grado di rotazione degli anelli lungo il legame  $\sigma$  che congiunge due unità consecutive nel polimero. Realizzando configurazioni strutturali opportune (Figura 5a), si riesce a "forzare" il sistema ad assumere conformazioni con anelli successivi più o meno coplanari (Figura 5b), riuscendo a limitare (o ad aumentare, se la configurazione strutturale è stata correttamente disegnata) il grado di coniugazione del sistema.

In conclusione i polimeri coniugati sono materiali che, pur



**Figura 4** - PPA con protoni benzilici (a) e senza protoni benzilici reattivi (b)



**Figura 5** - a) diade tiofenica in cui le catene alchiliche sostituenti sono in posizione cosiddetta "testa a testa", che introduce un fattore di tensione sterica tra i due anelli consecutivi; b) effetto di questa configurazione sul grado di mutua rotazione degli anelli tiofenici consecutivi nella catena macromolecolare.

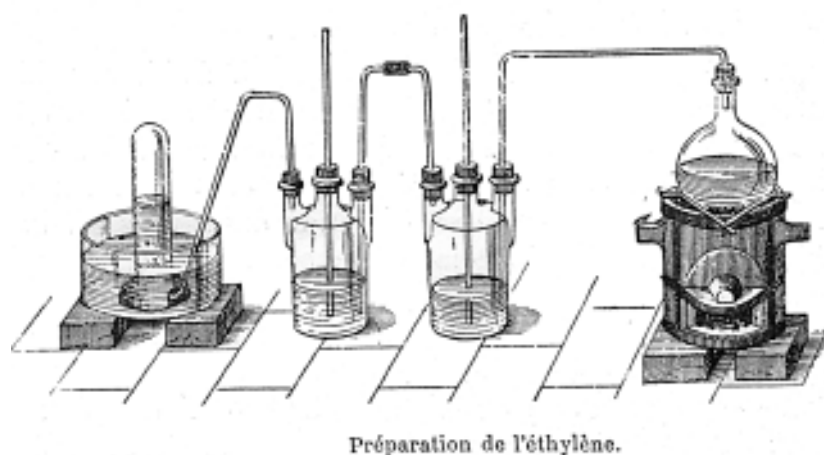
di recente scoperta, promettono di rivoluzionare entro breve il nostro stile di vita, molto più in fretta di quanto potremmo aspettarci leggendo queste poche righe. Non è improbabile che nel giro di qualche anno entreremo in supermercati dai cui scaffali occhieggeranno confezioni di cereali con pacchetti sui quali scorreranno immagini pubblicitarie video, che esalteranno i pregi dei cornflakes di turno. Oppure, al reparto frigo potremo controllare lo stato di conservazione del latte verificandolo da un apposito indicatore luminoso stampato sull'esterno della confezione. O ancora, verificheremo le previsioni del tempo da display giganti appesi sulle pareti-schermo di casa, prima di andare a fare un picnic portandoci la coperta fotovoltaica per alimentare il frigo da campo. La plastica semiconduttiva promette questo e molto altro ancora, e le prime avvisaglie di questa rivoluzione sono già in commercio, riconoscibili nei primi telefonini e rasoi elettrici con display luminoso polimerico (Figura 6).



**Figura 6** - a) Rasoio elettrico con display basato su tecnologia PLED; b) telefono cellulare con display PLEDs monocromatici verdi. Entrambi gli oggetti sono già commercializzati.

#### Note bibliografiche

- [1] G. Natta, G. Mazzanti, P. Corradini, *Atti Accad. Naz. Lincei Cl. Sci. Fis. Mater. Nat. Rend.*, **1958**, 8, 25  
 [2] H. Shirakawa, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2001**, 40, 2574  
 [3] A. J. Heeger, *Synth. Met.*, 2002, 125, 23



a cura di MARIO ANASTASIA

## Giochi della chimica 2005

I Giochi della Chimica dell'edizione 2005, iniziati il 27 maggio con le selezioni regionali, si sono conclusi a Frascati, il 28 giugno 2005, presso l'accogliente Centro Giovanni XXIII. Vi hanno partecipato 81 studenti e 30 docenti accompagnatori, oltre al comitato organizzatore coordinato dal prof. Mario Anastasia e comprendente quest'anno, oltre al prof. Pietro Allevi, anche lo studente Raffaele Colombo, medaglia d'argento alle Olimpiadi 2004 di Kiel e primo tra 240 partecipanti di 60 nazioni nella prova pratica Olimpica (con 10 punti, su 80, di distacco dal secondo). Raffaele Colombo è stato cooptato nel comitato scientifico, non solo per la sua abilità a scovare gli errori di stampa e ad altre piccole inesattezze, ma anche per dare un giudizio, quasi ancora dalla parte degli allievi, sulla difficoltà dei test, permettendo l'eliminazione all'origine di quelli troppo difficili o troppo facili. L'idea è stata buona, infatti, già dalla formulazione dei quesiti regionali, il comitato scientifico ha avuto un buon aiuto nel gravoso compito di formulare i quesiti e nella scelta di quelli più aderenti ai programmi ministeriali. Il comitato non può infatti non segnalare che la collaborazione da parte dei docenti delle varie regioni si è andata notevolmente rarefacendo negli anni, sino a scomparire. Resta costante solo il contributo di uno sparuto numero di veterani, per tutti valgono i nomi dei Proff. Goffredo Enriquez e Silvio Gori, sempre disponibili e puntuali nel dare una mano.

La prova di Frascati è l'ultima di tre prove nazionali che portano alla selezione delle medaglie di oro, argento e bronzo. Le selezioni si svolgono, come tradizione, valutando le soluzioni di 60 quesiti a risposta suggerita da risolvere in 2 ore e mezza. I partecipanti sono divisi in tre classi: A, B e C, che corrispondono rispettivamente ai trienni non chimici (A), al trienni non chimici e ai licei (B) e al triennio per chimici (C). Le categorie A e B hanno quaranta quesiti in comune, mentre le classi B e C hanno 20 quesiti in comune. I quesiti sono scelti, per difficoltà e per contenuti, tenendo presenti le tre categorie. Essi propongono perciò argomenti di crescente difficoltà. I quesiti della classe C sono formulati in particolare in modo da coprire tutti gli argomenti di categoria 1 e 2 ovvero previsti dai programmi delle scuole medie superiori e indicati con i numeri 1 e 2 in quello di base delle Olimpiadi della Chimica, ormai noto a tutti i partecipanti. I partecipanti alla prova finale sono stati selezionati a partire da più di 20.000 studenti delle scuole medie superiori, così suddivisi: 5.000 del biennio ITIS, 6.000 del liceo sperimentale e del triennio ITIS per chimici, 10.000 del triennio non chimico e delle altre scuole con ridotto insegnamento della chimica.

Le selezioni si sono svolte in varie fasi. Una prima selezione viene effettuata a livello dei singoli Istituti ed è effettuata dagli insegnanti di chimica che propongono autonomamente quesiti inerenti al programma svolto e scelgono tut-

ti quelli che dovranno partecipare ad una seconda selezione regionale.

La selezione regionale è organizzata in modo omogeneo a livello nazionale, così che tutti debbano superare la stessa prova sottoposta dal comitato scientifico presieduto dal coordinatore nazionale. Questi attiva per tempo i responsabili nazionali, segnalati dai presidenti di sezione della Società Chimica Italiana, e fa pervenire una settimana prima i fascicoli con i testi di 60 quesiti a risposta multipla per le tre classi A, B e C.

