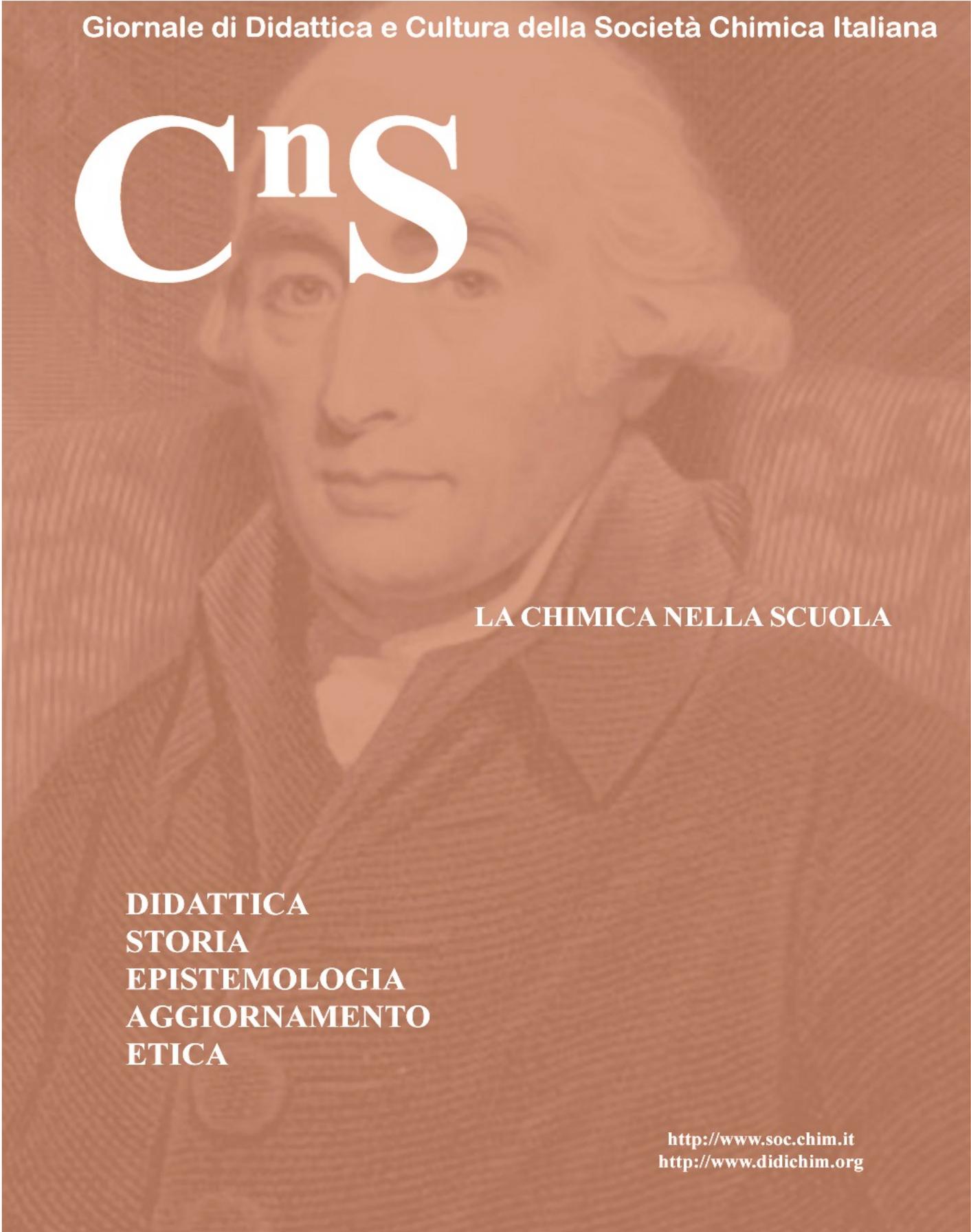


ISSN 0392-5942

Anno XXXI, n. 2, 2009

Giornale di Didattica e Cultura della Società Chimica Italiana

# CnS



LA CHIMICA NELLA SCUOLA

DIDATTICA  
STORIA  
EPISTEMOLOGIA  
AGGIORNAMENTO  
ETICA

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



## LA CHIMICA NELLA SCUOLA

Anno XXXI  
Aprile - Giugno 2009

### 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**  
Via Carlo Iussi, 9  
40068 San Lazzaro di Savena (BO)  
Tel. 051463312 cell. 3280221434  
e-mail: pasquale.fetto@didichim.org

### 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

Rinaldo Cervellati, Rosarina Carpignano,  
Aldo Borsese (*Presidente della Divisione di  
Didattica*), Luigi Cerruti, Giacomo Costa,  
Franco Frabboni, Gianni Michelon, Ezio Roletto

### Editing

**Pasquale Fetto**  
pasquale.fetto@didichim.org

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  
Legge 662/96 Filiale di Bologna

### Ufficio Abbonamenti

Manuela Mostacci  
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  
illustrazioni 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  
Centro Stampa DE VITTORIA r.s.l.  
Via Degli Aurunci, 19 - 00185 ROMA

## SOMMARIO

<b>EDITORIALE</b>	
Discutiamone di <b>Pierluigi Riani</b>	<b>81</b>
Joseph Black di <b>Francesca Turco</b>	<b>83</b>
Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio di <b>Riccardo Pettinari, Claudio Pettinari, Fabio Marchetti, Corrado Di Nicola</b>	<b>85</b>
Approfondimenti e suggerimenti didattici relativi alle celle galvaniche. Parte prima: il funzionamento degli elettrodi. di <b>Ermanno Niccoli</b>	<b>97</b>
Complessità sistemica. Un concetto generale di notevole importanza chimica di <b>Giovanni Villani</b>	<b>109</b>
La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte. Parte II di <b>Enrico Mansueti</b>	<b>115</b>
20 <sup>th</sup> International Conference on Chemical Education (ICCE) di <b>Liberato Cardellini</b>	<b>124</b>
Dalla storia della chimica alla storia della scienza: ricerca e creatività di <b>Marco Ciardi</b>	<b>128</b>
Introduzione alla storia della fantascienza di <b>Maddalena Vandini</b>	<b>132</b>
Chimica, storia e fantascienza di <b>Marco Ciardi</b>	<b>136</b>
Sistemi complessi e didattica delle scienze L'esperienza di SPAIS 2008 di <b>Paola Ambrogio, Michele Antonio Floriano, Elena Ghibaudi</b>	<b>140</b>
Nota sulle classi di concorso per l'insegnamento della Chimica nella Scuola secondaria superiore di <b>Maria Gaudenzi</b>	<b>147</b>
<b>RUBRICHE</b>	
<b>VARIE ED EVENTUALI</b> di <b>Ermanno Niccoli</b>	<b>149</b>
<b>LETTERE ALLA REDAZIONE</b>	<b>152</b>
<b>GIOCHI E OLIMPIADI DELLA CHIMICA 2009</b> Relazioni di <b>Mario Anastasia</b>	<b>153</b>
<b>ERRATA CORRIGE</b>	<b>157</b>
<b>CONVEGNI E CONGRESSI</b> XIII Congresso Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica - Programma	<b>158</b>

Le figure esornative sono tratte dal testo: L. Troost et E. Péchard - *Traité Élémentaire de  
Chimie* - Paris, Masson et Cie Editeurs, 1910

## Discutiamone

Prima di tutto, sono necessarie due parole di scusa (e di autodifesa) per l'abissale ritardo del n.1, non ancora arrivato a destinazione al momento di scrivere questo editoriale. Il problema è dovuto al cambiamento della sede di stampa, da Bologna a Roma; il trasferimento di un abbonamento postale non è cosa automatica, e i cosiddetti tempi tecnici sono molto superiori ai tre mesi.

Veniamo ai problemi sul tappeto. La difesa della Chimica nella scuola preuniversitaria (e quindi, come diretta conseguenza, anche nell'università) è un sacrosanto dovere di tutta la Società Chimica Italiana; occorre però studiare i modi più efficienti per attuarla.

Un invito pressante: leggiamo con attenzione la nota di pag. 147. Maria Gaudenzi, titolare di una cattedra di Scienza della materia in un Istituto Tecnico Commerciale, analizza lucidamente la situazione e la sua possibile evoluzione, evidenziando come nel quadro attuale la proposta sintetizzabile con la frase "la Chimica ai chimici" appaia totalmente velleitaria e rischi di essere controproducente, portando gli insegnanti di classe A013 in una posizione fortemente marginale. Alcune delle osservazioni contenute nella lettera sono superate da successive versioni delle proposte ministeriali, ma la sostanza resta valida.

Su un punto occorre essere molto chiari: se l'insegnamento della Chimica, non diversamente da quello delle altre discipline, deve essere condotto con la necessaria competenza, è sulla formazione degli insegnanti che dobbiamo puntare. In questo periodo, dopo la chiusura dell'esperienza SSIS, è in corso avanzato di elaborazione la proposta di un nuovo percorso per l'accesso all'insegnamento; questo progetto, di cui è stato già accennato nel precedente editoriale, sembra essere tuttora in evoluzione; è però opportuna una riflessione quanto più possibile approfondita.

L'approccio al problema può essere culturale o sindacale; le due modalità non si escludono a vicenda, ma devono piuttosto integrarsi. D'altra parte la Società Chimica Italiana è un'associazione scientifica, e deve pertanto rivolgere la propria attenzione prevalentemente agli aspetti culturali, tenendo naturalmente conto del quadro di riferimento generale. Ed è proprio questo quadro di riferimento a creare un sacco di difficoltà.

Prendiamo lo schema di decreto risultante dai lavori della cosiddetta Commissione Israel, in quella che è l'ultima versione al momento attuale disponibile. Il percorso generico di accesso all'insegnamento secondario prevede il conseguimento della laurea di primo livello, il conseguimento di una laurea magistrale a numero programmato, con prova di accesso, un anno di tirocinio con esame abilitante finale (percorso 3 + 2 + 1). Rispetto alla prima versione esaminata c'è una notevole variazione, in senso positivo: il numero programmato con prova di accesso, in precedenza previsto solo per la scuola secondaria di primo grado, viene esteso alla scuola secondaria di secondo grado; devono quindi essere previste lauree ad hoc. L'università si trova quindi di fronte a un problema assai scottante: quello di costruire ex novo un gran numero di corsi di laurea magistrale, corsi che in parte dovranno garantire una buona copertura del territorio nazionale. Al momento attuale l'impresa, almeno per le classi di abilitazione che ci interessano, appare disperata; questo a meno che non ci si accontenti di un lavoro raffazzonato, fatto a suon di mutuaioni da altri corsi di laurea, con un risultato quindi al di fuori di qualsiasi valenza didattica. È vero, ci sono almeno quattro anni di tempo per raggiungere questo obiettivo (dalle norme transitorie: Fino all'anno accademico 2012-2013 e comunque fino alla revisione delle classi di concorso ...), ma sia gli attuali impegni didattici dei docenti universitari in servizio, sia le drastiche limitazioni imposte ai nuovi reclutamenti, non inducono a un eccessivo ottimismo. Fra l'altro gli anni sono solo tre per la scuola secondaria di primo grado.

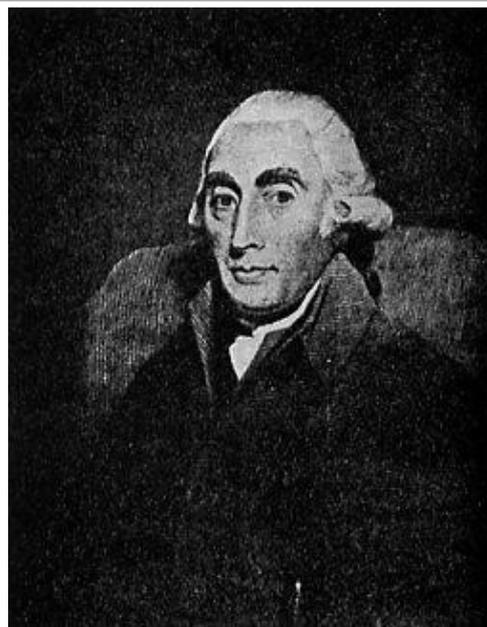
Le classi di concorso che interessano la chimica sono principalmente quattro: 12/A (Chimica agraria), 13/A (Chimica e tecnologie chimiche), 59/A (Scienze matematiche, chimiche, fisiche e naturali nella scuola media) e 60/A (Scienze naturali, chimica e geografia, microbiologia); stanno probabilmente per diventare tre in conseguenza dell'accorpamento delle classi 12/A e 13/A. La proposta di revisione che sta circolando (o, quantomeno, della quale lo scrivente è a conoscenza) prevede le seguenti denominazioni: Classe A27 (Matematica e scienze negli istituti di istruzione secondaria di I grado), A33 (Scienze e tecnologie chimiche), A46 (Scienze naturali, chimiche e biologiche). Una certa attenzione dovrà essere rivolta alla confluenza nella classe A33 della classe 12/A, che per l'accesso prevede anche lauree non chimiche.

Molta perplessità desta la possibilità di accesso in soprannumero all'anno di tirocinio per coloro che hanno conseguito il titolo di dottorato di ricerca ovvero hanno svolto attività di ricerca per almeno due anni: verrebbe saltato completamente il biennio di laurea magistrale specifica, e verrebbe quindi favorita la scelta dell'insegnamento come soluzione di ripiego. E invece c'è poco da fare: se vogliamo che l'insegnamento in genere (non solo quello della Chimica!) diventi una professione seria e apprezzata, occorre che la scelta sia motivata fino dall'inizio. Personalmente sono estremamente favorevole all'istituzione della laurea generica in "Scienze", laurea che, invece di formare persone di elevata specializzazione, porterebbe a una figura professionale molto ben spendibile in varie direzioni fra le quali proprio l'insegnamento di tipo non specialistico.

C'è ancora un punto sul quale ritengo che la Società Chimica Italiana, attraverso la Divisione Didattica, debba intervenire incisivamente: quello della laurea magistrale abilitante per l'insegnamento nella scuola primaria (già scuola elementare). Ne ho già accennato nel precedente editoriale: per il settore scientifico in questa laurea il punto di vista integrato non ha il benché minimo peso; per la chimica sono richiesti "Elementi di chimica organica e inorganica", con la specifica che gli insegnamenti relativi sono pertinenti ai settori scientifico-disciplinari CHIM03 (Chimica generale e inorganica) e CHIM06 (Chimica organica); i crediti assegnati sono 4 mentre a tutte le altre discipline sono attribuiti al minimo 8 crediti. È nella scuola primaria che si stabiliscono le basi dei futuri apprendimenti, e non è certo una rivendicazione corporativa chiedere quantomeno un maggiore equilibrio di distribuzione.