I quesiti restano segreti sino al giorno della prova che si svolge con inizio alla stessa ora in tutta Italia. I responsabili regionali usano solitamente aule universitarie e requisiscono interi settori didattici, perciò la prova si svolge di regola al sabato (quest'anno si è svolta il 27 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 20 cerimonie per le regioni partecipanti, in cui i primi classificati sono premiati con premi che anche se non sono simbolici non devono assumere significato venale.

La correzione dei quesiti avviene in modo automatico, utilizzando un programma fornito dall'organizzazione (a suo tempo formulato e donato dal Prof. Luciano Casaccia, dell'ITIS Sobrero di Casale). Il programma permette la correzione, previa introduzione di una parola chiave che il Prof. M. Anastasia invia non appena terminata la prova regionale. Ciascuna regione è così in grado di ottenere una graduatoria in modo immediato e veloce. Fondendo i risultati di ciascuna regione il comitato organizzatore ottiene poi una classifica nazionale in modo automatico e immediato e confronta le varie regioni, permettendo di valutare l'andamento di esse e dei migliori punteggi ottenuti nell'annata. Per fare ciò è necessario che un dischetto con i risultati venga inviato al responsabile nazionale che ne sintetizza il risultato globale per una valutazione generale della prova, la pubblicazione su "La Chimica nella Scuola", sul sito web della SCI, sezione didattica, sul sito del MIUR e sul sito del Dipartimento di Chimica, Biochimica e Biotecnologie per la medicina dell'Università di Milano, diretto dal Prof. Anastasia. Ciò è stato fatto o è in corso di attuazione visti gli impegni accavallatisi negli ultimi giorni. Dopo la selezione regionale del si passa alla selezione nazionale di Frascati che quest'anno si è svolta dal 26 al 28 maggio. La prova che impegna per tre giorni i partecipanti si svolge presso il Centro Giovanni XXIII che accoglie gli studenti rappresentanti delle regioni italiane, ospitandoli in camere dove vengono opportunamente abbinati in modo da favorire la familiarizzazione tra studenti di diverse regioni. Ciascuna regione può inviare almeno tre studenti, uno per ciascuna classe, ma in base ai risultati conseguiti nell'anno precedente, può inviarne anche uno o due altri, sulla base di una regola matematica applicata dal coordi-



natore nazionale. Qualche partecipante in più è anche accettato su segnalazione di qualche responsabile regionale che garantisce della sua validità.

A Frascati, gli studenti, accompagnati da un docente che segue tutte le operazioni d'esame e di correzione, devono sottoporsi ad una prima prova che individua i primi tre classificati di ciascuna categoria (A, B e C). Questi vengono premiati con un diploma di medaglia d'oro d'argento e di bronzo, per ciascuna categoria e un delfino d'oro della Pomellato donato dall'organizzazione (indipendentemente dalla classificazione). A tutti i partecipanti viene consegnato un diploma di partecipazione e un ricordo che alcuni sponsor, quali la Società farmaceutica Bracco, la Perkin Elmer ed altri mettono a disposizione.

Prima della correzione dei quesiti, la commissione giudicatrice, formata da tutti i professori accompagnatori presenti a Frascati, esamina i quesiti e valuta la loro ammissibilità alla valutazione. In pratica si valutano i quesiti uno per uno decidendo se sono ambigui o se sono troppo difficili o fuori dalla portata dei partecipanti. Così i quesiti che alla fine permettono la selezione diventano opera di tutti i docenti. Coloro che dopo si lamentano perché qualche test a loro non gradito, non possono più farlo in quanto votato e passato a maggioranza, a volte con il voto di chi si lamenta.

Questo momento della prova è di estrema importanza in quanto permette ai docenti di confrontarsi, quasi in un corso condensato di aggiornamento, dove si discutono le novità e i concetti che spesso sono fraintesi dai testi delle scuole medie secondarie e che il comitato scientifico introduce nei quesiti, proprio per provocare la discussione e quindi la divulgazione. Dopo l'ammissione dei quesiti non dovrebbero esserci contestazioni, proprio come alle Olimpiadi, dove chi contesta dopo l'approvazione dei testi d'esame viene squalificato. Tutto serve a stimolare uno studio più approfondito della Chimica. L'unico inconveniente è che i docenti partecipanti sono sempre i più preparati e motivati delle varie scuole e il loro impegno non viene valutato. Quest'anno nella discussione sono stati presi di mira due quesiti semplici riguardanti le unità di misura, volti a chiarire due dati molto semplici, ma ancora ignorati: la scritta  $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$  indica una temperatura di 25 gradi celsius e non va letta gradi centigradi e inoltre i simboli delle unità di misura sono scritti tutti in minuscolo tranne quando si riferiscono a persone o al litro, che per questioni di grafia permette anche la L maiuscola al posto della l minuscola che si confonde con il numero uno (e. 19 kJ, e non kj o KJ!). Invece se Joule si scrivesse con parola intera va scritto con lettera minuscola (es. dieci joule), essendo Joule il cognome del signor Joule!

Ma le discussioni non si fermano solo a queste che alcuni ritengono, ma non sono, finezze, ha riguardato la stereochimica e alcuni concetti scabrosi di termodinamica! Tra i quesiti sono stati riproposti ancora alcuni sulle unità di misura di massa molecolare [kg o u o (tollerato)Da], sulla massa molecolare relativa o peso molecolare (che non hanno unità di misura essendo grandezze relative, quindi né kg né u né Da! Sulla Massa molare ( $\text{g mol}^{-1}$ ), etc. Maggiore attenzione si dovrebbe fare anche a livello Universitario! Molte scuole medie superiori si stanno infatti adeguando! Talvolta prima di vecchi testi universitari o degli autori dei test di selezione per l'ammissione all'Università che pongono di tutto agli studenti partecipanti (n.d.a.)!

110

Dalle graduatorie allegate, nell'anno 2005 sono risultati

vincitori:

per la **classe C**, *Elio Mattia*, medaglia d'oro; *Michele Pavan*, medaglia d'argento e *Mauro del Ben*, medaglia di bronzo vedi per punteggi, scuola e docente preparatore, la classifica nei siti web);

per la **classe B**, *Federico Galletti*, medaglia d'oro; *Pa-squale Scarlino*, medaglia di bronzo e *Lorenzo Lugani*, medaglia di bronzo (vedi per punteggi, scuola e docente preparatore, la classifica sul sito);

per la **classe A**, Francesco Segreto, medaglia d'oro; Francesco Ferri, medaglia d'oro a pari merito); Vincenzo Spalluto, medaglia di bronzo; Giancarlo Nicolò, medaglia di bronzo a pari merito).

Come si vede, per la classe A si sono verificati, in testa alla classifica due pari merito. La commissione giudicatrice aveva prima della correzione deciso che nel caso di pari merito si sarebbe visto il punteggio regionale per scegliere il *primus inter pares*. Poi si è deciso di dare due medaglie d'oro e due di bronzo.

La cerimonia della premiazione si è svolta la sera del 27 maggio alle ore 21.

Come sempre la cerimonia è stata emozionante, sia perché i ragazzi non conoscono i risultati. A pena di squalifica i Professori non possono comunicare agli allievi il risultato, sia perché alla cerimonia partecipano sempre anche professori e presidi che avendo amore per la chimica vengono a Frascati per l'occasione.

La cerimonia si è aperta con la lettura di una bella lettera che la dottoressa Davoli, Funzionario del Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca, impossibilitata a partecipare alla premiazione aveva inviato in quanto impossibilitata a essere presente.

Poi la cerimonia è proseguita con una nota triste: il Prof. Anastasia ha dovuto dare comunicazione della scomparsa della Professoressa Eugenia Paradiso, responsabile dei giochi della Chimica per la regione Puglia, mancata tragicamente in seguito ad un incidente stradale. Il Prof. Anastasia ha ricordato le qualità scientifiche, didattiche e umane della Professoressa e quindi ha chiesto all'assemblea di osservare un minuto di silenzio.

Poi si è passati a premiare alcune persone che hanno contribuito allo svolgimento dei giochi negli ultimi anni. E' stato assegnato un delfino d'oro con una menzione di merito alla Signora Giuseppina Gritti, del Dipartimento di Chimica e Biochimica Medica, per il contributo silenzioso ma efficiente e puntuale all'organizzazione dei giochi e delle Olimpiadi. La Signora Gritti ha dovuto dimettersi per questioni familiari. Un delfino d'oro è stato assegnato anche alla Signora Susanna Ferrari, della Casa Editrice Piccin di Padova, per la sua lunga collaborazione nella stampa e distribuzione dei questionari.

Una bella pergamena della SCI è stata anche assegnata dal comitato organizzatore alla Editrice Piccin di Padova per l'interesse che tale Editrice ha dimostrato negli anni per i buoni libri di Chimica, dando alle stampe libri di valore che hanno facilitato il compito agli insegnanti e agli studenti.

Un caldo ringraziamento è stato rivolto anche alla "Società Elettronica Libertini" che da vari anni oltre ad offrire una bilancia all'Istituto dello studente primo classificato della classe C, fornisce una autobus navetta per accompagnare studenti e Docenti dalla stazione ferroviaria al Centro Giovanni XXIII e viceversa.

A tutti i partecipanti è stata offerta una cartelletta offerta dalla Casa Farmaceutica Bracco che ha offerto una borsa

anche ai Docenti presenti.

Terminata la premiazione, si è passati alla convocazione dei candidati per la prova extra per la selezione olimpica, o meglio per gli allenamenti per la selezione olimpica. Tenuto conto dei risultati sono stati ammessi i primi 15 allievi della classe C (Mattia Elio; Pavan Michele; Del Ben Mauro; Stringari Gianni; Fulginiti Daniele; Catania Carmine; Basagni Andrea; Lepri Susan; Gissi Andrea; Spalluto Giorgio; Granelli Matteo; Leonzio Marco; Assumma Luca; Brunelli Tommaso; Picciau Maurizio; Iannucci Onorio; D'amaro Luca) e i primi 9 della classe B (Galletti Federico; Scarlino Pasquale; Lugani Lorenzo; Varriale Vincenzo; Fanciullo Cristiana; Politano Andrea; Borghi Giovanni; Pozzetti Maria Beatrice; Ferraro Simone).

I 24 studenti selezionati hanno sostenuto la prova alle ore 9 di sabato 28 maggio. La prova, di due ore e trenta, questa volta era a domande a risposta aperta. Si trattava di 18 domande diverse, compresi due spettri di risonanza magnetica del protone. Tali quesiti servono a selezionare otto allievi da inviare a Pavia per un allenamento di una settimana dopo del quale si selezionano 4 candidati per un secondo allenamento e per le Olimpiadi di Taipei (Taiwan).

La correzione dei compiti, spesso al di sopra delle possibilità dei più, unitamente ad altre considerazioni sulla prontezza di spirito e sulla maturità emersa da colloqui diretti con gli interessati e alle informazioni avute circa la motivazione dei diversi candidati ha portato i Proff. Anastasia e Allevi a selezionare otto candidati per gli allenamenti di Pavia.

Il gruppo dei selezionati era composto da:  
 Mattia Elio, ITIS Panetti, Bari;  
 Pavan Michele, ITI Fermi, Treviso;  
 Del Ben Mauro ITI Kennedy, Pordenone;  
 Stringari Gianni, ITI Buonarroti, Trento  
 Catania Carmine, ITIS Majorana, Milazzo  
 Basagni Andrea, ITIS G. Galilei, Arezzo  
 Spalluto Giorgio ITIS E. Dell'erba, Castellana Grotte, Bari  
 Brunelli Tommaso, ITI Buonarroti, Trento.

Come si vede dalla classifica nazionale, si tratta dei primi 3 classificati della classe C del V anno, di 4 studenti della classe C del IV anno, e di Elio Mattia proveniente dalla classe B ed oggi autodidatta in quanto fa il V anno dell'indirizzo informatico.

Come si vede dai risultati regionali e nazionali dei candidati scelti nonché dalle prove a risposta aperta, purtroppo non si è avuta una vasta gamma di campioni tra cui scegliere. I quattro di quinta rappresentavano una sovrabbondanza rispetto alle esigenze, gli altri di quinta seppure bravi nelle domande a risposta suggerita hanno reso poco in quelle a risposta aperta. Così si è pensato al futuro e almeno metà selezionati sono stati scelti per predisporre per l'anno prossimo alcuni studenti motivati che durante l'anno studino per raggiungere un livello accettabile per la competizione internazionale. Allenare altri di quinta che già partivano da un livello non adeguato è sembrato inutile e dannoso, considerando che i ragazzi hanno comunque da superare l'esame di diploma. Sta di fatto che la scuola per periti chimici che una volta era un esempio per tutti e forniva giovani per l'industria, vede ridursi sempre più le vocazioni in quanto i giovani preferiscono indirizzarsi allo studio dell'informatica, così che in tutti gli istituti tecnici le sezioni di chimica si riducono a favore di quelle di informatica. Invece i giovani dovrebbero essere consigliati a stu-

diare chimica in quanto l'informatica può essere anche di ausilio alla chimica e certamente un chimico con buone basi o con una forte passione per l'informatica certamente sfonda nel suo campo. Almeno per il sottoscritto l'informatica sta alla chimica come l'inglese o il russo o un'altra qualsiasi lingua che il chimico impara da sé meglio che a scuola.

Del resto l'Italia deve superare la crisi nel campo chimico se vuole restare tra le nazioni progredite.

### Olimpiadi della chimica 2005 Taipei -Taiwan

Le olimpiadi della chimica si sono svolte a Taipei (Taiwan) e si sono concluse il 25 luglio 2005 con la conquista da parte dell'Italia di due medaglie di bronzo e un diploma d'onore. Questo premio viene dato a coloro che hanno svolto in modo completo almeno un esercizio. Hanno meritato una medaglia di bronzo ciascuno gli studenti:

*Mattia Elio* dell' ITIS Panetti di Bari;

*Del Ben Mauro* dell'ITI Kennedy di Pordenone.

Invece, ha meritato un diploma di onore:

*Pavan Michele* dell'ITI Fermi di Treviso.

Un diploma di partecipazione è stato assegnato al quarto partecipante:

*Stringari Gianni* dell' ITI Buonarroti di Trento.