## Joseph Black (Bordeaux 1728 - Edimburgo 1799)

Francesca Turco



Joseph Black

Joseph Black nacque il 16 aprile 1728 a Bordeaux. La famiglia era di origine scozzese, Black fu mandato a studiare a Belfast ed entrò successivamente all'Università di Glasgow dove, a partire dal 1748, studiò anatomia e medicina con William Cullen (1710-1790). Dopo tre anni di lavoro con Cullen partì alla volta di Edimburgo, dove nel giugno 1754 presentò una tesi dal titolo *Dissertatio medica inauguralis de Humore acido a cibis orto et Magnesia alba*. Gli studi sulle proprietà fisiologiche non portarono contributi particolarmente incisivi ma l'appendice della tesi, contenente alcuni approfondimenti sul comportamento degli alcali, destò tale interesse da valergli una lettura in inglese (*Experiments upon Magnesia alba, Quicklime, and some other alkaline substances*) alla Philosophical Society di Edimburgo (nel 1755, pubblicata l'anno successivo). La ricerca di un solvente per i calcoli urinari lo porta ad osservare che distillando la magnesia alba ( $MgCO_3$ ) si ottiene un'acqua lattiginosa, completando la calcinazione si osserva perdita di effervescenza a contatto con gli acidi e perdita di peso per sviluppo di una sostanza volatile. La sostanza volatile viene raccolta, secondo il metodo di Hales (1677-1761) e caratterizzata; questa fondamentale novità porta al battesimo della prima 'aria' distinta: "A questo fluido ho assegnato il nome aria fissa (forse molto impropriamente) ma penso sia meglio usare una parola già familiare in filosofia..." (J. Black, *Experiments*, cit. da Abbri, v. infra, p. 70). Il nome di *fixed air* deriva dall'osservazione che è possibile fissarla in un solido: ad esempio la calce la assorbe dall'aria riformando il carbonato da cui era stata ottenuta per cottura. Dunque è presente nell'aria pur essendo 'altra cosa'; ergo l'aria è una miscela. È inoltre frutto della respirazione e della combustione - e non può sostenerle - e della fermentazione, folgorante connessione fra le sostanze animate e inanimate. Black aveva pure osservato che la magnesia usta ( $MgO$ ) se trattata con spirito vetriolico ( $H_2SO_4$ ) origina il sale di Epsom ( $MgSO_4$ , un purgante) e che questo con potassa ( $K_2CO_3$ ) dà tartaro vetriolato ( $K_2SO_4$ ) e, nuovamente, la magnesia alba. Questi cicli lo portano ad ipotizzare che la magnesia usta (o la calce spenta) a contatto con un alcalo debole gli sottraggano l'aria fissa rendendolo caustico, spiegazione che sottintende come l'attività caustica non sia considerata una proprietà imponderabile ma sia connessa ad una sostanza scambiabile, è inoltre utilizzato il concetto di affinità: la magnesia usta e la calce sono molto affini all'aria fissa essendo in grado di sottrarla alla base debole. Ricordiamo che Cullen, il medico-chimico maestro di Black, aveva introdotto il concetto di affinità chimica nel Regno Unito e che Black cita esplicitamente il concetto di affinità nelle sue *lectures*, con tanto di diagrammi e valutazioni quantitative. E ancora: la bilancia viene utilizzata per dedurre l'andamento di una serie di reazioni. Insomma l'iniziale interesse clinico per le sostanze basiche si risolve nello sviluppo di poderose basi metodologiche e concettuali per la ricerca chimica, dando il via allo studio dei gas che caratterizzò la seconda metà del XVIII secolo come l'epoca della chimica pneumatica e mise in crisi la teoria del flogisto.

Black aveva letto i voluminosi *Elementa Chymiae* di Hermann Boerhaave (1668-1738) contenenti riferimenti ad alcuni studi di Fahrenheit (1686-1736). Fra le altre cose era stato incuriosito dall'osservazione che il ghiaccio non si scioglie immediatamente, ma con lentezza e nel 1762 pubblica un lavoro in cui riporta due eleganti esperimenti che dimostrano l'esistenza del calore latente nel processo di fusione del ghiaccio. Scaldando uguali quantità di acqua e di ghiaccio osserva come quest'ultimo impieghi molto più tempo per scaldarsi da zero a sette gradi (F, ma la scala era allora tarata diversamente). A conferma del consumo di una certa quantità di calore nel processo di fusione mescolò acqua calda e

## Dalla copertina

fredda e acqua calda e ghiaccio (in pari quantità nei due casi) ottenendo temperature finali differenti. Questa spiegazione implica, sottinteso, il concetto di equilibrio termico. Ricordiamo che il calore, spesso prodotto o reagente di una reazione, era considerato una sostanza: dunque anche questo processo può essere letto come reattività ed i passaggi di stato come reazioni chimiche con la sostanza calore. A questo punto era aperta la strada per la definizione del concetto di calore specifico, e Black osserva infatti come occorranza quantità di calore differenti per produrre lo stesso aumento di temperatura nell'acqua e nel piombo. Queste osservazioni sono però solo qualitative e occorreranno altri 50 anni prima dell'enunciazione della legge di Dulong e Petit.

La vita di Black fu estremamente tranquilla, anche accademicamente: assistente di Cullen, sostituì il maestro come docente di anatomia e lettore di chimica nel 1756 a Glasgow e poi ad Edimburgo come professore di chimica nel 1766, ruolo che mantenne fino alla morte. Al contrario estremamente vivace fu la sua storia intellettuale, non risolta unicamente nella ricerca scientifica: frequentatore delle vette dell'Illuminismo inglese, fu amico di Adam Smith (1723-1790) e del geologo James Hutton (1726-1797), "l'uomo che scoprì il tempo", datando l'età della Terra nell'ordine dei milioni di anni. Black morì a Edimburgo, il 6 dicembre 1799, alla chiusura del secolo, dopo aver immensamente arricchito quella che, consapevolmente, descriveva come disciplina ancora molto giovane: "La chimica non è ancora una scienza. Siamo molto lontani dalla conoscenza dei principi primi" (J. Black, *Lectures*, cit. da Partington, v. infra, p. 135).

### **Per chi volesse approfondire:**

F. Abbri, *La chimica del '700*, Torino: Loescher, 1978.

J. R. Partington, *A history of chemistry*, Londra: MacMillan & co., 1962.

# Utilizzo di Analogie nell’Insegnamento del Concetto di Equilibrio

**\*Riccardo Pettinari, Claudio Pettinari, Augusto Cingolani,  
Corrado Di Nicola, Fabio Marchetti.**

*Università degli Studi di Camerino, Dipartimento di Scienze Chimiche,  
Via S. Agostino n 1, 62032 Camerino (MC)  
E-mail:riccardo.pettinari@unicam.it*

## **Riassunto**

*Il ricorso alle analogie viene spesso utilizzato nelle materie scientifiche. Sia gli scienziati che i docenti si avvalgono di questa tecnica che, se impiegata in modo corretto, facilita la comprensione dei concetti teorici. L’equilibrio chimico ha un alto contenuto formale e da recenti studi è risultato essere uno degli argomenti più difficili da apprendere, ed uno dei più difficili da insegnare. La piena comprensione dell’equilibrio facilita sicuramente l’apprendimento di temi come il comportamento degli acidi e delle basi, le reazioni di ossido riduzione e la solubilità. In questo articolo viene proposta una sequenza didattica costruita su un gioco che ha come obiettivo quello di aiutare gli allievi a familiarizzare con il concetto di equilibrio dinamico, eliminare alcune frequenti misconcezioni, stimolare l’interesse verso la chimica e sviluppare la creatività nell’affrontare i problemi scientifici.*

## **Abstract**

*Analogies are widely used in science; they have been used by both scientists and teachers to help them in understanding theoretical concepts. The equilibrium concept is highly formal and recent studies demonstrate it rated as the most difficult one for students and one of the more difficult topics to teach. The full comprehension of equilibrium concepts facilitates the students in understanding topics like the acids and bases behaviour, redox reactions and solubility. In this article a didactic sequence, using games and analogies, has been proposed in order to help students to familiarize with dynamic equilibrium concept, to remove some frequent misconceptions, and to stimulate interest towards chemistry and creativity in facing scientific problems.*

## **Introduzione**

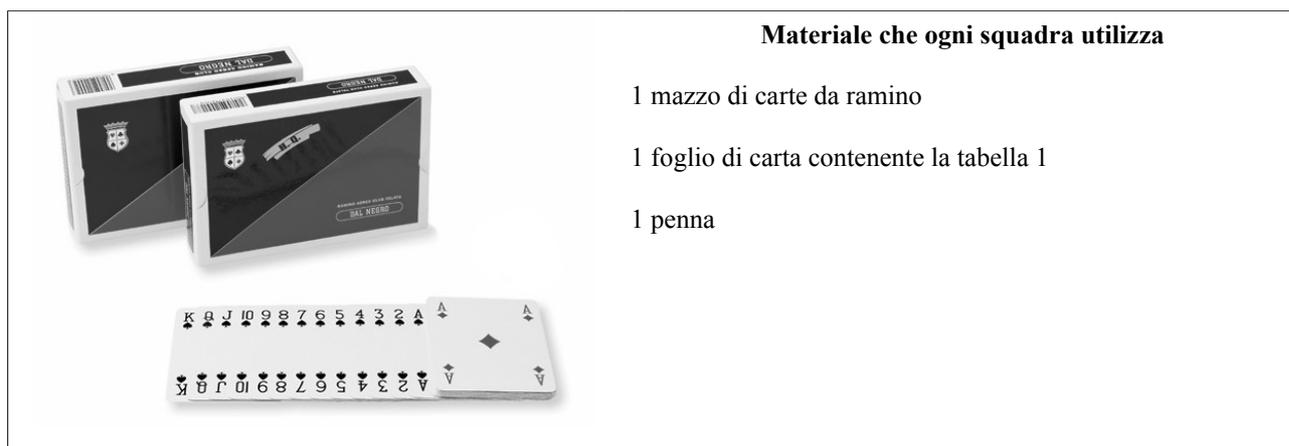
L’equilibrio chimico e gli argomenti ad esso correlati sono concetti di fondamentale importanza in chimica. Per introdurre il concetto di equilibrio vengono spesso utilizzate analogie che impiegano esperienze fisiche, diagrammi, simulazione di esperimenti oppure attività di elaborazione al computer.[1] Alcune ricerche hanno anche evidenziato che il ricorso alle analogie risulta più efficace nei confronti degli studenti con una bassa capacità di ragionamento formale rispetto a studenti più dotati. Wilson[2] ed altri autori[3] hanno utilizzato alcune analogie per aiutare gli studenti ad esplorare il concetto di equilibrio chimico ed è risultato evidente che le difficoltà degli allievi, nella piena comprensione di questo argomento, sono spesso le stesse che avevano gli scienziati del XIX secolo[4] [5] e possono così essere riassunte:

- difficoltà nel distinguere reazioni che procedono fino a completezza (totale scomparsa dei reagenti) e reazioni reversibili,
- difficoltà nel comprendere la differenza tra equilibrio dinamico ed equilibrio statico,
- difficoltà nel comprendere la differenza tra la velocità con cui si raggiunge l’equilibrio (la velocità con cui avviene una reazione, concetto legato alla cinetica chimica) e il grado di avanzamento della reazione all’equilibrio (quanto una reazione è spostata verso la formazione dei prodotti o dei reagenti, concetto legato alla costante di equilibrio termodinamica).

Alcune tipiche concezioni difformi, molto diffuse tra gli allievi, sono:

- concepire l’equilibrio chimico come un qualcosa che oscilla da una posizione ad un’altra,
- considerare che la massa delle sostanze e la concentrazione delle sostanze abbiano lo stesso ruolo in un sistema chimico all’equilibrio,
- considerare che all’equilibrio di un sistema chimico le concentrazioni dei reagenti e dei prodotti abbiano lo stesso valore.

La proposta didattica che presentiamo costituisce un ampliamento di quella riportata da Wilson ed altri<sup>2</sup> e le attività sviluppate ed approfondite in questo articolo richiedono un coinvolgimento attivo degli allievi attraverso un gioco che li aiuti a prendere confidenza con il concetto di equilibrio dinamico. Possono essere utilizzate carte da ramino (ne sono richieste almeno 96) oppure altri piccoli oggetti come monete, pezzetti di pasta, spille, chiodi, ecc.



**Figura 1**

Gli studenti vengono divisi in piccoli gruppi di 4 o 6 persone ed ogni gruppo viene ulteriormente suddiviso in una squadra dei reagenti (R) e una squadra dei prodotti (P). Ogni squadra ha a disposizione una matita, un foglio di carta e la tabella 1 fornita dall'insegnante.

**Tabella 1**

Round Trasferimenti	Numero carte Squadra R	Numero carte Squadra P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round				
1° trasferimento				
2° Round				
2° trasferimento				
3° Round				
3° trasferimento				
4° Round				
4° trasferimento				
5° Round				
5° trasferimento				
6°Round				
6° trasferimento				
7°Round				
7° trasferimento				
8° Round				
8° trasferimento				
9°Round				
9° Trasferimento				
10°Round				
10° Trasferimento				
11° Round				
11° trasferimento				
12° Round				
12° trasferimento				

Al gioco sono correlate attività di raccolta ed elaborazione dei dati sperimentali ottenuti e la scelta delle rappresentazioni grafiche più idonee per mostrare l'andamento di tali dati. Gli aspetti che potranno emergere dalle attività sono i seguenti:

- all'equilibrio la concentrazione dei reagenti e dei prodotti rimane costante,
- all'equilibrio la velocità della reazione diretta è uguale alla velocità della reazione inversa,
- l'equilibrio può essere ottenuto partendo da differenti situazioni iniziali,
- il valore della costante di equilibrio cambia al variare della temperatura,

- quando si conosce il valore della costante di equilibrio è possibile prevedere, in base alle condizioni iniziali del sistema (il quoziente di reazione Q), come si comporterà il sistema per raggiungere una situazione di equilibrio,
- un sistema all'equilibrio reagisce ad una perturbazione apportata dall'esterno (l'aggiunta o la sottrazione di un reagente o un prodotto provoca una variazione di Q),
- il ruolo e l'effetto del catalizzatore.

Il gioco è simile ad una partita di carte con regole iniziali fornite dall'insegnante che possono ad esempio essere le seguenti: *la squadra R dovrà sempre cedere 1/4 delle proprie carte alla squadra P (questa operazione può essere schematizzata con Reagenti → Prodotti), mentre la squadra P dovrà cedere 1/8 delle proprie carte alla squadra R (Prodotti → Reagenti).*

Prima di ciascun round gli alunni di ciascuna squadra dovranno riportare il numero di carte possedute nella riga contrassegnata con "round" e nella colonna "numero carte squadra".

Alla fine di ogni round gli alunni dovranno:

1. riportare il numero delle carte iniziali meno il numero delle carte cedute più il numero di carte acquisite dopo il round nella riga contrassegnata con "trasferimento" e nella colonna "numero di carte possedute"
2. riportare il numero di carte trasferite durante il round nella riga contrassegnata con "trasferimento" e nella colonna "numero di carte trasferite"

E' bene ricordare che, quando ciascuna squadra deve calcolare il numero di carte che debbono essere trasferite, si possono ottenere numeri non interi. In questi casi i numeri ottenuti si approssimano sempre per eccesso, ad esempio 7.3 diventerà 8.

### Attività 1: l'equilibrio dinamico

In questa attività si vuole evidenziare la natura dinamica dell'equilibrio. L'insegnante consegna 96 carte tutte alla squadra R mentre inizialmente la squadra P non riceve nessuna carta. L'insegnante stabilisce che, in ciascun round, la squadra R deve consegnare 1/4 delle proprie carte alla squadra P (Reagenti — 1/4 → Prodotti), mentre la squadra P deve trasferire 1/8 delle proprie carte alla squadra R (Prodotti — 1/8 → Reagenti). Nel primo round, date le condizioni iniziali, la squadra P non può trasferire nulla e può quindi soltanto ricevere carte dalla squadra R. Ogni squadra dovrà quindi calcolare il numero di carte da cedere all'altra ed annotare queste variazioni nella tabella 2. Dopo alcuni round si verificherà una situazione di equilibrio dinamico in cui il numero di carte possedute da ciascuna squadra non varia più. L'insegnante non deve comunicare agli studenti tale previsione, e lasciare ad essi la possibilità di accorgersi che, dopo alcuni round, si è instaurata una situazione di equilibrio dinamico. Quando una squadra si renderà conto che è stata raggiunta una situazione di equilibrio, dovrà fermarsi ed effettuare il seguente calcolo: il numero di carte possedute dalla squadra P deve essere diviso per il numero delle carte possedute dalla squadra R. In figura 1 sono riportati i dati ottenuti in questa prima attività, per la quale, date le regole iniziali, la situazione di equilibrio si raggiunge all'undicesimo round, quando il numero delle carte possedute da ciascuna squadra rimane invariato, pur continuando ad effettuare successivi round (R avrà sempre 32 carte e P 64 carte).

Gli studenti con tale attività concretizzeranno il significato del concetto di equilibrio dinamico ed in particolare dovranno essere evidenziati i seguenti aspetti:

1. all'equilibrio le carte vengono continuamente scambiate tra una squadra e l'altra, tuttavia il numero totale di carte che ogni squadra possiede rimane costante (32 e 64),
2. la situazione di equilibrio dinamico non implica che il numero di carte della squadra R sia uguale al numero di carte della squadra P,
3. all'equilibrio il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

I risultati ottenuti possono essere diagrammati in differenti modi per evidenziare importanti aspetti dell'equilibrio. Nel grafico in figura 2 in ordinata viene riportato il numero di carte possedute da ciascuna squadra prima di ogni round (dati riportati nelle righe contrassegnate come "round" nella tabella 2) mentre in ascissa vengono riportati i round. Nel grafico in figura 3 viene riportato invece il numero di carte mosse da ciascuna squadra (dati riportati nelle righe contrassegnate come "trasferimento" in tabella di tabella 2) e in ascissa i trasferimenti.

Tabella 2

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0		
1° trasferimento	(96-24)	(0+24)	24	0
2° Round	72	24		
2° trasferimento	(72-18+3)	(24-3+18)	18	3
3° Round	57	39		
3° trasferimento	(57-15+5)	(39-5+15)	14.2 → 15	4.8 → 5
4° Round	47	49		
4° trasferimento	(47-12+7)	(49-7+12)	11.7 → 12	6.1 → 7
5 Round	42	54		
5° trasferimento	(42-11+7)	(54-7+11)	10.5 → 11	6.7 → 7
6°Round	38	58		
6° Trasferimento	(38-10+8)	(58-8+10)	9.5 → 10	7.2 → 8
7°Round	36	60		
7° Trasferimento	(36-9+8)	(60-8+9)	9	7.5 → 8
8°Round	35	61		
8° Trasferimento	(35-9+8)	(61-8+9)	8.7 → 9	7.6 → 8
9°Round	34	62		
9° Trasferimento	(34-9+8)	(62-8+9)	8.5 → 9	7.7 → 8
10°Round	33	63		
10° Trasferimento	(33-9+8)	(63-8+9)	8.2 → 9	7.8 → 8
11°Round	32	64		
11° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
12°Round	32	64		
12° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8

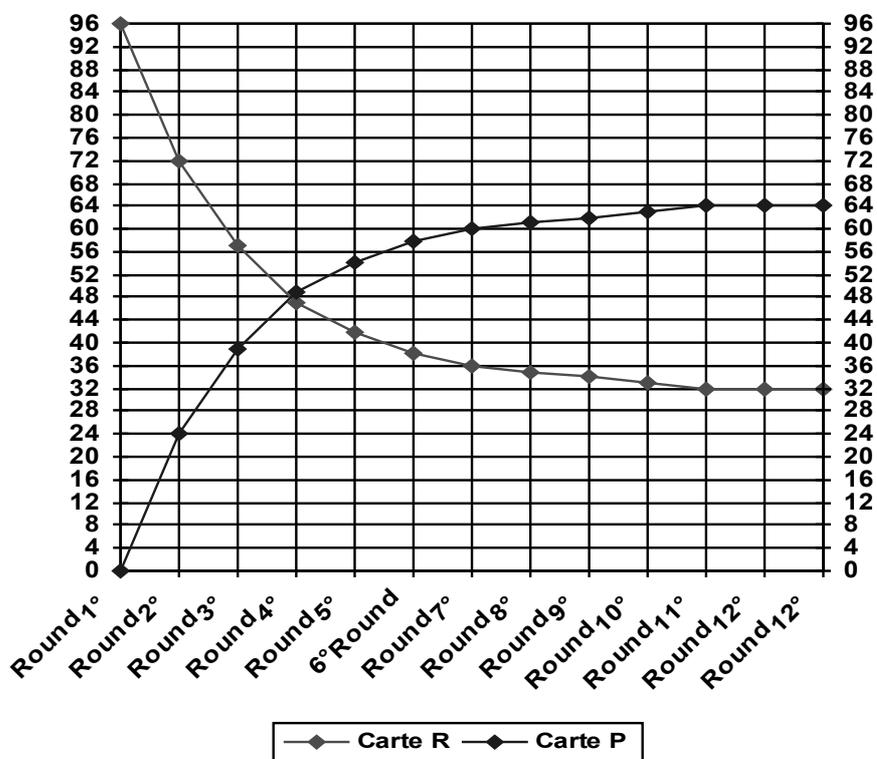


Figura 2

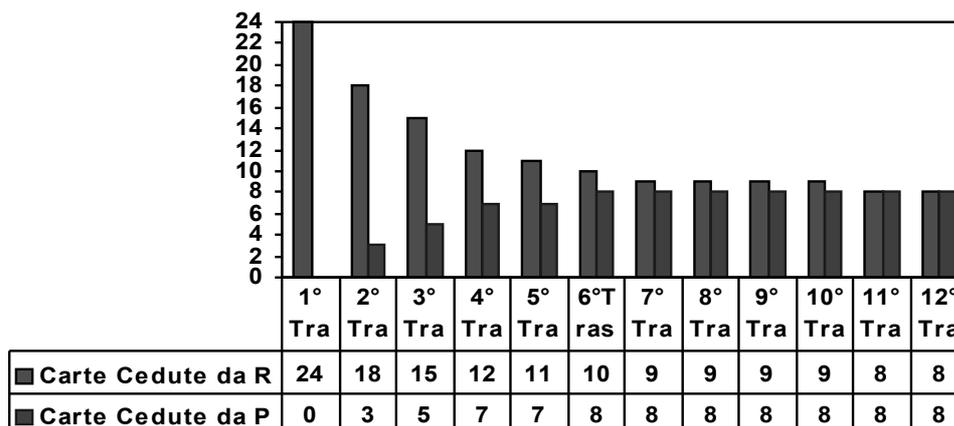


Figura 3

**Attività 2: dai reagenti ai prodotti e viceversa**

In questa attività si vuole mettere in evidenza che una stessa situazione di equilibrio può essere raggiunta da condizioni iniziali differenti. L'insegnante fornisce tutte le 96 carte alla squadra P e nessuna alla squadra R (situazione diametralmente opposta a quella nell'attività 1). L'insegnante deve mettere bene in evidenza che il numero iniziale di carte è lo stesso ma sono tutte possedute dalla squadra P, e che le regole di trasferimento sono rimaste le stesse dell'attività 1 (in ciascun round, R consegna 1/4 delle proprie carte a P, mentre P consegna 1/8 delle proprie carte a R). In questo caso (Tabella 3) si raggiunge una situazione di equilibrio dinamico al nono Round e il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

è lo stesso di quello ottenuto nell'attività 1. Attraverso questa seconda attività gli studenti si renderanno conto, pur partendo da una situazione iniziale opposta alla precedente, che il numero di carte che ogni gruppo arriverà a possedere sarà uguale al numero posseduto al termine dell'attività 1 e che anche il rapporto tra

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

rimarrà invariato. Anche alla fine di questa attività gli studenti dovranno costruire due grafici analoghi a quelli riportati nelle figure 2 e 3 (figure 4 e 5).

Tabella 3

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	0	96		
1° trasferimento	(0+12)	(96-12)	0	12
2° Round	12	84		
2° trasferimento	(12-3+11)	(84-11+3)	3	10.5 → 11
3° Round	20	76		
3° trasferimento	(20-5+10)	(76-10+5)	5	9.5 → 10
4° Round	25	71		
4° trasferimento	(25-7+9)	(71-9+7)	6.2 → 7	8.8 → 9
5° Round	27	69		
5° trasferimento	(27-7+9)	(69-9+7)	6.7 → 7	8.6 → 9
6° Round	29	67		
6° trasferimento	(29-8+9)	(67-9+8)	7.2 → 8	8.3 → 9
7° Round	30	66		
7° trasferimento	(30-8+9)	(66-9+8)	7.5 → 8	8.2 → 9
8° Round	31	65		
8° trasferimento	(31-8+9)	(65-9+8)	7.7 → 8	8.1 → 9
9° Round	32	64		
9° trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
10° Round	32	64		
10° trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8
11° Round	32	64		
11° Trasferimento	(32-8+8)	(64-8+8)	8	8

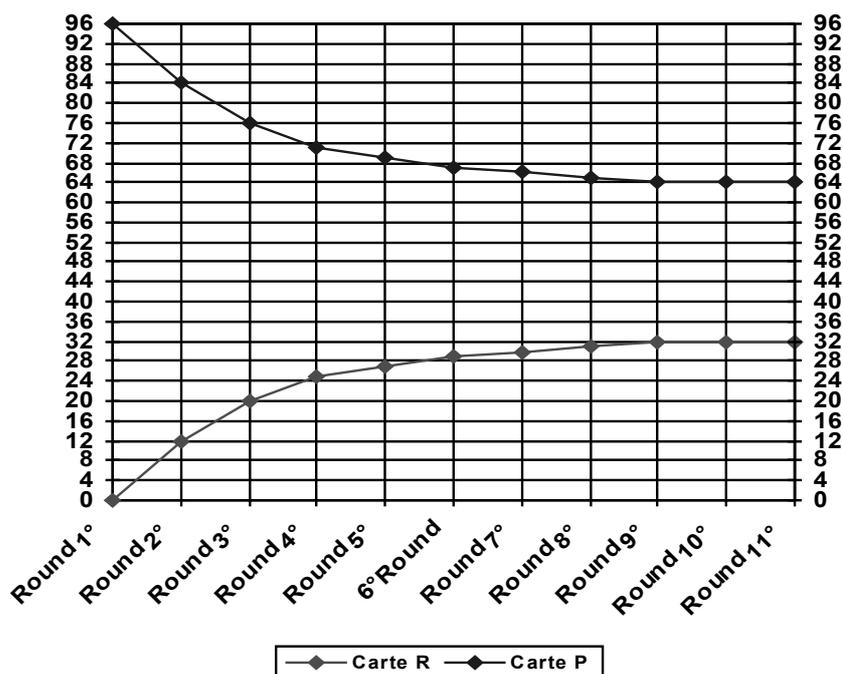


Figura 4

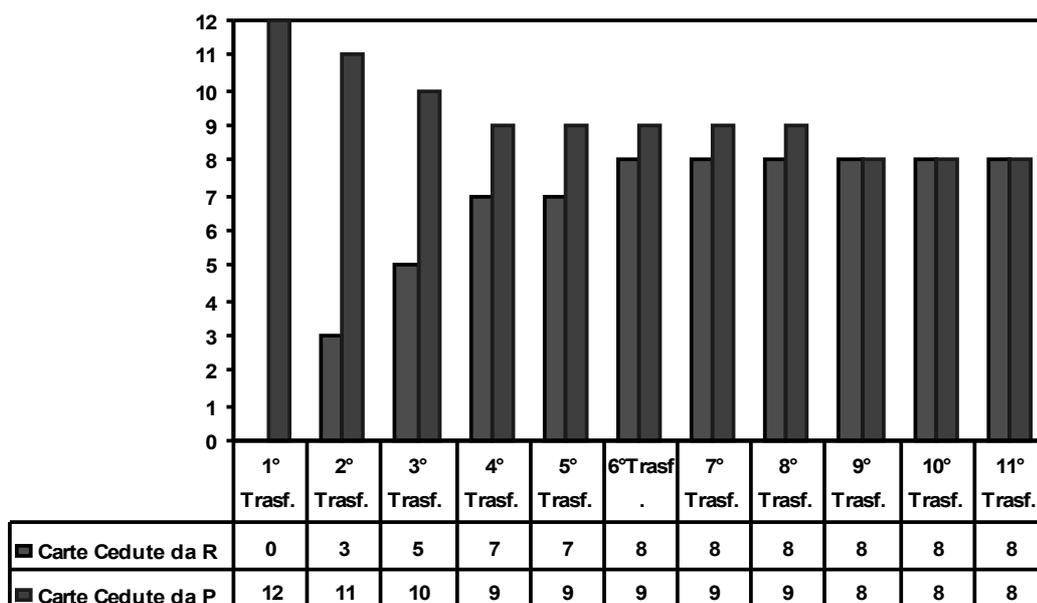


Figura 5

### Attività 3: la costante di equilibrio

L'attività consentirà di definire il significato di "costante di equilibrio". La squadra R possiede inizialmente 104 carte e la squadra P 40 carte. Il numero delle carte iniziali è quindi cambiato rispetto alle prime due attività, ma le regole di trasferimento rimangono invariate ( $R \rightarrow P \frac{1}{4}$ ,  $P \rightarrow R \frac{1}{8}$ ). In tabella 4 sono riportati i risultati ottenuti: all'equilibrio il numero delle carte trasferite in ciascun round diventa uguale per le due squadre, anche se maggiore (12 carte) rispetto alle prime due attività (8 carte). Il numero finale delle carte possedute da R è 48 mentre quelle possedute da P è 96. Anche se questi numeri sono diversi da quelli ottenuti nelle prime due attività, calcolando il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

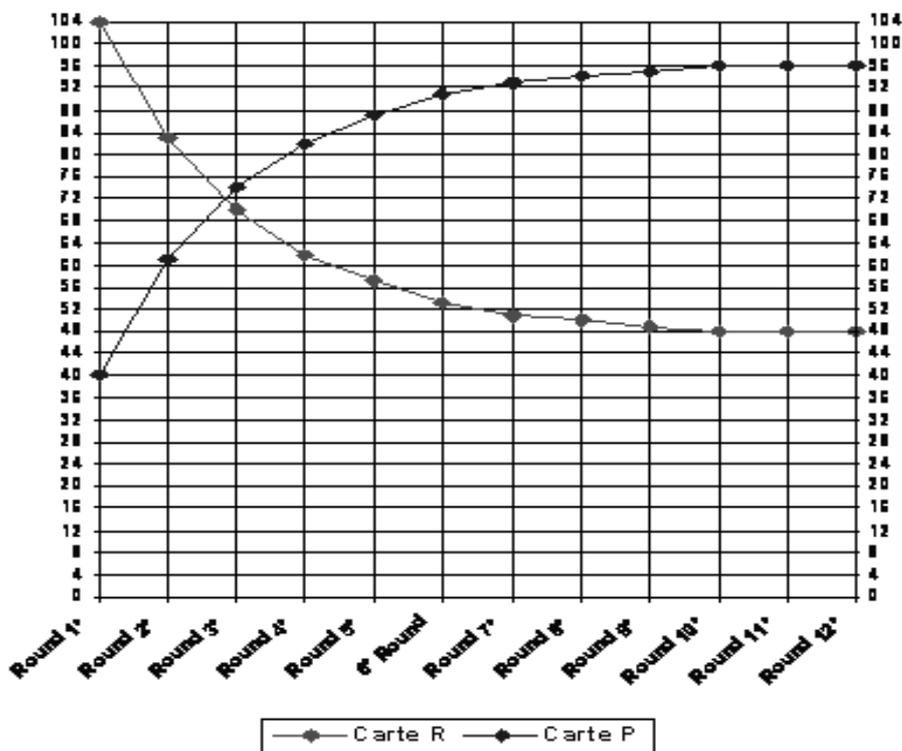
otteniamo ancora  $96/48=2$ , siamo quindi in presenza di una COSTANTE che chiameremo costante di equilibrio,  $K_{eq}$ .