Il viaggio per raggiungere Taipei è durato 15 ore e trenta minuti, avendo dovuto effettuare una sosta a Bangkok di circa due ore. Il viaggio è stato confortevole almeno nella prima parte in quanto l'aereo non era pieno e i nostri si sono potuti a turno distendere su due o tre sedili. Giunti a Taipei, una delegazione degli organizzatori ha accolto il team italiano con cartelli e applausi. C'era però anche un'afa degna del clima di scirocco nel sud Italia. Dopo poco, con un autobus dotato di aria condizionata, la delegazione italiana, accompagnata da quella thailandese, giunta contemporaneamente, si è diretta successivamente in due alberghi, uno di essi ha accolto i due mentor, l'altro i quattro studenti. Questi ultimi, come tradizione, sono stati affidati ad una guida bilingue che li ha accompagnati per tutto il periodo delle olimpiadi. La guida era proprio carina e simpatica e ha accaduto in allegria i nostri studenti che alla fine le hanno fatto dono della bandierina italiana e del delfino che faceva da mascotte da quando avevamo conquistato la medaglia d'oro di Melbourne. Toccherà al sottoscritto sostituire delfino e bandiera sperando che continuino a portare fortuna. Quest'anno, per la prima volta, i nostri concorrenti hanno ricevuto e indossato una divisa nazionale. Hanno indossato una camicia bianca a righe azzurre con maniche corte, pantaloni blu e cravatta a righe uguali anche se a sfondo leggermente diverso (vista la difficoltà per gli italiani di produrre più di due cravatte belle uguali). La foto allegata mostra che la divisa era bella e ci ha fatto ben figurare.

Purtroppo il soggiorno è stato disturbato da lunghe piogge e dalla paura dell'arrivo di un forte tifone che la stampa locale dava per certo. Per questi motivi gli studenti e i mentor hanno dovuto rinunciare ad una delle escursioni che sarebbero potute essere rese pericolose dall'arrivo del tifone. A tutti è stato consigliato per iscritto di restare negli spazi dell'albergo. Poi però il tifone si è allontanato.

Le prove che gli studenti hanno dovuto sostenere sono state, come tradizione, due. Una prova pratica consistente in due esercizi distinti, il primo dei quali richiedeva la sintesi della fenilglicina racemica e la separazione dei suoi

enantiomeri per salificazione con acido canfosolfonico. Il secondo era un esercizio di chimica analitica in cui bisognava riconoscere **11** campioni diversi o ripetuti di varie sostanze anche mediante l'uso di un voltmetro rudimentale costituito da due pile e da due elettrodi, uno d'oro e uno di platino.

Le prove teoriche erano costituite da **8** esercizi diversi che coricavano argomenti di organica di classe terza, ovvero non previsti nelle scuole secondarie, ed argomenti di chimica fisica, analitica e generale. Alcuni di essi erano stati previsti nelle esercitazioni Pavia, vedi l'uso degli eteri corona in analitica, vari argomenti di stereochimica, il calcolo dell'eccesso enantiomerico e le strutture di risonanza di vari composti.

Molti altri argomenti, che i nostri avevano studiato a Pavia, che pure erano stati inizialmente inclusi nell'edizione degli esercizi proposti dagli organizzatori, sono stati esclusi nella discussione preliminare dei testi che l'assemblea dei mentor, effettua per ore e ore prima dei passare la notte a tradurre i testi definitivi nelle diverse lingue. Così sono scomparsi gli azuleni e varie nozioni più complesse di stereochimica che i nostri, allertati dal sottoscritto, avrebbero potuto conoscere.

Purtroppo, nella discussione preliminare di accettazione dei testi, i mentor partecipanti di madre lingua, che non devono tradurre i testi in inglese, sono riusciti a far stravolgere i testi eliminando molte di tali domande che probabilmente i loro studenti non si attendevano. In verità anche noi Italiani, io e il mio Collega Pietro Allevi, eravamo contenti dei testi finali delle prove, convinti che molte nozioni di chimica di base, ovvero di quelle insegnate nella scuola media superiore, fossero note ai nostri candidati, ad esempio le formula dei sali che la fenoltaleina forma in soluzione a  $\text{pH} > 9$ , o le strutture di Lewis dell'ozono e del CO, con il numero di ossidazione e la carica formale del carbonio e dell'ossigeno nella molecola. La denominazione *R* o *S* dei centri stereogenici etc.. Purtroppo però l'evidenza delle prove ha mostrato che spesso le conoscenze di base vacillano, vuoi per l'emozione vuoi per uno studio precedente alquanto superficiale o forse peggio non fatto, in una scuola media superiore che appare in decadenza precipitosa. Anche se dietro i ragazzi che noi selezioniamo ci sono sempre docenti motivati e bravissimi.

Cosa succederebbe se noi portassimo i ragazzi dei licei? Come previsto del resto dalle regole delle Olimpiadi?

Allora forse ha ragione il mio amico Antonio Renuncio, mentor della Spagna (che si trova nelle nostre condizioni se non in altre peggiori), quando asserisce che il più utile insegnamento che le nostre nazioni possono trarre dalle Olimpiadi è che qualcosa nelle scuole secondarie deve essere cambiato.

Prima di tutto si deve capire che è essenziale una maggiore valorizzazione della chimica nei vari piani di studio dei nostri licei e istituti tecnici, con un maggior numero di ore e una coerenza di programmi. In contemporanea è necessaria una maggiore gratificazione, anche economica, degli sforzi del corpo insegnante, al quale si può così chiedere un maggiore impegno nello svolgimento dei programmi.

E' pur vero però che in altre nazioni sicuramente gli studenti vengono allenati al di là delle regole, ovvero per più di dieci giorni, come avviene regolarmente in Italia.

**112** Noi forse dobbiamo migliorare l'efficacia dell'insegnamento di Pavia. Come fare sarà uno dei miei compiti estivi.

Anche nell'insegnamento di Pavia c'è qualcosa che va

certamente modificato per adeguarsi alle difficoltà crescenti dei programmi olimpionici, certamente molto più difficili di quelli di alcuni anni fa. Forse, bisogna individuare molto prima della ricezione degli esercizi preparatori (gli esercizi esemplificativi che la nazione organizzatrice è obbligata ad inviare per gennaio alle nazioni partecipanti, per segnalare gli argomenti di classe **3** che possono comparire nelle prove d'esame) i possibili argomenti delle prove, studiando la letteratura scientifica prodotta dalla nazione ospitante. Si potrà così programmare una didattica più mirata che comunque non si deve basare solo sulle conoscenze del docente, certamente sovradimensionate, quanto piuttosto sulla sua buona volontà e organizzare il lavoro. Occorre poi comunque un'accurata analisi degli esercizi preparatori per restringere il campo, e infine bisogna fornire ai candidati sunti ridotti e concentrati sugli argomenti che si discutono, non pacchi enormi non selezionati di letteratura in inglese, difficile anche per iniziati. In questo senso devo registrare che le docenti donne sono molto più ben disposte e organizzate. Invece i docenti maschi, specie quelli ormai veterani, a volte si limitano a raccontare quello che piace loro o, al meglio, diluiscono troppo con le loro conoscenze gli argomenti di reale interesse per le Olimpiadi. Avviene così che il comitato scientifico e il sottoscritto, sotto Olimpiadi sono costretti a surrogare più di un argomento preparando sunti in italiano di argomenti che appaiono importanti per la prova. Per fortuna tali argomenti restano in archivio e possono servire per gli anni successivi.

Si evidenzia però la necessità di avere una maggiore collaborazione nazionale. C'è qualcuno disponibile per il futuro a dare una mano?

Colgo l'occasione per segnalare ai docenti interessati alla preparazione dei possibili olimpionici che è intenzione del comitato scientifico rendere disponibili gli scritti su alcuni argomenti ormai di base per le olimpiadi a tutti coloro che me ne facciano richiesta. Con settembre si intende comunque stabilire alcuni contatti più diretti con le varie regioni. La paura di tornare dalle Olimpiadi a mani vuote cresce ogni anno, anche se alla fine gli sforzi vengono premiati e da Italiani, capaci di combattere anche con le mani, torniamo con qualche medaglia.

Anche ai miei Colleghi Chimici universitari lanciai un appello per una maggiore collaborazione. Se è vero che le vocazioni per la chimica si allineano sempre più per carenza a quelle sacerdotali, è pur vero che sono pochi i docenti di chimica che dedicano un po' del loro tempo anche al miglioramento dell'immagine della chimica. E i giochi e le olimpiadi della chimica sono un ottimo strumento di pubblicità. Cosa si può fare? Intanto cominciare a pensare che si può fare ricerca anche dedicando alla comunità chimica un po' del proprio tempo. Certo è un sacrificio, ma bisogna farlo se si ama la chimica. Una proposta semplice: non è possibile che i dottorandi delle varie scuole di dottorato o dei vari dottorati si documentino di anno in anno sulle ricerche dei chimici della nazione organizzatrice delle olimpiadi, magari limitandosi, nel caso di Nazioni troppo prolifiche, ai chimici del comitato organizzatore, e scrivano dei report su di esse in Italiano da dare ai ragazzi selezionati per le Olimpiadi. Immaginando di essere loro gli organizzatori dei testi di esame? E' infatti molto probabile che le prove d'esame riguardino ricerche della nazione organizzatrice. Ci sarebbe il doppio vantaggio, per i dottorandi di estendere le loro conoscenze oltre la chimica del docente guida, mentre i candidati selezionati per le Olimpiadi po-



trebbero avvantaggiarsi di un lavoro che in poco tempo e da soli non potrebbero comunque fare. L'anno prossimo si compete in Corea. Qui la chimica è ben praticata, non si può studiare un po' per uno la chimica dei colleghi coreani e pensare di prevedere qualche argomento?

Si può dare un aiuto ai docenti delle lezioni a Pavia. Questi a loro volta, spesso sono ricercatori o postdoc, non potrebbero vedersi riconosciuto, nei concorsi per la loro progressione di carriera un merito per l'insegnamento fatto per allenare i selezionati per Pavia. Altrimenti la passione scema nel tempo. E il sottoscritto deve sempre cercarne di nuovi!

Cosa ne pensano i miei giovani e vecchi colleghi? Fatemi sapere qualcosa! Io ho in mente di parlare con il ministro

per far avere qualche riconoscimento anche ai docenti che si dedicano senza alcuna ricaduta, se non la personale soddisfazione, all'incentivazione e all'istruzione degli allievi. Per questo conto sulla collaborazione delle Dottoresse Davoli e Deviato che con cordiale collaborazione e grande efficienza mi aiutano a portare a termine il gravoso compito di continuare a ben figurare alle Olimpiadi. A proposito, tra le cose che richiedono una seria, consapevole e generosa sostituzione c'è anche quella di ringiovanire il responsabile dell'organizzazione nazionale. C'è solo da trovare un giovane motivato e serio, bisogna pensarci per tempo! Qualcuno disposto al sacrificio ci pensi! Intanto vi saluto.





## Il dentro e il fuori della scuola

di Ermanno Niccoli

Lettera al Lettore

Lettera al Lettore

Lettera al Lettore

Gentile collega, tempo fa mi veniva da riflettere sul rapporto un poco schizofrenico che la società civile intrattiene con la scuola: da un lato manifesta rispetto a questa un atteggiamento ironico e sfumatamente dispregiativo dall'altro, per esprimere con nettezza giudizi e valutazioni, fa continuamente ricorso a termini di chiara derivazione scolastica dimostrando in tal modo il permanere di una *imprinting* culturale indelebile.

Hai presente quella pubblicità nella quale il produttore, con un faccione da luna piena, interroga dei bambini sulla qualità del suo prodotto e premia una tiritera imparata a memoria da parte di una bambina palesemente secciona con un sonante "dieci più"?

Visto che pubblicizzare un prodotto è cosa seria e costosa, quale migliore dimostrazione della visione un poco macchiettistica della scuola e nello stesso tempo della sudditanza psicologica che ci trasciniamo dietro attraverso gli anni?

Il linguaggio corrente fa spesso ricorso a termini valutativi d'origine scolastica per esprimere giudizi: si "boccia" una proposta, si "promuove" un dipendente, si stabilisce che una iniziativa è "sufficiente" o "insufficiente" e così via. Se ne conclude che l'esperienza scolastica rappresenta una componente ineliminabile del vissuto di ciascun individuo e all'interno di questa esperienza assume una posizione privilegiata la "valutazione". Si può peraltro osservare che quando i giovani iniziano il loro percorso scolastico sono già in possesso di un nutrito vocabolario valutativo e la valutazione rischia di divenire, almeno sotto il profilo emotivo, il punto focale privilegiato di tutta l'esperienza scolastica.

D'altro canto molto spesso gli adulti si interessano alla scuola dei figli soprattutto in termini di esiti parziali o finali. I giornali si interessano ai fatti scolastici solamente in occasione di punizioni esemplari, di bocciature clamorose o della pubblicazione dei prevedibili, monotoni, insignificanti risultati degli esami di maturità.

Dire che un individuo è "maturo" significa esprimere un giudizio, ricco di risonanze scolastiche, che si proietta nel futuro del soggetto, esprime un giudizio che vorrebbe essere globale e totalizzante. Invece non di rado analogamente al giudizio scolastico corrispondente, ha uno scarso significato.

Insomma attraverso il linguaggio comune traspare una visione per molti versi arretrata della scuola e contemporaneamente il permanere di una subordinazione psicologica anche negli individui ormai "maturo".

Questa situazione incide profondamente nei rapporti tra insegnanti e famiglie con qualche difficoltà di comunicazione, infatti tra le altre cose l'insegnante parlando di valutazione, utilizza significati assai diversi a seconda che si rivolga all'amministrazione, ai colleghi, agli alunni o ai genitori degli alunni.

Non si può nemmeno ignorare il relativismo con cui l'opinione pubblica (i giornali) interpreta quanto viene loro comunicato dalla scuola. Di fronte allo stesso esito di fine anno, a seconda del punto di vista adottato, si parlerà di "stangata" o di "maggior rigore".

Piaccia o non piaccia il punto di vista è sempre quello di chi in altri tempi è stato alunno magari nello stesso istituto dei figli ed a pochi passerà per il capo che i parametri per stabilire la maggiore o minore efficienza di una istituzione scolastica siano ben altri.

In altre parole i genitori ed i giornalisti di oggi sicuramente maturi e stimati professionisti di fronte all'istituzione scolastica regrediscono spesso e inconsciamente allo stadio di "alunni"; tutto ciò non può non complicare i rapporti, che si vorrebbero di collaborazione, con la scuola.

Una eccezione a questo comportamento si osserva quando genitori e giornalisti adottano per formulare i loro giudizi dei rigidi schematismi ideologici e politici; un'altra eccezione ai suddetti comportamenti si osserva quando genitori e giornalisti sono anche insegnanti, ma in questi casi le cose si complicano a causa dell'irriducibile senso di rivalità o di complicità che si instaura tra le parti.