La costante di equilibrio non dipende quindi dal numero delle carte disponibili all'inizio del gioco ma dipende soltanto dalla percentuale di carte che ciascuna squadra deve scambiare in ogni round (negli esempi suddetti, 1/4 di carte da R a P e 1/8 di carte da P a R).

**Tabella 4**

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	104	40		
1° trasferimento	(104-26+5)	(40+26-5)	26	5
2° Round	83	61		
2° trasferimento	(83-21+8)	(61-8+21)	20.7 → 21	7.6 → 8
3° Round	70	74		
3° trasferimento	(70-18+10)	(74-10+18)	17.5 → 18	9.2 → 10
4° Round	62	82		
4° trasferimento	(62-16+11)	(82-11+16)	15.5 → 16	10.2 → 11
5° Round	57	87		
5° trasferimento	(57-15+11)	(87-11+15)	14.2 → 15	10.8 → 11
6° Round	53	91		
6° Trasferimento	(53-14+12)	(91-12+14)	13.2 → 14	11.3 → 12
7° Round	51	93		
7° Trasferimento	(51-13+12)	(93-12+13)	12.7 → 13	11.6 → 12
8° Round	50	94		
8° Trasferimento	(50-13+12)	(94-12+13)	12.5 → 13	11.7 → 12
9° Round	49	95		
9° Trasferimento	(49-13+12)	(95-12+13)	12.2 → 13	11.8 → 12
10° Round	48	96		
10° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12
11° Round	48	96		
11° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12
12° Round	48	96		
12° Trasferimento	(48-12+12)	(96-12+12)	12	12

Anche in questo caso gli studenti possono diagrammare i risultati della tabella 4 ed ottenere i grafici in figura 6 e figura 7.



**Figura 6**

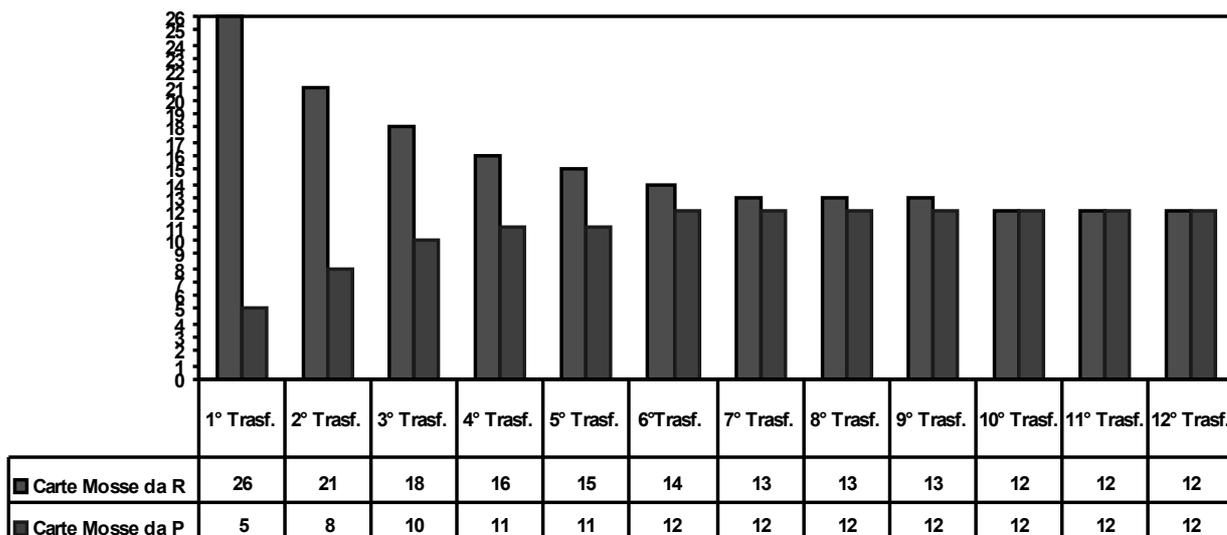


Figura 7

A questo punto l'insegnante deve chiedere agli studenti di riflettere su quanto fatto finora, in particolare su tre aspetti principali:

- 1) indipendentemente dal numero di carte possedute all'inizio da ciascuna squadra, dopo un certo numero di round si raggiunge una situazione di equilibrio, in cui il numero di carte possedute non varierà più.
- 2) l'evidenza (1) dipende dall'eguaglianza, nella situazione di equilibrio, del numero di carte scambiate vicendevolmente (l'equilibrio è dinamico).
- 3) a parità di regole di scambio iniziali, si ottiene sempre lo stesso rapporto finale

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

Queste attività costituiscono una potente analogia del comportamento dei sistemi fisici e chimici che pervengono spontaneamente ad una situazione di equilibrio dinamico. In particolare, debbono essere ben chiare (soprattutto al docente) le seguenti analogie:

- 1) il numero di carte possedute da ciascuna squadra può essere assimilato alla concentrazione di una sostanza (sia esso reagente o prodotto di una trasformazione chimica).
- 2) la regola di trasferimento di carte da R a P costituisce la costante cinetica della reazione diretta,  $k_d$ , mentre la regola di trasferimento di carte da P a R rappresenta la costante cinetica della reazione inversa,  $k_i$ . Tali regole vengono imposte inizialmente dal docente e l'analogia è con la temperatura del sistema chimico: modificare le regole iniziali di trasferimento equivale a modificare la temperatura del sistema (vedi in seguito l'attività 5).
- 3) il numero di carte trasferito in ciascun round da ciascuna squadra non è altro che la velocità istantanea di reazione (es.  $v_d = k_d \times c_R$ , dove  $c_R$  è la concentrazione istantanea di R), e si può ottenere anche dai seguenti prodotti:
- 4)  $n. \text{ Carte Squadra R} \times 1/4 = n. \text{ carte trasferite da R a P}$   
 $n. \text{ Carte Squadra R} \times 1/8 = n. \text{ carte trasferite da P a R}$
- 5) all'equilibrio le velocità di trasferimento da R a P e da P ad R diventano uguali, cioè le velocità istantanee delle reazioni diretta ed inversa si eguagliano.
- 6) il rapporto

$$\frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}}$$

all'equilibrio resta sempre costante, indipendentemente dalle condizioni iniziali (n. carte possedute dalle squadre) e assume sempre lo stesso valore, a parità di regole di trasferimento iniziali (cioè a parità di temperatura).

7) il valore del rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

cioè della costante di equilibrio  $K_{eq}$ , determina i numeri relativi di carte che rimangono a ciascuna squadra all'equilibrio: per valori  $> 1$  la squadra P avrà più carte della squadra R, mentre per valori  $< 1$  avremo la situazione opposta.

#### Attività 4: il quoziente di reazione Q

Con questa attività viene definito il "quoziente di reazione Q". Si pone agli studenti il seguente quesito: date le stesse regole di trasferimento iniziali (1/4 da R a P e 1/8 da P a R) se in un dato momento la squadra R possiede 72 carte e la squadra P 24 carte, ci troviamo o no in una situazione di equilibrio? Cosa succede al nostro sistema? Possiamo prevedere il comportamento del nostro sistema? La costante di equilibrio  $K_{eq}$ , ad una data temperatura ha un valore numerico ben preciso (nel nostro caso 2). Utilizzando questo valore è possibile prevedere se ci troviamo o meno in una situazione di equilibrio quando il nostro sistema ha un determinato numero di carte. Per rispondere a queste domande gli studenti debbono calcolare il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

che verrà chiamato quoziente di reazione, Q. Il quoziente di reazione ha la stessa espressione della  $K_{eq}$  ma nel suo calcolo si utilizza il numero di carte possedute nel momento in esame. Nel nostro caso il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}} = \frac{72}{24} = 3$$

Come possiamo vedere, Q è maggiore di  $K_{eq}$  e quindi il sistema non si trova all'equilibrio, e tenderà a raggiungere l'equilibrio (a diventare = 2) diminuendo il numero di carte di P e aumentando quello di R.

La conoscenza del quoziente di reazione è utile per due motivi:

- 1) permette di valutare se un sistema si trova in una situazione di equilibrio ( $K_{eq} = Q$ ) oppure no ( $K_{eq} \neq Q$ ).
- 2) consente di prevedere, dal confronto tra Q e  $K_{eq}$ , in quale direzione evolverà il sistema per raggiungere l'equilibrio.

#### Attività 5: effetto della temperatura sul valore della costante

Per comprendere in maniera significativa questa attività sono necessari i seguenti prerequisiti: conoscere la differenza tra reazioni esotermiche e reazioni endotermiche e possedere alcuni concetti fondamentali come il calore e la temperatura.

In questa attività R possiede 96 carte e trasferirà 3/4 delle proprie carte a P (Reagenti  $\rightarrow$  3/4  $\rightarrow$  Prodotti), mentre P inizialmente non ha nessuna carta, e dovrà trasferire 1/4 delle proprie carte ad R (Prodotti  $\rightarrow$  1/4  $\rightarrow$  Reagenti). Anche in questa nova situazione dopo alcuni round si raggiungerà una situazione di equilibrio dinamico (tabella 5). Calcolando il rapporto finale

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

si ottiene  $72/24 = 3 = K_{eq}$ . Il valore della  $K_{eq}$  con queste nuove regole di trasferimento risulta maggiore del valore della  $K_{eq}$  ottenuta nelle attività precedenti. E' chiaro che per ottenere questo nuovo valore deve essere aumentato il numero di carte di P (numeratore) rispetto alle carte di R (denominatore).

A questo punto l'insegnante deve chiedere agli studenti di riflettere su quanto fatto finora, ed aiutare loro ad identificare eventuali analogie con sistemi reali all'equilibrio ai quali viene fornita o sottratta una certa quantità di calore (attraverso un aumento o una diminuzione di temperatura). Nei sistemi reali la temperatura influisce sul valore della costante di equilibrio; ipotizziamo che, ad esempio, la reazione diretta  $R \rightarrow P$  sia endotermica:



essa sarà quindi favorita da un aumento di temperatura, che produrrà un incremento della costante di velocità per la reazione diretta. Nel nostro gioco la costante di velocità è rappresentata dalla regola di trasferimento delle carte, quindi un aumento del suo valore (es. da 1/4 a 3/4) è analogo ad un aumento della costante di velocità della reazione diretta (si ricorda che un aumento della temperatura incrementa, pur se in misura minore, anche la reazione inversa  $P \rightarrow R$ ).

## Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio

Possiamo perciò mettere in relazione l'incremento da 1/4 a 3/4 della velocità di trasferimento  $R \rightarrow P$  con un aumento della temperatura. L'aumento della temperatura ha quindi spinto il sistema verso un nuovo stato di equilibrio, corrispondente alla formazione di una maggiore quantità di prodotti. Il valore della costante di equilibrio è maggiore a questa nuova temperatura (più elevata rispetto alla "temperatura" riferibile alle precedenti attività) come, analogamente, aumenta nei sistemi reali quando la reazione diretta è endotermica.

Alla fine dell'attività gli studenti dovrebbero avere appreso che:

- 1) un aumento di temperatura favorisce la reazione *endotermica*, mentre una diminuzione favorisce quella *esotermica*.
- 2) di conseguenza, il nuovo equilibrio sarà caratterizzato da un differente valore della costante di equilibrio  $K_{eq}$ .
- 3) un aumento di temperatura aumenta la costante di velocità della reazione diretta e di quella inversa, ma in misura maggiore nel caso della reazione endotermica.

**Tabella 5**

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0	72	0
1° trasferimento	(96-72)	(0+72)		
2° Round	24	72	18	18
2° trasferimento	(24-18+18)	(72-18+18)		
3° Round	24	72	18	18
3° trasferimento	(24-18+18)	(72-18+18)		

### Attività 6: effetto dell'aggiunta di un prodotto

Con questa ulteriore attività gli studenti verificano come un sistema inizialmente all'equilibrio reagisce ad una perturbazione apportata dall'esterno come l'aggiunta (o la rimozione) di un reagente o di un prodotto.

La situazione iniziale corrisponde all'equilibrio raggiunto nell'attività 1. L'insegnante perturba questa situazione di equilibrio fornendo alla squadra P ulteriori 32 carte. Il gioco deve continuare con le stesse regole dettate nell'attività 1. Dopo alcuni round si raggiunge una nuova situazione di equilibrio. Il sistema, perturbato dal cambiamento del numero delle carte, che equivale al cambiamento della concentrazione dei prodotti, si muove verso una nuova situazione di equilibrio in cui le velocità diretta ed inversa sono maggiori rispetto a quelle della prima situazione di equilibrio, ma la costante di equilibrio rimane sempre la stessa. Il numero di carte trasferite dalla squadra P alla squadra R aumenterà fino a raggiungere la nuova condizione di equilibrio, in cui il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}}$$

è 44/22, cioè ancora uguale a 2 (stesso valore della  $K_{eq}$ ) (tabella 6).

**Tabella 6**

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
equilibrio attività 1	32	64	8	8
<b>Perturbazione</b>		<b>+36</b>		
1°Round	32	100		
1° trasferimento	(32-8+13)	(100-13+8)	8	12.5 → 13
2°Round	37	95		
2° trasferimento	(37-10+12)	(95-12+10)	9.2 → 10	11.8 → 12
3°Round	39	93		
3° trasferimento	(39-10+12)	(93-12+10)	9.7 → 10	11.6 → 12
4°Round	41	91		
4° trasferimento	(41-11+12)	(91-12+11)	10.2 → 11	11.3 → 12
5°Round	42	90		
5° trasferimento	(42-11+12)	(90-12+11)	10.5 → 11	11.2 → 12
6°Round	43	89		
6° trasferimento	(43-11+12)	(89-12+11)	10.7 → 11	11.1 → 12
7°Round	44	88		
7° trasferimento	(44-11+11)	(88-11+11)	11	11
8°Round	44	88		
8° Trasferimento	(44-11+11)	(88-11+11)	11	11

Gli studenti possono affrontare questa nuova situazione anche calcolando il quoziente di reazione  $Q$ , introdotto nell'attività 4, con le carte possedute dopo la perturbazione dovuta all'aggiunta di 36 carte alla squadra P. Dai dati a disposizione

$$\left( Q = \frac{n. \text{ Carte Squadra P}}{n. \text{ Carte Squadra R}} = \frac{100}{32} = 3.1 \right)$$

sarà  $Q > K_{eq}$ , pertanto  $Q$  dovrà diminuire, aumentando il numero di carte di R a scapito di quelle di P. Alla fine dell'attività si potranno ancora una volta costruire un grafico come quello riportato in figura 8.

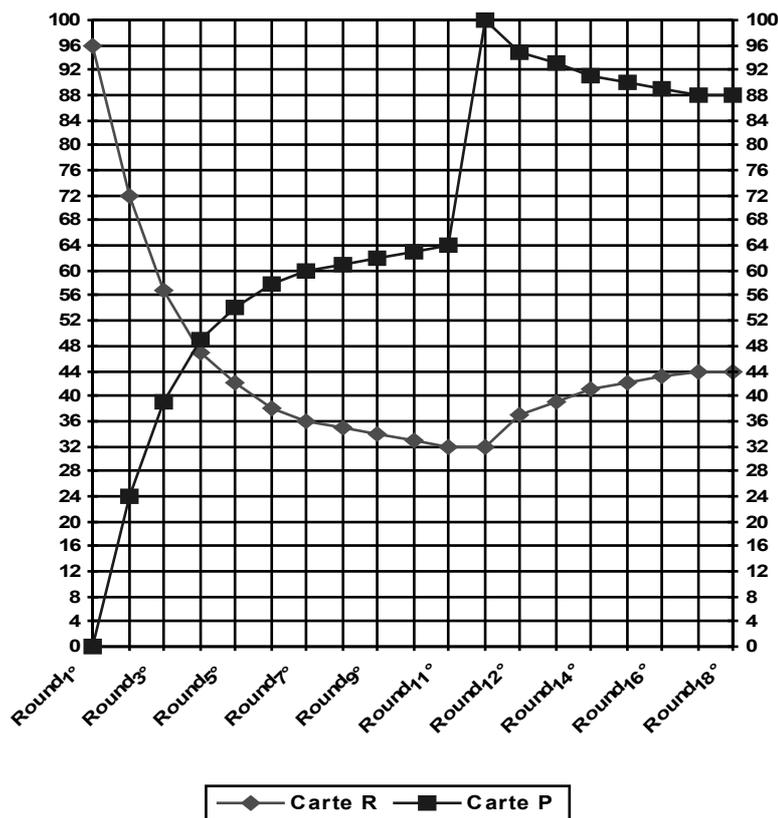


Figura 8

Un importante aspetto da mettere in evidenza è l'incremento del numero di carte trasferite all'equilibrio (11 rispetto alle 8 relative all'iniziale situazione di equilibrio): ciò corrisponde ad un aumento delle carte trasferite in ciascun round (corrispondente alle velocità di reazione diretta ed inversa), dovuto all'aumento del numero di carte di una squadra (cioè un aumento della concentrazione di una delle specie all'equilibrio, che in termini microscopici produce un aumento degli urti efficaci).

#### Attività 7: la funzione del catalizzatore

Quando abbiamo un sistema che non si trova all'equilibrio, l'aggiunta di un catalizzatore provoca un aumento della velocità sia della reazione diretta che di quella inversa. La situazione di equilibrio viene pertanto raggiunta più velocemente, ma le quantità finali di prodotti e reagenti sono le stesse della situazione di equilibrio raggiunta senza l'utilizzo del catalizzatore. Nella nostra analogia didattica basata sul gioco, l'utilizzo di un catalizzatore può essere messo in relazione con un aumento del numero di carte che la squadra R trasferirà alla squadra P e viceversa. In questa attività R possiede 96 carte e trasferirà  $1/2$  delle proprie carte a P (Reagenti  $\rightarrow 1/2 \rightarrow$  Prodotti), mentre P, che inizialmente non ha nessuna carta, dovrà trasferire  $1/4$  delle proprie carte ad R (Prodotti  $\rightarrow 1/4 \rightarrow$  Reagenti). Confrontando i risultati di questa attività (tabella 7) con quelli ottenuti nell'attività 1, i ragazzi prenderanno coscienza che:

## Utilizzo di analogie nell'insegnamento del concetto di equilibrio

- 1) l'utilizzo di un catalizzatore permette di raggiungere una situazione di equilibrio dinamico molto più velocemente (5° round contro 11° round), rispetto alla reazione non catalizzata,
- 2) il numero di carte possedute da R e da P nella situazione finale di equilibrio rimane comunque invariato rispetto all'attività 1, e quindi anche il rapporto

$$\frac{\text{n. Carte Squadra P}}{\text{n. Carte Squadra R}} = \frac{64}{32} = 2$$

(la costante di equilibrio  $K_{eq}$ ) non subisce variazioni,

- 3) il numero di carte che viene trasferito all'equilibrio è però aumentato (da 8 a 16).

Tabella 7

Round Trasferimenti	Carte possedute da R	Carte possedute da P	Carte cedute da R	Carte cedute da P
1° Round	96	0		
1° trasferimento	(96-48)	(0+48)	48	0
2° Round	48	48		
2° trasferimento	(48-24+12)	(24-3+18)	24	12
3° Round	36	60		
3° trasferimento	(36-18+15)	(60-15+18)	18	15
4° Round	33	63		
4° trasferimento	(33-17+16)	(63-16+17)	16.5 → 17	15.7 → 16
5° Round	32	64		
5° trasferimento	(32-12+12)	(32-12+12)	16	16
6° Round	32	64		
6° trasferimento	(32-12+12)	(32-12+12)	16	16

## Conclusioni

In questo articolo abbiamo proposto alcune attività che possono essere utilizzate come validi supporti didattici nell'insegnamento di concetti di difficile comprensione che riguardano l'equilibrio: essi sono fondamentalmente:

- 1) l'incompletezza delle reazioni chimiche,
- 2) la reversibilità delle reazioni chimiche,
- 3) la natura dinamica dell'equilibrio,
- 4) gli effetti di perturbazioni esterne sullo stato di equilibrio

Oltre agli aspetti riguardanti più propriamente l'equilibrio chimico, con tali attività si introducono anche, in modo significativo e quantitativo, altri aspetti che vengono in genere trattati con la cinetica chimica, ad esempio la velocità di reazione, la costante cinetica di velocità e l'effetto del catalizzatore.

Le attività sono basate su esperienze pratiche che gli allievi sviluppano in classe attraverso un gioco, che non necessita di apparecchiature di laboratorio o reattivi chimici, i quali non sempre sono facilmente reperibili o disponibili negli istituti di istruzione secondaria. Il ruolo dell'insegnante rimane comunque determinante perché ha il difficile compito di mettere in relazione l'analogia del gioco con i concetti chimici relativi a sistemi reali in equilibrio.

Gli autori, da tempo impegnati nell'insegnamento di moduli di didattica nella chimica presso la SSIS Marche, hanno potuto apprezzare un positivo feedback da parte degli specializzandi della classe A060, relativamente alla loro applicazione di tale metodologia didattica nel tirocinio diretto.

## Bibliografia

- [1] P. A. Huddle, M. D. White, F. Rodgers, *J. Chem. Ed.* 2000, **77**, 920.  
[2] A. H. Wilson, *J. Chem. Educ.* 1998, **75**, 1176-1177; b) A. H. Wilson, H. J. Audrey, *Chem. Educ.* 2000, **77**, 1410.  
[3] a) T. P. Silverstein, *J. Chem. Educ.* 2000, **77**, 1410; b) J. C. M. Paiva, V. M. S. Gil, A. F. Correia, *J. Chem. Ed.* 2003, **80**, 111.  
[4] a) A. E. Wheeler, H. Kass, *Sci. Educ.* 1978, **62**, 223; b) A. C. Banerjee, *J. Chem. Ed.* 1995, **72**, 879.  
[5] F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, A. Cingolani, C. Di Nicola, *CnS – La Chimica nella Scuola*, 2009, **1**, 18- 29.

# Approfondimenti e suggerimenti didattici relativi alle celle galvaniche.

## Parte prima: il funzionamento degli elettrodi.

**Ermanno Niccoli**

*niccoliermanno@alice.it*

### **Riassunto**

*L'articolo inizia con l'esposizione di alcuni problemi relativi all'insegnamento dell'Elettrochimica a livello di scuola secondaria superiore non specialistica, prosegue con alcune osservazioni a carattere generale sul funzionamento delle celle elettrochimiche e sulle convenzioni I.U.P.A.C. L'articolo illustra quindi i potenziali di contatto, introduce l'equazione di Nernst relativa ai singoli elettrodi ed esamina il funzionamento dei principali tipi di elettrodi. A conclusione vengono fatte alcune considerazioni relative a possibili fonti bibliografiche funzionali all'attività didattica.*

### **Premessa.**

Le conoscenze didattiche relative a una disciplina stentano a tenere il passo con le corrispondenti conoscenze scientifiche, essendo queste ultime in continua, esponenziale espansione; inoltre, a causa del carattere spesso ripetitivo dell'insegnamento le conoscenze didattiche, che il singolo insegnante padroneggia, sono soggette a usura e a obsolescenza.

È indispensabile tuttavia per evidenti ragioni culturali che ricerca e didattica delle scienze rimangano connesse, anche se talvolta in maniera remota. Si richiede quindi da parte degli insegnanti un continuo lavoro di aggiornamento, di approfondimento e di rielaborazione.

Il presente lavoro, fatto di due parti, aspira a incentivare, o comunque a rinverdire, le conoscenze di Elettrochimica dei docenti, a questo scopo oltre a illustrare dei contenuti disciplinari, suggerisce un uso più intensivo del laboratorio e, seppure in filigrana, un possibile approccio didattico. Questi suggerimenti valgono soprattutto per un insegnamento dell'Elettrochimica a livello non specialistico della scuola secondaria superiore.

Nel presente articolo, prima parte del lavoro complessivo, a partire da alcuni cenni formali relativi ai fondamenti dell'Elettrochimica e alle convenzioni I.U.P.A.C., si affronta un argomento di solito tenuto in ombra quale la formazione dei potenziali di contatto connessi a loro volta con l'equazione di Nernst e si conclude passando in rassegna la natura e il funzionamento di alcuni, importanti tipi di elettrodi.

Le semicelle non sono state quindi introdotte, come spesso si usa, esclusivamente nel contesto dell'ossidazione o a partire da alcuni grossolani dati sperimentali, viceversa si allarga lo sguardo a concetti indispensabili per comprendere il funzionamento dei vari tipi di elettrodi e i problemi della corrosione elettrochimica.

Alcuni argomenti, come ad esempio gli elettrodi a membrana, possono apparire eccessivi per un normale corso di Chimica, ma si deve considerare che una attrezzatura di laboratorio di uso comune, destinata ad esempio a semplici misurazioni di pH o a indagini ambientali, prevede questo tipo di elettrodi peraltro commercializzati a costi contenuti.

Qualunque sia la soluzione che l'insegnante vorrà imboccare, egli dovrà comunque ampliare o semplicemente rinverdire le sue conoscenze per meglio impostare il lavoro di programmazione e non sarebbe funzionale invitare l'insegnante a leggersi gli articoli di Elettrochimica più aggiornati o ponderosi volumi specialistici.

Quali contenuti utilizzare tra quelli esposti? Questa è una decisione che spetta al singolo insegnante in sede di programmazione scolastica, tanto più che l'insegnamento della chimica è variamente articolato secondo i differenti indirizzi.

Per alcuni insegnanti i contenuti di questi articoli costituiranno una occasione di approfondimento, per altri saranno fonte di ispirazione ma per altri ancora potranno rappresentare solamente una utile sottolineatura.

### **Generalità sul funzionamento delle celle elettrochimiche.**

Prima di esaminare con maggiore dettaglio le singole parti che compongono le *celle elettrochimiche*, è opportuno tracciare un quadro generale del loro funzionamento.

*I fenomeni elettrochimici consistono nella conversione dell'energia chimica in energia elettrica e dell'energia elettrica in energia chimica. Queste trasformazioni, l'una inversa di quell'altra, avvengono nelle celle elettrochimiche ma mentre la trasformazione di energia chimica in energia elettrica è spontanea, la trasformazione inversa ovviamente non è spontanea ma comporta un lavoro sul sistema stesso.*

In ogni caso guardare ai due modi come se si trattasse semplicemente di due processi l'uno inverso dell'altro, rischia di essere semplicistico, infatti la perfetta reversibilità si realizza solamente in ben determinate condizioni. Immaginiamo di collegare la cella ad una sorgente di forza elettromotrice uguale e contraria a quella generata dalla cella stessa, possiamo osservare che nella cella non passa corrente alcuna; se la forza elettromotrice esterna viene diminuita di una quantità

## Il funzionamento degli elettrodi

infinitesima rispetto alla f.e.m. della cella, una quantità infinitesima di corrente fluisce spontaneamente tra i due poli della cella e avviene una ben determinata trasformazione spontanea del sistema (generazione di corrente elettrica); se viceversa la forza elettromotrice esterna viene aumentata di un infinitesimo, una quantità infinitesima di corrente fluisce in senso inverso a quello precedente e nella pila avviene la trasformazione inversa rispetto alla precedente (elettrolisi).

Su queste modalità consistenti, come vedremo, nell'operare in condizioni molto vicine a quelle di equilibrio, si basa la misura della forza elettromotrice di una cella, modalità che peraltro non sempre si realizzano, a causa dei fenomeni di polarizzazione e di sovratensione; questi fenomeni comportano che la cella non sempre sia reversibile e che la trasformazione durante l'elettrolisi non sempre corrisponda alla trasformazione inversa di quella spontanea.

Per queste e altre ragioni è utile fare una distinzione dividendo le *celle elettrochimiche* in *celle galvaniche* o *pile* e *celle elettrolitiche* o *bagni elettrolitici*. In questo articolo non vengono affrontati i problemi relativi al funzionamento delle celle elettrolitiche e alla loro utilizzazione, aspetti peraltro didatticamente interessanti.

Ferme restando queste distinzioni, alcune caratteristiche sono comuni a tutte le celle elettrochimiche, ad esempio tutte consistono in *circuiti dove si alternano conduttori di prima e seconda classe* ossia metalli e soluzioni ioniche<sup>1</sup>.

Il trasporto di corrente elettrica da parte degli elettroni nei metalli e degli ioni positivi e negativi nelle soluzioni elettrolitiche avviene con moto relativamente uniforme. Nelle soluzioni il trasporto di energia elettrica avviene in una direzione da parte dei cationi e nella direzione opposta da parte degli anioni. La velocità con cui si muovono cationi e anioni in un campo elettrico di norma non è la stessa in quanto ioni differenti hanno quasi sempre diverse velocità<sup>2</sup>.

Il moto disordinato delle molecole nella soluzione, le interazioni con le particelle di carica opposta e i processi di solvatazione e desolvatazione, oltre alle oscillazioni degli ioni nei reticoli metallici, producono una resistenza (elettrica) che si oppone rispettivamente al moto degli ioni e degli elettroni, una sorta di attrito che comporta una perdita di energia sotto forma di calore.

Le trasformazioni che avvengono globalmente nelle celle elettrochimiche sono, eccetto che nelle pile a concentrazione, reazioni di ossidoriduzione ma da queste differiscono per molti aspetti infatti le reazioni chimiche hanno luogo quando le particelle dei reagenti e dei prodotti, nel loro moto disordinato collidono con sufficiente energia e secondo una geometria adeguata; in realtà nelle reazioni ioniche la geometria dell'urto ha una limitata importanza e l'energia di attivazione è piuttosto ridotta; i fenomeni di polarizzazione e di sovratensione, che si verificano soprattutto all'interfaccia elettrodo/soluzione, fanno sentire il loro effetto soprattutto nell'elettrolisi.

Nei processi elettrochimici, dove il moto degli ioni è tendenzialmente direzionale, le reazioni *avvengono alla superficie di contatto tra le soluzioni e gli elettrodi, quindi ha una importanza particolare la natura e lo stato della superficie dell'elettrodo*.

Le due semireazioni che nelle reazioni chimiche di ossidoriduzione erano un utile formalismo, *nei processi elettrochimici avvengono realmente e separatamente sulla superficie dei due elettrodi*.

Per un inquadramento di partenza dell'argomento esaminiamo ora per sommi capi il funzionamento delle celle elettrochimiche.

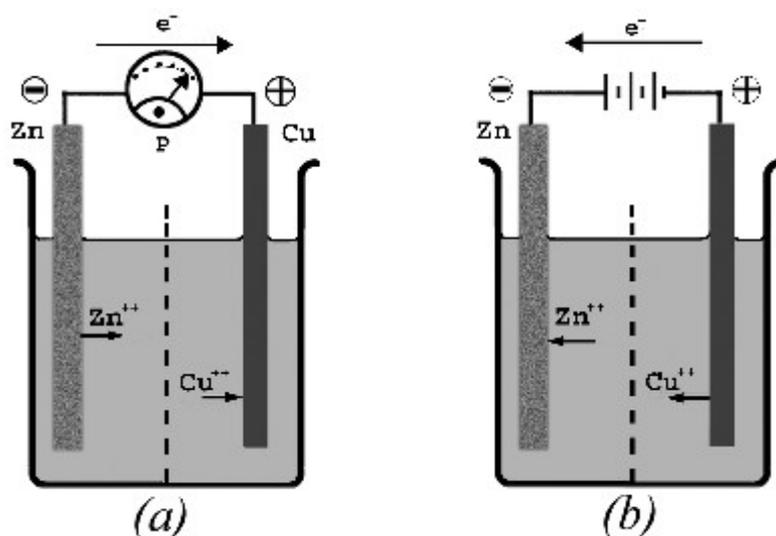
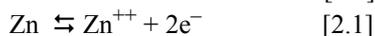


Figura 1

1. Oltre ai metalli possiamo avere altri tipi di conduttori quale la grafite e i semiconduttori, inoltre funzionano in modo simile alle soluzioni elettrolitiche i sali fusi e i gas parzialmente ionizzati.