Comunque sia, è sul fronte delle promozioni, delle bocciature o sul fronte degli abbandoni che le parti manifestano questi comportamenti e spesso ci si dimentica che per valutare l'operato di una scuola bisognerebbe prendere in considerazione ben altri parametri. Una scuola infatti è una struttura il cui funzionamento presenta una considerevole complessità.

Forse sarebbe utile che il pubblico costituito da genitori e giornalisti assistesse (in silenzio) alle operazioni di scrutinio per capire le difficoltà e talvolta il travaglio che una valutazione comporta: sul piano della valutazione gli insegnanti non saranno dei grandi professionisti ma non sono nemmeno degli irresponsabili.

Ma i pregiudizi da parte dell'utenza non sono finiti qui. Da certi tipi di scuola ci si aspettano certi risultati, da altri tipi di scuola altri risultati ancora, si tende a fare scarsa distinzione tra scuola primaria e scuola secondaria, tra scuola dell'obbligo e scuola non obbligatoria.

Tutti sono stati alunni e quindi in misura diversa tutti pen-

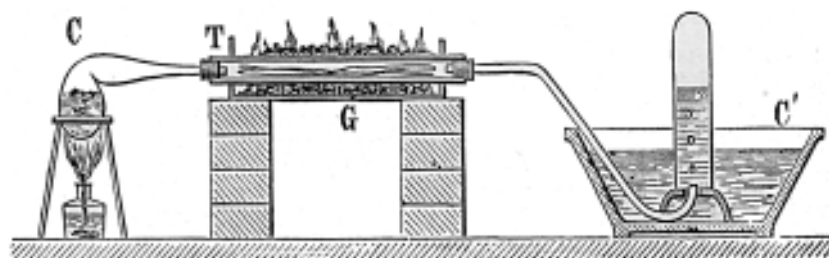
sano di essere competenti ad intervenire sulla scuola: la Ministra della Pubblica Istruzione, i funzionari del ministero, i sindacati, i partiti, gli ordini professionali. Fatto questo più che legittimo purché ognuno operi all'interno del suo ruolo, in base alle sue reali competenze e purché non ci si dimentichi di consultare gl'insegnanti!

L'istruzione è vitale per ogni popolazione che non voglia regredire nel sottosviluppo, da questo punto di vista la scuola dovrebbe essere il fiore all'occhiello di qualunque

governo, ciò nonostante la scuola viene gestita con criteri approssimativi che manderebbero al fallimento qualunque impresa.

La professionalità degli insegnanti, gentile collega, lascia un poco a desiderare ma la loro passione professionale è ciò che al momento attuale salva la scuola italiana.

Desidererei molto conoscere il tuo parere a questo proposito, sulla rivista esiste una rubrica pronta ad accogliere le tue osservazioni. Approfittane



Décomposition de la vapeur d'eau par le fer.



## European Variety in Chemistry Education Cracovia, 4 – 7 luglio 2005

LIBERATO CARDELLINI\*



Per più di dieci anni il Tertiary Education Group della Royal Society of Chemistry e la Physical Sciences Centre of the Higher Education Academy hanno organizzato in UK la conferenza annuale *Variety in Chemistry Teaching*, orientata allo scambio di idee ed esperienze tra docenti universitari di chimica. Nella riunione che è seguita alla conferenza del settembre 2002 all'Università di Keele è stato deciso di modificare il nome della conferenza e di svolgere la successiva conferenza alla Dublin City University (Irlanda) in associazione con l'Irish Variety in Chemistry Teaching. Nel settembre 2004 la conferenza ha avuto luogo all'Università di Plymouth e nella riunione organizzativa è stata accolta l'idea di svolgere queste conferenze anche in europa continentale.

La prima conferenza biennale dell'European Variety in Chemistry Education si è svolta a Cracovia (Polonia), organizzata dalla Facoltà di Chimica dell'Università Jagiellonica ed ha visto la partecipazione di 90 ricercatori e docenti provenienti da 17 paesi.

Le cerimonie di apertura hanno avuto luogo nella bellissima sala del Collegium Novum, ed hanno riguardato la dichiarazione di Bologna e il Chemistry Eurobachelor. Alle due comunicazioni di Leo Gros dell'Europa Fachhochschule Fresenius, Germany, (*Eurovariety in Chemistry: On the way to a European Framework for Chemical Education*) e di Anna Kolasa della Jagiellonian University (*The Chemistry Eurobachelor - A framework for a European first cycle degree in chemistry*) è seguita una discussione sugli studi in chimica in differenti paesi quali UK, Serbia e Montenegro, Germania, Lituania e Polonia. In UK non c'è interesse verso il sistema 3 + 2; si punta piuttosto sulla maggiore qualità dei laureati. Medicina a Legge hanno adottato la tecnica Problem Based Learning (PBL); Scienze si sta muovendo verso l'adozione del PBL.

Il martedì la sede della conferenza si è spostata nel Collegium Chemicum della Facoltà di Chimica e dopo il saluto di benvenuto del Preside (e presidente della locale divisione della Società Chimica Polacca), la conferenza plenaria è stata svolta da Stuart Bennett dell'Open University, che ha presentato *Problem solving and assessment*. La valutazione degli studenti è motivata da varie esigenze, quali classificare gli studenti, essere una guida per il miglioramento, diagnosticare le debolezze nel-

la preparazione, fornire un feedback, informare i datori di lavoro e motivare gli studenti. È stata riportata una statistica della tipologia dei problemi al primo anno di chimica secondo la classificazione di Johnstone (si veda ad esempio L. Cardellini, Problem solving & dintorni: attività per l'acquisizione di abilità cognitive di ordine elevato, *La Chimica nella Scuola*, 2005, 27, p. 152): il 93,8% sono del primo tipo (esercizi); questa percentuale scende al 90,3% nei problemi del terzo anno. Molti degli studenti che si iscrivono all'Open University senza aver completato gli studi superiori, nei problemi non algoritmici hanno un'abilità paragonabile agli studenti che hanno completato gli studi superiori ed ha suggerito delle possibili alternative al lavoro di laboratorio.

Sono seguite cinque comunicazioni brevi sui Virtual Learning Environments (VLE) e sul loro possibile uso nella valutazione, sull'introduzione dei frattali nella specializzazione in chimica, sull'introduzione di numerose novità nel corso di chimica (immagini, modelli molecolari, metodi e-learning, uso di esempi reali e applicazioni chimiche) e delle diverse tecniche di insegnamento per facilitare il coinvolgimento e la ritenzione delle conoscenze nel diverso tipo di studenti che oggi arrivano all'università. In un'altra comunicazione è stato riferito dell'adozione del sistema 3 + 2, che ha significato ridurre il carico di insegnamento a 40 ore (4 ore per 10 settimane; ad esempio il corso di chimica organica viene valutato 7,5 crediti) a cui è seguita una comunicazione presentata da Rainer Salzer, della Dresden University of Technology, Germania, sull'uso del cosiddetto pre-lab digitale.

Per il corso di Chimica Analitica, che per rispetto alla domanda professionale è quasi totalmente un corso di analisi strumentale, si sta sviluppando un sistema basato su Internet di strumenti virtuali (gascromatografo, FTIR, Raman), in modo che gli studenti prima di accedere alle prove di laboratorio hanno la possibilità di esercitarsi sull'uso della strumentazione al computer. Per un esperimento virtuale c'è bisogno di uno strumento virtuale, di un manuale on line e di una procedura esatta.

La conferenza plenaria del pomeriggio è stata presentata da Marek Kwiatkowski, dell'Università di Gdansk, Polonia: *Multimedia educational software as a means for attracting better candidates for chemical studies in Poland*. Si tratta

116 Università Politecnica delle Marche -Dip. di Scienze dei Materiali e della Terra, via Brecce Bianche -60131 Ancona. e-mail libero@univpm.it

di un progetto ambizioso, che viene sviluppato insieme ad una società di software didattico, per realizzare un testo multimediale di chimica. Lo scopo è quello di dare maggiori stimoli con animazioni, simulazioni, esperimenti virtuali ed anche riprese di esperimenti reali in laboratorio, per interessare maggiormente gli studenti alla chimica.

Sono seguite sette comunicazioni sull'uso del computer nella didattica, sia come aiuto all'apprendimento che come strumento nella valutazione. Desidero menzionare il sito BestChoice ([www.che.auckland.ac.nz/bestchoice](http://www.che.auckland.ac.nz/bestchoice)) sviluppato dalla Dott.ssa S. Woodgate per supportare e facilitare l'apprendimento della chimica degli studenti al primo anno dell'Università di Auckland e delle scuole superiori della Nuova Zelanda. Viene utilizzato dal 2002 e si compone di oltre 60 moduli con 2500 videate (Chimica generale, inorganica ed organica) e 4000 possibili interazioni che restituiscono un feedback. La valutazione attraverso il computer è ormai molto sviluppata ed è stato presentato il "Questionmark Perception". La sessione poster comprendeva 35 contributi; una varietà di attività per migliorare l'apprendimento della chimica, compresi due contributi sugli equilibri ionici e uno sulla chimica legale.

Il mercoledì è iniziato con Georgios Tsapalis, dell'Università di Ioannina, Grecia, che ha presentato *Transforming undergraduate education in chemistry for preparing secondary-level teachers: the need for a close collaboration of faculty in science and science education*. Come si intuisce dal titolo, per la preparazione degli insegnanti di materie scientifiche non è sufficiente la conoscenza della materia; è anche necessario conoscere la maniera di presentare gli argomenti per facilitare l'apprendimento degli studenti: la conoscenza pedagogica della conoscenza. Che è il patrimonio di abilità che gli insegnanti acquisiscono con il crescere dell'esperienza professionale. Sono seguite due presentazioni brevi; in una viene invocato un sistema di insegnamento che tenga conto della complessità della chimica e delle molte abilità che gli studenti dovrebbero acquisire, mentre nell'altra Martin Goedhart, dell'University of Groningen, Olanda, ha riferito dell'impiego di temi di ricerca nel laboratorio: gli studenti devono organizzare, pianificare, interpretare e valutare le misure e i risultati, invece che seguire delle ricette. Gli studenti hanno grandi benefici come qualità dell'apprendimento e certamente per raggiungere questo scopo il docente deve lavorare molto di più. Due sessioni parallele, una sulla preparazione degli insegnanti e l'altra sul

laboratorio hanno completato la mattinata.

Nella plenaria del pomeriggio Michael Gagan della Royal Society of Chemistry, ha presentato in modo magistrale *What is scholarship in chemistry education?* Sono seguite due comunicazioni da parte di due dirigenti di importanti aziende, che sono interessati ad assumere dei laureati in chimica. Anche nel colloquio personale è stato ripetuto che l'industria non ha bisogno di laureati con grandi competenze specifiche, ma di laureati con una solida preparazione di base, che faciliti l'esercizio dell'uso logico della testa, come avviene nel problem solving.

Nella prima parte dell'ultimo giorno si sono avute due sessioni parallele; una sulla didattica chimica in una prospettiva nazionale ed internazionale e l'altra sulla ricerca in didattica della chimica. In questa sessione sono stati presentati pregevoli contributi da ricercatori della Turchia: fa piacere e conforta l'entusiasmo di questa nazione desiderosa di raggiungere anche nel campo della formazione risultati importanti. Nella discussione è stato fatto notare che lo scopo ultimo della ricerca è quello di migliorare i processi di insegnamento e di apprendimento.

Sono seguiti tre workshop in parallelo: uno condotto da Pascal Mimero "EChemTest", *A European Evaluation Tool to Certify at University Level both the Academic and Professional Knowledge in Chemistry*; Bill Byers ha presentato *Promoting Learning Through Peer Group Work* e uno dal sottoscritto: *Ionic Equilibrium Problems: Is There A Better Way To Solve Them?*

Altre comunicazioni mi hanno incuriosito, come la legislazione europea sulla sicurezza nei laboratori e lo sviluppo di un progetto della gestione dell'emergenza chimica in un corso specializzato di chimica ambientale. Come risulta da quanto riportato, non sono mancati contributi interessanti, anche se purtroppo in chi, come il sottoscritto, che di conferenze ne ha ascoltate tante, prevale la sensazione del già sentito. La seconda conferenza europea sarà a Praga, organizzata da Hana Ètrnáctová della Charles University: sarebbe bello poter mostrare che nell'insegnamento della chimica in Italia ci sono delle pratiche che in classe hanno successo.

È doveroso congratularsi con Iwona Maciejowska della Jagiellonian University e con i suoi collaboratori per il successo ottenuto e la perfetta organizzazione della conferenza ed è stato fatto notare come anche il programma scientifico sia stato composto in modo da risultare molto omogeneo negli argomenti delle varie sessioni.



**SOCIETÀ CHIMICA ITALIANA  
GRUPPO GIOVANI**

<http://www.scigiovani.it/>

**PREMIO PRIMO LEVI - Bando 2005**

Il Consiglio Direttivo del Gruppo Giovani della Società Chimica Italiana bandisce il “**Premio Primo Levi 2005**” da assegnare ad un giovane chimico, autore di una ricerca originale e di ampio interesse scientifico pubblicata nel periodo 1 Gennaio 2005 - 31 Dicembre 2005.

I requisiti di partecipazione al concorso sono:

- a) Il candidato deve figurare tra gli autori della pubblicazione.
- b) Il candidato non deve aver compiuto i 35 anni di età alla data del 1 gennaio 2005.
- c) Il candidato deve essere iscritto alla SCI entro i termini di scadenza per la presentazione della domanda di partecipazione.
- d) Il candidato non può essere parente, fino al IV grado incluso, con i Consiglieri del Direttivo.
- e) La pubblicazione presentata non può avere come coautori i Consiglieri del Direttivo.

Il candidato contestualmente alla domanda di partecipazione (vedi fax-simile di domanda sul sito [www.scigiovani.it](http://www.scigiovani.it)) deve presentare, pena l'esclusione dal concorso, la seguente documentazione:

- 1) N. 3 copie del lavoro pubblicato.
- 2) N. 3 copie del curriculum vitae (massimo una pagina).
- 3) N. 3 copie della lista delle pubblicazioni.

La documentazione dovrà pervenire, tramite raccomandata con ricevuta di ritorno, entro il 31 Gennaio 2006 al Segretario del Gruppo Giovani Dr. Marco Franceschin, Dipartimento di Chimica, Stanza 330, Università La Sapienza di Roma, Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma. Si prega di riportare sul plico l'indicazione - Premio Primo Levi Gruppo Giovani -SCI 2005-.