2. Non si deve confondere la velocità di migrazione dei vari tipi di ioni che si muovono in un campo elettrico (mobilità) con la velocità di diffusione dovuta alle differenze di concentrazione.

Prendiamo a titolo di esempio<sup>3</sup> la cella reversibile schematizzata in figura 1a (pila Daniell), nella quale avvengono le seguenti semireazioni reversibili:



La figura 1a rappresenta schematicamente una pila dove si verifica un processo in base al quale i cationi rameici si legano spontaneamente all'elettrodo di destra, che in questo modo si polarizza positivamente, e gli ioni zinco si staccano spontaneamente dall'elettrodo di sinistra che si polarizza negativamente, a seguito di ciò tra i due poli si instaura una differenza di potenziale che a *circuito aperto*, dove lo strumento di misura P (voltmetro) comporta un passaggio di corrente trascurabile, viene detta anche *forza elettromotrice (f.e.m.)*.

Quando si chiude il circuito si genera una corrente di elettroni che va dall'elettrodo di sinistra a quello di destra e in soluzione una corrente di anioni che si muove dalla semicella di destra a quella di sinistra e una corrente di cationi che si muove in senso inverso. Con il procedere della reazione elettrochimica la concentrazione della soluzione rameica diminuisce, quella della soluzione di zinco aumenta mentre la differenza di potenziale diminuisce e tende a zero.

L'elettrodo dove si verifica l'ossidazione viene convenzionalmente denominato *anodo* e la semipila corrispondente *semipila anodica*, l'elettrodo, dove avviene la riduzione, viene convenzionalmente denominato *catodo* e la semipila corrispondente *semipila catodica*.

Queste e altre convenzioni che seguiranno sono state adottate in sede europea, a Stoccolma, nel 1953 nel corso della 17° Conferenza del International Union of Pure and Applied Chemistry (I.U.P.A.C.).

Come verrà dettagliato più avanti in base a tali convenzioni la pila Daniell viene rappresentata simbolicamente nel seguente modo:



dove con  $a_{\text{Zn}^{++}}$  e con  $a_{\text{Cu}^{++}}$  vengono indicate rispettivamente le attività degli ioni zinco e degli ioni rameici<sup>4</sup>, la barra intera viene usata per indicare la separazione tra fasi diverse e la barra tratteggiata simboleggia un setto poroso che tiene separate le due soluzioni ma permette il passaggio della corrente ionica. Convenzionalmente l'anodo si pone a sinistra e il catodo a destra. La forza elettromotrice è data da:

$$\Delta E = E_c - E_a \quad [3.1]$$

ovvero:

$$\Delta E = E_D - E_S$$

dove  $E_c$  e  $E_a$  indicano i potenziali del catodo e dell'anodo mentre  $E_D$  e  $E_S$  indicano i potenziali degli stessi elettrodi convenzionalmente riportati a destra e a sinistra.

Nella figura 1b viene descritta la possibilità di invertire il processo della pila Daniell, in quanto reversibile, collegandola a un generatore di corrente continua (batteria) con una differenza di potenziale esterna superiore e con polarità inversa rispetto a quella della pila stessa.

Nella cella elettrolitica gli elettroni circoleranno in senso inverso rispetto a quanto visto prima, tuttavia l'elettrodo di destra sarà ancora polarizzato positivamente, cioè impoverito di elettroni, ma non per effetto di un processo spontaneo interno alla pila bensì per effetto della forza elettromotrice esterna e gli ioni  $\text{Cu}^{++}$  si staccheranno dall'elettrodo ossidandosi, questo elettrodo dove avviene l'ossidazione è ancora per definizione l'*anodo*, gli ioni  $\text{Zn}^{++}$  verranno richiamati sull'elettrodo di sinistra polarizzato negativamente, riducendosi e quindi l'elettrodo funziona da *catodo*.

Riassumendo: con l'inversione del senso della corrente le polarità degli elettrodi non cambiano però il catodo e l'anodo della pila si convertono rispettivamente nell'anodo e nel catodo della cella elettrolitica.

I paragrafi che seguiranno, cercheranno di fornire una spiegazione la più corretta possibile, anche se inevitabilmente approssimata, della formazione dei potenziali presenti in una pila.

### I potenziali di contatto

La prima domanda che sorge spontanea circa il funzionamento delle pile è la seguente: da dove scaturisce il potenziale degli elettrodi e quindi la differenza di potenziale tra gli elettrodi stessi?

La prima considerazione che si può fare è la seguente: esistono numerosi tipi di elettrodi ma tutti hanno in comune una caratteristica cioè la presenza di una o più superfici di separazione tra fasi diverse ossia di superfici di contatto tra conduttori. In prima istanza possiamo supporre che i fenomeni, responsabili della formazione dei potenziali, avvengono alle suddette superfici.

Per quanto concerne il contatto tra due metalli diversi, che si trovano alla stessa temperatura, è stato dimostrato che alla superficie di separazione si forma un doppio strato elettrico e quindi una differenza di potenziale (*1ª legge di Volta*).

3. Come vedremo, le trasformazioni che avvengono alla superficie degli elettrodi possono essere le più disparate, ma l'esempio della pila Daniell serve per un inquadramento generale, anche formale, del funzionamento delle celle elettrochimiche.

4. Come verrà discusso successivamente, i potenziali degli elettrodi in base all'equazione di Nernst variano, oltre che al variare della temperatura anche al variare delle attività ioniche (in prima approssimazione delle concentrazioni).

## Il funzionamento degli elettrodi

Si noti per inciso che la differenza di potenziale osservata, detta *effetto Volta*, è indipendente dalla forma dei due conduttori e dall'estensione della superficie di contatto, viceversa dipende dalla natura chimica dei metalli stessi e dalle loro condizioni fisiche. Da un punto di vista tecnico il potenziale dipende drasticamente da come sono state preparate le due superfici prima di essere messe a contatto.

La spiegazione è la seguente: dati due metalli diversi, poiché gli elettroni sono sottoposti a campi elettrici di diversa intensità a causa della diversa natura del reticolo metallico una piccola parte di essi, quando i due metalli vengono a contatto, tendono a spostarsi dal reticolo dove sono sottoposti una forza di attrazione minore a quello dove sono sottoposti ad una forza di attrazione maggiore<sup>5</sup>; tale spostamento si verifica alla superficie di contatto ma non può proseguire più di tanto perché le cariche positive di un reticolo impoverito di elettroni e le cariche sull'altro reticolo di segno negativo bloccano il processo (fig. 2).

In altre parole nelle immediate vicinanze della superficie di contatto di metalli diversi si forma un doppio strato elettrico, una specie di *condensatore carico che comporta un salto di potenziale*.

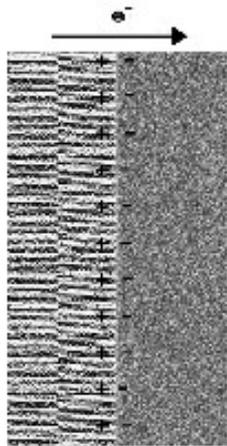


Figura 2

Per inciso notiamo che una misura dell'attrazione esercitata dal reticolo metallico sugli elettroni di superficie è dato dal cosiddetto *lavoro di estrazione*, indicato con il simbolo  $W$  (*Work Function*). Questa grandezza, generalmente espressa in eV ( $1 \text{ eV} = 1,60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ), corrisponde al lavoro necessario per portare un elettrone dalle immediate vicinanze della superficie limite all'infinito, dove l'attrazione è nulla.

Come si rileva dalla Tabella 1 il lavoro di estrazione può differire notevolmente da metallo a metallo, quindi nel caso di un contatto tra Mg e Pt, ad esempio, il potenziale di contatto non può essere trascurato rispetto ad altri potenziali presenti nella pila, viceversa nel caso di un contatto tra Pb e Cd la differenza è quindi l'effetto Volta è praticamente nullo<sup>6</sup>.

Teniamo presente a questo punto che alla superficie di contatto tra due conduttori, ma non solo<sup>7</sup>, si generano sempre, seppure con differenti meccanismi, dei doppi strati elettrici, quindi anche nel caso di un *elettrodo in contatto con una soluzione dei suoi ioni avverrà lo stesso fenomeno per cui l'elettrolita e il metallo assumeranno potenziali di segno opposto*.

Supponiamo di avere un metallo bivalente tipo rame o zinco in equilibrio con i suoi ioni, in questo caso la formazione di un doppio strato elettrico e perciò di una differenza di potenziale è dovuta allo spostamento di ioni positivi dalla soluzione verso il metallo oppure dal metallo verso la soluzione *a seconda dell'attività degli ioni in soluzione*<sup>8</sup>. Se prevale il primo processo, all'equilibrio avremo uno strato di ioni positivi sul metallo (fig. 3a) a cui fa equilibrio lo strato elettrico negativo dovuto agli anioni che si affollano nelle immediate vicinanze della superficie, se prevale il secondo processo avremo lo strato di ioni positivi dal lato della soluzione e gli elettroni rimasti in eccesso dal lato del metallo (fig. 3b).

Come appare intuitivo, si può individuare una soluzione con attività intermedia tale per cui i potenziali chimici degli ioni nella soluzione e nel metallo siano uguali. Questa soluzione si chiama *soluzione zero*, in questo caso non si osserva formazione di doppio strato elettrico, variando le attività ioniche le polarità del metallo e della soluzione si possono invertire.

Tabella 1  
Lavoro di estrazione

Tipo di metallo	W espresso in eV
K	2,2
Na	2,3
Mg	3,6
Mn	3,8
Cd	4,0
Pb	4,0
Zn	4,2
Cu	4,5
C (grafite)	4,7
Pt	4,9

5. Si noti che le forze esercitate dal reticolo metallico, costituito da ioni positivi, sugli elettroni che si trovano all'interno del reticolo stesso (livello di Fermi) sono di diversa intensità, come intuibile, rispetto alle forze esercitate sugli elettroni che si trovano nelle immediate vicinanze delle superfici stesse.

6. In realtà il salto di potenziale attraverso l'interfaccia (potenziale di Volta) differisce dal salto di potenziale derivabile dal lavoro di estrazione, ma tale distinzione va molto oltre gli obiettivi di approfondimento del presente lavoro.

7. Ad esempio, se abbiamo un liquido polare come l'acqua a contatto con un metallo o con un dielettrico come il vuoto le molecole d'acqua, che si trovano sulla superficie di separazione, si dispongono ordinatamente con gli atomi di idrogeno rivolti dalla stessa parte rispetto al metallo o al vuoto, generando con i suoi dipoli un doppio strato elettrico.

8. È concettualmente corretto parlare di attività la quale peraltro risulta essere un concetto problematico. Sul piano pratico, accettando una certa approssimazione, viene sostituita almeno per le soluzioni diluite dalla concentrazione.

La spontaneità di un processo chimico è sempre determinata da una diminuzione di energia libera del sistema, nel contatto tra due metalli il fenomeno è determinato dalla diminuzione del potenziale elettrico del sistema ma nel contatto tra il metallo e la soluzione gli ioni sono soggetti oltre che ai campi elettrici anche a interazioni chimiche di vario genere (legami metallici nel reticolo, legami ionici e interazioni con il solvente nelle soluzioni) per di più legate alla concentrazione, di conseguenza dovremo considerare sia il potenziale elettrico che il potenziale chimico.

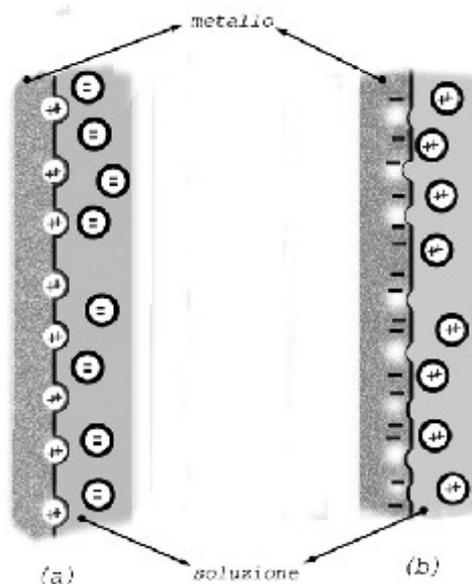
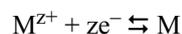


Figura 3

Con riferimento alla figura 3, diciamo che i potenziali chimici ossia l'energia libera molare parziale degli ioni nella soluzione e nel reticolo sono diversi; gli ioni tenderanno perciò a spostarsi spontaneamente dalla zona con potenziale chimico maggiore a quella con potenziale chimico minore, però in questo modo si genera anche un potenziale elettrico. Quando la variazione di potenziale chimico e la variazione di potenziale elettrico saranno uguali ma di segno contrario il processo si ferma con formazione del doppio strato elettrico. Per tradurre questo ragionamento in formule, se  $m_M$  e  $m_S$  sono i potenziali chimici di una mole di ioni rispettivamente del reticolo e della soluzione e se supponiamo che il passaggio dello ione avvenga dalla soluzione al metallo cioè nel verso della riduzione:



la variazione del potenziale chimico con formazione del doppio strato sarà:

$$\mu = \mu_M - \mu_S$$

Se indichiamo ora con  $\beta_M$  e  $\beta_S$  i potenziali elettrici a cui sono sottoposti gli ioni nel reticolo metallico e nella soluzione,

la variazione del potenziale elettrico ossia il lavoro elettrico per il passaggio di una mole di ioni dalla soluzione al reticolo sarà dato da:

$$L_{\text{elett.}} = zF (\beta_M - \beta_S)$$

dove  $z$  è la carica dello ione e  $F$  è il Faraday pari a 96493 coulomb, vale a dire la carica elettrica di una mole di elettroni. Come si è detto all'equilibrio avremo:

$$\mu = -L_{\text{elett.}}$$

quindi:

$$\mu_M - \mu_S = zF (\beta_S - \beta_M) \quad [4.1]$$

che può essere scritta nella forma:

$$\mu_M + zF\beta_M = \mu_S + zF\beta_S \quad [5.1]$$

dove  $(\mu_M + zF\beta_M)$  e  $(\mu_S + zF\beta_S)$  rappresentano rispettivamente il *potenziale elettrochimico*<sup>9</sup> della specie  $M$  nelle due fasi, quindi la [5.1] può essere riassunta dicendo che *all'equilibrio i potenziali elettrochimici di un componente nelle due fasi che formano il doppio strato sono uguali*.

Dalla termodinamica sappiamo che il potenziale chimico (energia libera molare parziale), a temperatura e pressione costante, della specie ionica nelle due fasi è rispettivamente:

$$m_M = k_M + RT \ln a_M$$

$$m_S = k_S + RT \ln a_S$$

dove con  $a_M$  e  $a_S$  indichiamo le attività dello ione nel metallo e nella soluzione. Sostituendo nella [4.1] si ottiene la relazione:

$$\beta_M - \beta_S = \frac{k_S - k_M}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_S}{a_M}$$

In questo caso essendo il metallo ossia la forma ridotta una sostanza a composizione costante, per convenzione si pone  $a_M=1$  per cui  $\ln a_M=0$  e la relazione precedente può essere scritta:

$$\beta_M - \beta_S = K + \frac{RT}{zF} \ln a_S \quad [6.1]$$

9. Concetto introdotto da Butler e Guggenheim.

## Il funzionamento degli elettrodi

A questo punto però si richiede un chiarimento, il valore:

$$\Delta\beta = \beta_M - \beta_S$$

rappresenta la differenza di potenziale elettrico, tra il metallo e la soluzione ossia il salto di potenziale attraverso l'interfaccia elettrodo/soluzione (come se l'elettrodo fosse un condensatore) viceversa quando in Elettrochimica si parla di potenziale di un elettrodo, si intende parlare della sua forza elettromotrice rispetto a una scala il cui zero, rappresentato dal potenziale di un elettrodo di confronto, è arbitrariamente assunto. Inoltre il valore assoluto del potenziale di un singolo elettrodo non può essere misurato e l'unica misura possibile è quella del suo potenziale relativo a un valore di riferimento. Il problema che si pone a questo punto è il seguente: *il valore del potenziale relativo di per se non coinciderebbe numericamente con il potenziale elettrico di cui sopra quindi, per evitare le difficoltà che ne derivano, nel corso della 17<sup>a</sup> conferenza I.U.P.A.C. sono state adottate convenzioni tali per cui la f.e.m. della semipila coincide nel valore e nel segno con il salto di potenziale all'interfaccia elettrodo/soluzione.*

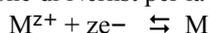
Di conseguenza, se indichiamo con  $\Delta E_M$  il potenziale dell'elettrodo, la [6.1] si traduce nella seguente relazione:

$$\Delta E_M = \Delta E_M^0 + \frac{RT}{zF} \ln a_S \quad [7.1]$$

dove  $\Delta E_M^0$  è un valore costante che indica il potenziale dell'elettrodo quando  $a_S=1$ .

La [7.1] è riferita alla semireazione di riduzione e viene detta equazione di Nernst.

Per l'equazione [7.1] nei ragionamenti che seguono, specialmente in quelle espressioni dove ricorre il calcolo del pH, si può assumere una temperatura di riferimento di 25°C ovvero 298,16 K e passare ai logaritmi decimali. In questo caso tenuto conto che  $F = 96493$  coulomb, corrispondente alla carica elettrica di una mole di elettroni, ed  $R$  cioè la costante dei gas è uguale a  $8,3143$  Joule/mol  $\times$  K, l'equazione di Nernst per la semireazione:



prende la forma:

$$\Delta E_M = \Delta E_M^0 + \frac{0,059}{z} \log a_S \quad [8.1]$$

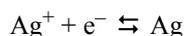
Sulla base degli esempi che seguiranno, vedremo come l'equazione di Nernst possa assumere una forma un poco più complicata.

### Differenti tipi di elettrodi.

*Elettrodi di prima specie.*- In base a quanto è stato detto sui potenziali di contatto, è evidente che l'elettrodo più semplice è costituito da un metallo immerso in una soluzione di un suo sale: questo è un *elettrodo di prima specie*. Gli elettrodi della pila Daniell, della quale si è parlato nel secondo paragrafo, sono esempi di questo tipo.

Facciamo ancora un esempio: se immergiamo una lamina di argento in una soluzione acquosa di nitrato di argento, alla superficie di contatto si stabilisce un equilibrio tra gli ioni argento che si trovano sulla superficie del reticolo metallico e quelli che si trovano in soluzione, idratati e interagenti con gli altri ioni presenti. Come è stato descritto, in questo caso si forma un potenziale di contatto.

Osserviamo intanto che *convenzionalmente l'equilibrio di un singolo elettrodo è sempre scritto nel verso della riduzione:*



*La rappresentazione simbolica dell'elettrodo prevede che si scriva a sinistra, la parte ossidata in questo caso lo ione argento, seguita dalla barra che separa la soluzione dall'elettrodo e quindi l'elettrodo stesso che in questo caso rappresenta la parte ridotta:*



dove la barra verticale posta tra l'elettrodo e la soluzione simboleggia la superficie di contatto. L'equazione di Nernst a 298,16 K, dove  $Z=1$ , prende in questo caso la forma:

$$\Delta E_{Ag} = \Delta E_{Ag}^0 + 0,059 \log \frac{a_{Ag^+}}{a_{Ag}}$$

ma essendo l'elettrodo costituito da argento puro, gli viene convenzionalmente attribuita  $a_{Ag} = 1$ , per cui<sup>10</sup>:

10. Come vedremo questa affermazione vale per tutte le sostanze a composizione costante che partecipano all'equilibrio.

$$\Delta E = \Delta E^0_{Ag} + 0,059 \log a_{Ag^+} \quad [9.1]$$

dove  $\Delta E^0$  è il potenziale standard, misurato rispetto all'elettrodo di riferimento<sup>11</sup>, ossia il potenziale dell'elettrodo a 298,16 K quando  $a_{Ag^+} = 1$ .

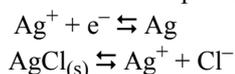
Come verrà approfondito in seguito, se l'elettrodo fosse costituito ad esempio da una lega argento/oro, dove l'oro nelle condizioni operative non è elettroattivo, si avrebbe una relazione simile alla [9.1] cioè del tipo:

$$\Delta E_{Ag(Au)} = \Delta E^0_{Ag(Au)} + 0,059 \log \frac{a_{Ag^+}}{a_{Ag(Au)}} \quad [10.1]$$

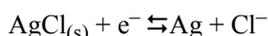
Il potenziale standard nella [10.1] non sarà in linea di massima lo stesso che compare nella [9.1] infatti nelle leghe con la composizione può variare la struttura cristallina della superficie e si possono formare composti intermetallici, quindi si può modificare profondamente la natura della superficie di contatto. Lo stesso ragionamento vale nel caso di una *amalgama del metallo* elettroattivo, anche in questo caso si possono formare composti intermetallici con il mercurio e con l'aumento della percentuale di questo l'amalgama può risultare liquida.

È evidente che non si possono concepire elettrodi di prima specie costituiti da metalli del primo e, in gran parte, del secondo gruppo del Sistema Periodico in quanto reagirebbero con l'acqua e con gli altri eventuali componenti delle soluzioni.

*Elettrodi di seconda specie.* - Se l'elettrodo d'argento sopra descritto si trova a contatto con un suo sale poco solubile, ad esempio se l'argento dell'elettrodo è ricoperto da un sottile strato di cloruro di argento, la situazione si modifica radicalmente e l'equilibrio complessivo dell'elettrodo comprenderà i due seguenti equilibri:



che sommati membro a membro danno:



Questo è l'equilibrio dell'*elettrodo a cloruro di argento* la cui rappresentazione simbolica, secondo le regole prima enunciate, è:



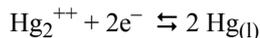
Cioè si scrive prima la parte elettroattiva ossidata, in questo caso  $Ag^+$  (ossia  $AgCl$ ), seguita dalla parte ridotta, inoltre *ogni fase eterogenea e quindi ogni superficie di contatto dove si stabilisce un equilibrio chimico o elettrochimico, è indicata da una barra verticale*.

Il potenziale di Nernst, tenuto conto che anche al corpo di fondo  $AgCl_{(s)}$ , oltre che all'elettrodo, per convenzione in quanto sostanza pura si attribuisce attività unitaria, risulta essere:

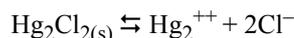
$$\Delta E_{AgCl} = \Delta E^0_{AgCl} - 0,059 \log a_{Ag^+} \quad [11.1]$$

In altre parole il potenziale di questo elettrodo invece di dipendere esclusivamente dall'attività degli ioni argento, come indicato nella [9.1], dipende indirettamente dall'attività degli ioni cloruro secondo la [11.1]. Questo tipo di elettrodo (fig. 4) viene classificato come *elettrodo di seconda specie*, ha un potenziale stabile ed è facile da assemblare e in caso di necessità può essere usato come elettrodo di confronto in sostituzione dell'elettrodo standard a idrogeno.

Un altro elettrodo di seconda specie che, assieme all'elettrodo a cloruro di argento, trova applicazioni come elettrodo di riferimento, è l'*elettrodo a calomelano* ( $Hg_2Cl_2$ ). Anche in questo caso l'equilibrio complessivo è dato dalla somma membro a membro della semireazione redox:



e dell'equilibrio di solubilità:



vale a dire:

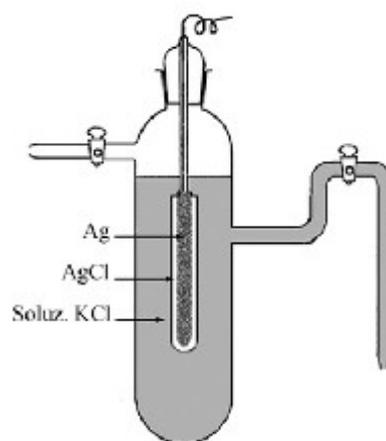
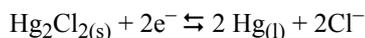


Figura 4

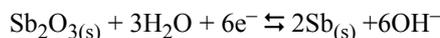
11. Trattasi, come vedremo, dell'elettrodo normale a idrogeno.

## Il funzionamento degli elettrodi

Il suo potenziale di Nernst a 298 K è:

$$\Delta E_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2} = \Delta E_{\text{Hg}_2\text{Cl}_2}^0 - 0,0591 \log a_{\text{Cl}^-}$$

L'elettrodo a calomelano meglio ancora dell'elettrodo a cloruro di argento può essere usato come elettrodo di confronto in sostituzione dell'elettrodo standard a idrogeno il cui uso è problematico. Interessante tra gli elettrodi di seconda specie è l'*elettrodo ad antimonio*. In questo caso il composto insolubile non è un sale ma un ossido; funziona in base all'equilibrio:



Come si può facilmente comprendere il suo potenziale dipende dalla concentrazione degli ioni ossidrile ossia dal pOH e quindi indirettamente dal pH:

$$\Delta E_{\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s})} = \Delta E_{\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s})}^0 - 0,0591 \log a_{\text{OH}^-}$$

ossia

$$\Delta E_{\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s})} = \Delta E_{\text{Sb}_2\text{O}_3(\text{s})}^0 + 0,059 \text{pOH}$$

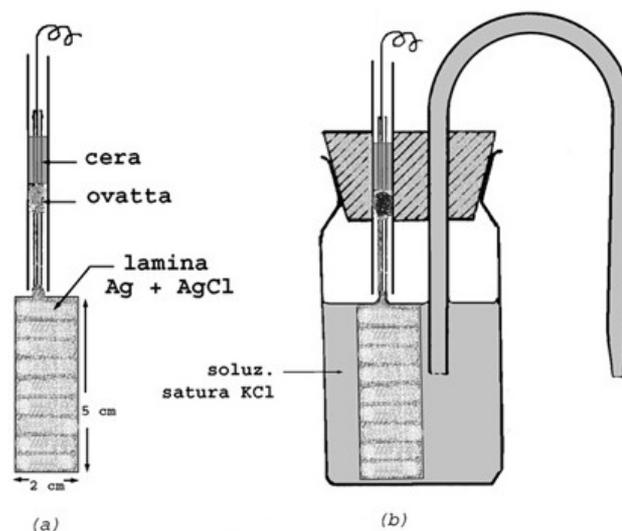
Come si vede questo tipo di elettrodo è uno dei tanti utilizzabili nella misura del pH. L'elettrodo viene così rappresentato:



*Scheda n. 1 – Costruzione di un elettrodo a cloruro di argento ad uso didattico.*

*Si prepara una lamina di argento puro fissata come indicato in figura 5a ad un tubo di vetro mediante un filo di argento.*

*La lamina viene rivestita di una sottile patina di AgCl, usandola come anodo in una elettrolisi di soluzione di HCl 1N, con una corrente di 4-6 mA. La lamina così preparata viene assemblata ad un recipiente del tipo indicato nella figura 5b, munito tra l'altro di ponte salino (vedere scheda n. 2). Il recipiente viene riempito con soluzione satura di KCl in modo da coprire l'elettrodo.*

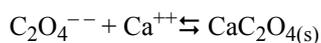
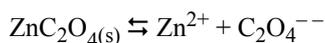
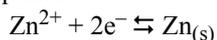


**Figura 5**

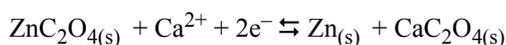
*Elettrodi di terza specie.*- È questo un elettrodo un poco più complesso dei precedenti infatti esso è del tipo:



dove X è un anione e MX e NX sono sali poco solubili formati dall'anione stesso con i cationi M e N, il potenziale è quindi legato alla attività del catione N<sup>+</sup>. Un esempio, che permette di meglio comprendere il funzionamento di questo tipo di elettrodo, è dato dall'elettrodo di zinco in presenza di ossalato di zinco (ZnC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), di ossalato di calcio (CaC<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) e di ioni calcio. Si instaurano i seguenti equilibri:



che sommati membro a membro ci danno l'equilibrio complessivo:

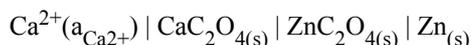


L'equazione di Nernst in questo caso prende la forma:

$$\Delta E_{\text{oxal}} = \Delta E_{\text{oxal}}^0 + 0,029 \log a_{\text{Ca}^{2+}}$$

in quanto all'attività dei due corpi di fondo viene convenzionalmente assegnato un valore unitario. Abbiamo quindi un elettrodo il cui potenziale dipende dall'attività degli ioni calcio, elettrodo che, come si è detto, non potrebbe essere realizzato come elettrodo di prima specie in quanto il calcio metallico reagirebbe con l'acqua della soluzione con sviluppo di idrogeno.

Lo schema dell'elettrodo è un poco più complesso di quelli precedenti:



*Elettrodi di ossidoriduzione*<sup>12</sup>.– Non sempre la forma ridotta è rappresentata dal metallo dell'elettrodo. Forma ridotta e forma ossidata possono trovarsi ambedue in soluzione o in fase eterogenea, senza coinvolgere direttamente il metallo dell'elettrodo che si limita ad assicurare il contatto elettrico.

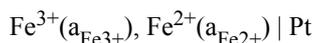
Un tipico esempio è dato da una lamina di platino immersa in una soluzione di sali ferrosi e di sali ferrici. L'equilibrio della semireazione è il seguente:



Avremo ancora la formazione di un doppio strato, e quindi di un potenziale di contatto, che avrà una struttura un poco più complessa rispetto a quella degli elettrodi di prima e seconda specie. L'equazione di Nernst prenderà la forma:

$$\Delta E_{\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}} = \Delta E_{\text{Fe}^{3+}, \text{Fe}^{2+}}^0 - 0,0591 \log \frac{a_{\text{Fe}^{2+}}}{a_{\text{Fe}^{3+}}}$$

Questo tipo di elettrodo viene detto *elettrodo di ossidoriduzione*. L'equilibrio [12.1] è particolarmente semplice ma negli equilibri relativi agli elettrodi di ossidoriduzione possono essere presenti anche ioni ossonio oppure ioni idrossido oltre naturalmente a molecole d'acqua che possono prendere parte alla semireazione stessa; naturalmente l'attività dell'acqua è assunta come unitaria in quanto praticamente costante. La rappresentazione simbolica è:

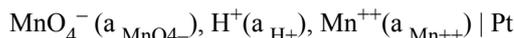


Prendiamo come esempio la seguente semireazione:



dove per semplicità di scrittura lo ione ossonio viene indicato con  $\text{H}^+$ .