Il premio verrà assegnato ad insindacabile giudizio di una Commissione Giudicatrice che provvederà a stilare una relativa delibera motivata. La Commissione Giudicatrice verrà nominata dal Direttivo del Gruppo Giovani subito dopo aver ricevuto la documentazione dei candidati. Non potranno far parte della Commissione Giudicatrice membri aventi rapporti di parentela, fino al IV grado incluso, con uno dei candidati, né membri coautori di pubblicazioni scientifiche presentate. La Commissione giudicatrice oltre a valutare l'impatto del lavoro nella comunità scientifica internazionale e la sua originalità, dovrà tenere conto del contributo del candidato al lavoro stesso.

Al vincitore del premio verrà consegnato un attestato e un assegno di euro 500.

Il Direttivo del Gruppo Giovani segnalerà la data e il luogo nel quale verrà conferito il premio non appena conclusosi il relativo concorso. Il vincitore verrà invitato a presentare oralmente i risultati più significativi del proprio lavoro nell'ambito di una delle attività congressuali organizzate annualmente dal Direttivo del Gruppo Giovani e/o al Congresso Nazionale della Divisione della Società Chimica Italiana di appartenenza.





- 9:20 **Il progetto Lauree Scientifiche per l'Area Chimica.**  
Relazione dei responsabili di sede. Coordina U. Segre, responsabile del progetto nazionale
- 10:40 Pausa caffè
- 11:00 **Tavola rotonda su Lauree Magistrali e SSIS**  
Intervengono: **G. Luzzatto, G. Silvestri, R.M. Sperandeo e V. Amico** (Direttori SISIS PA e CT). Coordina **G. Costa**
- 12:30 **Discussione**
- 13:00-15:00 Pausa pranzo
- 15:00 **R. Zanolì**, I.T.I.S. "F. Cosmi", Modena  
*Quale formazione per la professione docente? Riflessioni ed esperienze dalla SSIS di Modena*
- 15:20 **V. Massidda**, ITAS "G. Deledda", Cagliari  
*Laboratori di formazione per insegnanti di scienze del primo ciclo*
- 15:40 **M. A. Carrozza**, Università di Venezia  
*Formazione universitaria a distanza degli insegnanti: un progetto innovativo per insegnanti tecnico - pratici*
- 16:00 **S. Zanetti**, Università di Venezia  
*Laboratori virtuali nella formazione a distanza di insegnanti tecnico - pratici di chimica e microbiologia*
- 16:20 **Discussione**
- 16:40 Pausa caffè
- Sessione IV LABORATORI E POSTER**
- 17:00 **N. Spanò**, Supervisore SSIS MESSINA  
*Dall'atomo cubico al metodo V.S.E.P.R*
- 17:15 **M. Ciofalo**, Dipartimento I.T.A.F., Sezione Chimica, Università di Palermo  
*RotAnal: una nuova applicazione per lo studio conformazionale di molecole organiche flessibili*
- 17:30 **A.M. Ciancetto**, Sezione ANISN, Catania  
*La chimica fa teatro : Harry Potter a Galiwards*
- 18:00 **La magia della chimica, presentazione da parte di studenti, Università. Palermo**
- 18:30 **Sessione Poster**
- A. Andracchio**, ITIS Belluzzi, Bologna  
*Mappa concettuale e rete concettuale: programmazione e attuazione di una unità didattica di gascromatografia*
- Modello R.A.Re.Co: vantaggi e limiti nell'ambito di un contesto educativo nella scuola secondaria superiore*
- Studio delle prestazioni gascromatografiche con modalità Role-Paying*
- G. Bentivegna**, ITIS A. Einstein, Corleto P. (PZ)  
*Valutazione e messa a punto di Metodiche Ossidative per la Degradazione del Carico Inquinante di Acque di Area di Progetto A.S. 2004-2005*
- M. Calatozzolo**, ITIS Molinari, Milano  
*La newsletter del CoReFAC Lombardia*
- N. Spanò**, ITIS Marconi, Messina  
*Elettrochimica moderna*
- S. Gori**, ITIS Facchinetti, Castellana (VA)  
*Imparare dagli studenti*
- S. Stira**, ITG Parlatore, Palermo  
*Un esempio di azione didattica interdisciplinare: estrazione ed utilizzo di indicatori acido-base contenuti nei fiori di sulla*
- Ore 20:30** **Cena sociale**

DOMENICA 11 DICEMBRE

**Sessione V LA CHIMICA E L'EUROPA**  
*Centro Regionale del Restauro ovvero Sala Gialla, Palazzo dei Normanni*

- 9:00 **G. Del Re** - *La scienza e il problema dell'educazione nel mondo occidentale*
- 9:40 **L.Paoloni** - Presentazione del libro "Nuova didattica della chimica"
- I PROGETTI EUROPEI**
- 10:00 **M. Branca**, Dipartimento di Chimica dell'Università di Sassari  
*CON-SCIENCE: Science as a tool for life. Conceptual change*
- 10:15 **V. Massidda**, ITAS "G. Deledda", Cagliari  
*Science on Stage- Science for humanity*
- 10:30 **M. A. Floriano**, Università di Palermo  
*Le attività dell' European Chemistry Thematic Network (ECTN)*
- 10:45 **G. Possanzini**, Federchimica  
*Il progetto LEONARDO*
- 11:00 Pausa caffè
- 11:20 **Chimica e beni culturali in Sicilia**
- Intervengono:**
- G. Meli**, Direttore, Centro Regionale per la Progettazione e Restauro
- R. De Lisi**, Presidente, CCS in Scienze e Tecnologie per i Beni Culturali, Università di Palermo
- C. Di Stefano**, Responsabile del Laboratorio di Chimica, Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro
- M.P. Casaletto**, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati, CNR
- 12:30 **Chiusura del Congresso**



*Ministero dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca*

*Dipartimento per l'istruzione*

*Direzione Generale per il personale della scuola*

*Ufficio VI*

Prot. n. *1770*

Roma, **26 SET. 2005**

Al Legale Rappresentante  
Divisione di Didattica della Società  
Chimica Italiana  
c/o Dip. Chemicici  
Corso M. D'Azeglio, 48  
10125 Torino (TO)

e.p.c.

Al Direttore dell'Ufficio Scolastico  
Regionale Piemonte  
Via Pietro Micca, 20  
10125 Torino

OGGETTO: Accredimento/qualificazione dei Soggetti che offrono formazione per il personale della scuola.

Si comunica che con decreto del 20 settembre 2005 questa Direzione Generale ha provveduto, sulla base degli esiti di monitoraggio e valutazione del mantenimento dei requisiti, a confermare l'accREDITAMENTO/qualificazione di codesto Ente come Soggetto riconosciuto per la formazione del personale della scuola (art. 66 del vigente C.C.N.L. e artt. 2 e 3 della Direttiva n. 90/2003).

Con l'occasione si fa presente che le iniziative formative promosse dai Soggetti accreditati o qualificati sono riconosciute dall'Amministrazione e danno diritto all'esonero dal servizio del personale della scuola che vi partecipi, nei limiti previsti dalla normativa vigente.

Il Direttore dell'Ufficio Scolastico Regionale, che legge la presente per conoscenza, curerà, anche d'intesa con la Direzione scrivente, le modalità di monitoraggio dell'Ente.

Si ringrazia per la collaborazione.

IL DIRIGENTE

Anna Rosa Cicala