Se nella soluzione contenente queste specie ioniche per stabilire il contatto elettrico immergo una lamina di platino, ottengo un elettrodo del seguente tipo:



è evidente che in un simile caso è un poco più complesso suggerire la struttura del doppio strato, tuttavia il potenziale è sempre dato dall'equazione di Nernst:

$$\Delta E_{\text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{2+}} = \Delta E_{\text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{2+}}^0 - \frac{0,059}{5} \log \frac{a_{\text{Mn}^{2+}}}{a_{\text{MnO}_4^-} a_{\text{H}^+}^8}$$

che può essere anche scritta:

$$\Delta E_{\text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{2+}} = \Delta E_{\text{MnO}_4^-, \text{Mn}^{2+}}^0 - 0,0121 \log \frac{a_{\text{Mn}^{2+}}}{a_{\text{MnO}_4^-}} - 0,059 \text{pH}$$

come si può vedere e come già si poteva capire dalla [13.1], il potenziale, oltre che dalle concentrazioni delle forme ridotte e delle forme ossidate dipende anche dal pH.

*Elettrodi a gas*.– Negli elettrodi a gas abbiamo una situazione particolare. Vediamo il caso di un elettrodo a idrogeno. Data una semireazione del tipo:  $2\text{H}^+ + 2e^- \rightleftharpoons \text{H}_{2(g)}$  come avviene negli elettrodi di ossidoriduzione e come indicato in figura 6, il contatto elettrico è assicurato da una lamina di platino ricoperta di nero di platino, cioè un platino spugnoso,

12. La denominazione continua a essere usata anche se sotto certi aspetti è impropria in quanto alla base del funzionamento di tutti gli elettrodi c'è il passaggio da una forma ossidata ad una forma ridotta e viceversa. In alcuni testi gli elettrodi di questo tipo vengono indicati come elettrodi di terza specie per cui sono possibili confusioni.

## Il funzionamento degli elettrodi

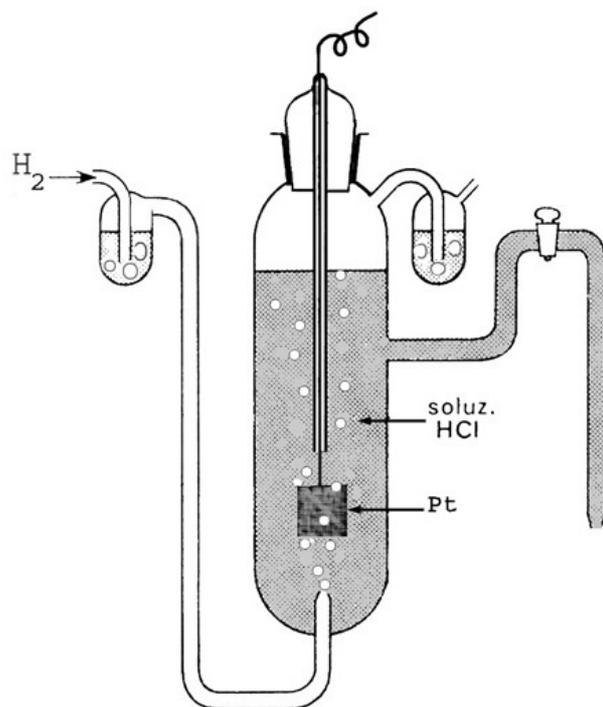
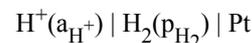


Figura 6

capace di adsorbire alla sua superficie l'idrogeno, l'elettrodo opera come se fossimo in presenza di "idrogeno metallico".

L'adsorbimento dell'idrogeno dipende dalla pressione dell'idrogeno stesso e, come si può intuire, il platino non assicura solamente il contatto elettrico ma svolge anche una funzione catalitica.

La rappresentazione dell'elettrodo è la seguente:



il potenziale dell'elettrodo a 298K sarebbe dato da:

$$\Delta E_{H^+,H_2} = \Delta E_{H^+,H_2}^0 + 0,0291 \log \frac{a_{H^+}^2}{p_{H_2}}$$

$$\Delta E_{H^+,H_2} = \Delta E_{H^+,H_2}^0 - 0,0291 \log p_{H_2} + 0,0591 \log a_{H^+}$$

quindi l'elettrodo a idrogeno è un elettrodo a gas che formalmente *si comporta come un elettrodo di prima specie*; convenzionalmente il potenziale standard dell'elettrodo a idrogeno è  $\Delta E_{H^+,H_2}^0 = 0$ ,

quindi abbiamo:

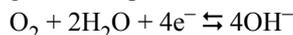
$$\Delta E_{H^+,H_2} = -0,0291 \log p_{H_2} - 0,059 pH$$

se si pone  $p_{H_2} = 1$  atm la relazione diviene:

$$\Delta E_{H^+,H_2} = -0,059 pH$$

Quindi l'elettrodo a idrogeno oltre che come elettrodo di confronto può essere usato anche per misurare il pH tuttavia, qualsiasi sia l'uso che si vuole fare dell'elettrodo a idrogeno, dobbiamo tenere presente che esso pone dei notevoli problemi pratici per la sua difficoltà ad essere standardizzato, per la sua stabilità, per la necessità di usare idrogeno e per la sua sensibilità agli agenti ossidanti e riducenti eventualmente presenti.

Un altro elettrodo a gas è l'elettrodo a ossigeno corrispondente alla semireazione:



Questo è un elettrodo a gas che formalmente *si comporta come un elettrodo di seconda specie* e viene così rappresentato:



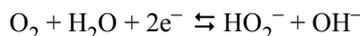
ed al potenziale:

$$\Delta E_{OH^-,O_2} = \Delta E_{OH^-,O_2}^0 + \frac{0,059}{4} \log \frac{p_{O_2}}{a_{OH^-}^4}$$

$$\Delta E_{OH^-,O_2} = \Delta E_{OH^-,O_2}^0 + 0,015 \log p_{O_2} + 0,059 pOH$$

come si può vedere il potenziale in questo caso è legato al pOH e quindi al pH.

L'equilibrio dell'elettrodo però è complicato dal fatto che al catodo parte dell'ossigeno viene ridotto a ione perossido:

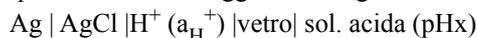


*Elettrodi a membrana.* - Rimangono da considerare gli elettrodi a membrana che per la loro struttura particolare e per il loro funzionamento piuttosto complesso a rigore potrebbero non rientrare in questa breve rassegna che non guarda specificatamente alle applicazioni analitiche. Almeno uno degli elettrodi di questo tipo tuttavia deve essere nominato cioè l'*elettrodo a membrana di vetro* che serve a misurare il pH, può sostituire in questa funzione l'elettrodo a idrogeno ed è largamente commercializzato a prezzi contenuti, quindi spesso fa parte di un corredo scolastico di base.

Altri elettrodi a membrana, nel cui merito peraltro non entreremo, servono per condurre analisi ambientali (misura dell'ossigeno disciolto) per questa ragione, nonostante che il loro uso non sia semplicissimo, possono rivestire un certo

interesse didattico<sup>13</sup>.

La catena elettroica dell'elettrodo a vetro comprende un elettrodo di riferimento cosiddetto interno, ad esempio un elettrodo a cloruro di argento in equilibrio con una soluzione di acido cloridrico a pH noto e costante, separato dalla soluzione a pH incognito ( $\text{pH}_x$ ) dalla membrana di vetro cioè da una parete di vetro di opportuna composizione, estremamente sottile. La catena elettroica può essere simboleggiata nel seguente modo<sup>14</sup>:



La membrana di vetro, la cui superficie è formata essenzialmente di silicato di sodio, deve prima essere accuratamente idratata con formazione di un gel superficiale e quindi, posta a contatto con le due soluzioni interna ed esterna, scambia ioni sodio con ioni idrogeno, stabilendo un equilibrio del tipo:

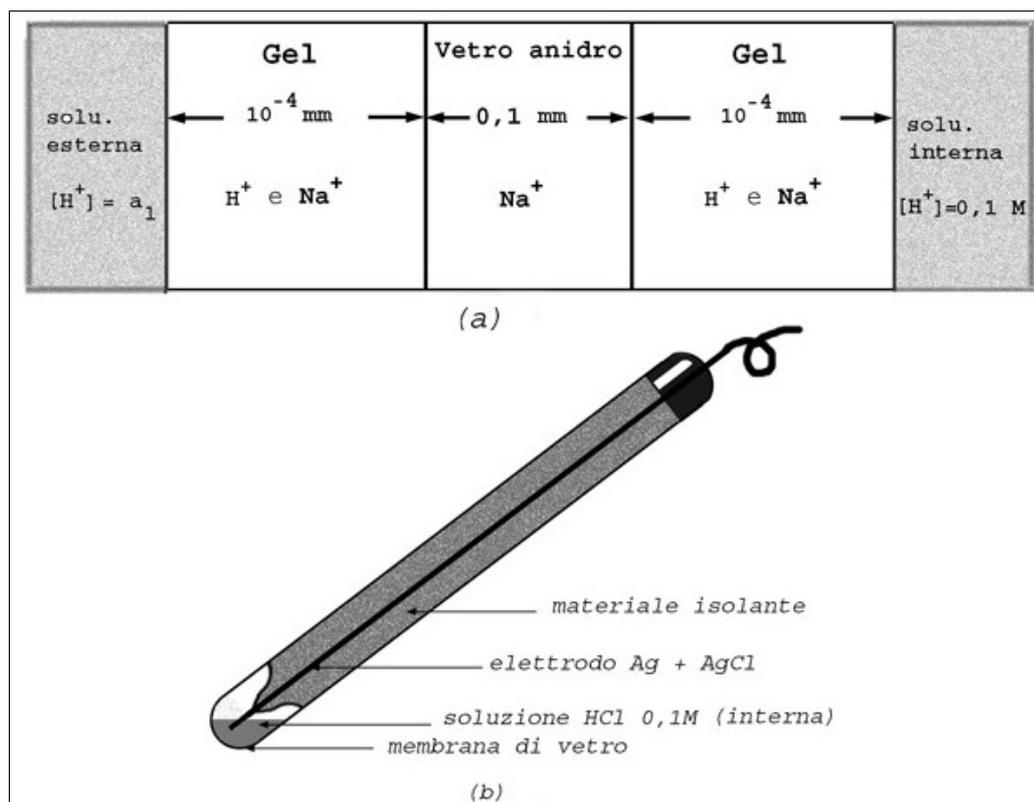
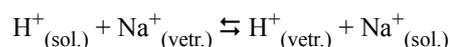


Figura 7



cioè formando su ambedue le facce un sottile strato di acido silicico, come indicato in figura 7a.

Sulle due superfici di contatto, interna ed esterna, per interazione dell'acido silicico con le soluzioni acide si formano due doppi strati elettrici cioè *due potenziali di contatto contrapposti* mentre la conducibilità elettrica attraverso la parte non idratata della membrana sembra che sia assicurata dagli spostamenti degli ioni sodio.

La struttura dell'elettrodo a vetro è approssimativamente quella indicata in figura 7b.

Questo elettrodo, pur avendo una struttura particolare, anomala rispetto agli altri tipi di elettrodi, dà complessivamente una risposta di tipo nernstiano cioè:

$$\Delta E_{\text{vetro}} = k + 0,059 \text{ pH}$$

Tale risposta non è più lineare per pH molto elevati (*errore basico*) o per pH molto bassi (*errore acido*) inoltre non essendo i potenziali di contatto delle due superfici, interna ed esterna, identici, la loro differenza, chiamata *potenziale di asimmetria*, viene inglobata nella costante k.

13. Esistono inoltre elettrodi a membrana di vetro ione-selettivi cioè sensibili agli ioni alcalini o agli ioni alcalinoterrosi, elettrodi a membrana solida, elettrodi a membrana liquida, elettrodi enzimatici ecc.

14. Per compiere la misura l'elettrodo a vetro dovrà essere contrapposto ad un elettrodo di riferimento esterno, per esempio immergendo nella soluzione a pH incognito un secondo elettrodo a cloruro di argento.

## Il funzionamento degli elettrodi

### **Una bibliografia, didatticamente utile, che viene dal passato.**

Se il problema fosse stato esclusivamente quello di disporre di buoni contenuti relativi al capitolo dell'Elettrochimica sarebbe bastato stendere un compendio a partire uno o due testi universitari di Chimica Fisica senza spendere tempo e fatica a scrivere articoli tutto sommato laboriosi. Tuttavia l'aggiornamento dei docenti è un capitolo che non appartiene tanto all'ambito disciplinare quanto alla didattica della disciplina.

L'esperienza insegna che molte teorie storicamente "superate", apparentemente obsolete, grazie alla loro maggiore semplicità (semplificazione), conservano una loro efficacia in campo didattico; lo stesso dicasi per l'impostazione, da un punto di vista espositivo, di determinati argomenti e per alcune procedure di laboratorio.

Qualcuno sostiene che il fatto è imputabile ad un certo isomorfismo tra sviluppo ontogenetico e sviluppo filogenetico, ma senza volere improvvisare improbabili teorie epistemologiche, possiamo ricorrere a qualche esempio.

Tutti sappiamo come a determinati livelli scolastici, invece di introdurre l'argomento degli acidi e delle basi attraverso le teorie di Brønsted e Lowry, torni agevole affrontare l'argomento tramite le teorie di Arrhenius, pur essendo queste sotto molti aspetti di limitato potere esplicativo oppure come a determinati livelli scolastici possa tornare utile iniziare a parlare della struttura degli atomi a partire da modelli molto semplificati dove gli elettroni sono disposti attorno al nucleo su "orbite" o semplicemente come doppietti distribuiti secondo determinati criteri.

Questi modelli apparentemente rudimentali o sorpassati o addirittura "sbagliati", in una visione rigorista di stampo accademico, servono ad aprire un indispensabile varco verso argomenti complessi che tuttavia ricorrono frequentemente in una società ipercomunicativa.

Quindi certi sforzi dei docenti vanno visti come un rito di iniziazione dei nostri giovani alunni ai misteri eleusini della chimica.

Questo tipo di operazione non è priva di rischi in quanto, nello sforzo di avvicinare le giovani menti alla chimica, si corre il rischio di utilizzare affermazioni arbitrarie, di cadere in eccessive semplificazioni o per il troppo entusiasmo di produrre svolazzi immaginifici. Per evitare questi inconvenienti è consigliabile leggere con attenzione critica anche testi decisamente datati.

Con questo spirito, durante la stesura dei due articoli, sono stati consultati alcuni testi universitari non di recente edizione i quali tuttavia conservano una loro sorprendente vitalità da un punto di vista didattico. Con opportuno discernimento, sono stati consultati anche testi di Chimica Fisica e di Analisi Chimica Strumentale destinati a corsi per periti chimici, utili per alcune loro intelligenti puntualizzazioni didattiche, infine non poteva mancare del materiale informativo tratto da Internet, accolto s'intende con la dovuta cautela.

Si potrebbe fare un lungo elenco di indirizzi relativo agli argomenti affrontati, ma si è preferito limitare le citazioni ad alcune voci che ci sono parse particolarmente interessanti.

#### *Testi Universitari consultati:*

- 1) E. Perucca, *Fisica Generale e Sperimentale*, UTET, Torino, 1942.
- 2) *Esercitazioni di Chimica Fisica (appunti)*, a cura dell'Istituto "Ciamician", Università di Bologna. Anno accademico 1954-55
- 3) S. Glasstone, *Trattato di Chimica Fisica*, C. Manfredi Ed., Milano, 1956.
- 4) A. Skoog, D. M. West, *Fundamentals of Analytical Chemistry*, Holt Rinehart & Winston Ed., London, 1969.
- 5) L. I. Antropov, *Theoretical Electrochemistry*, MIR Publishers, Moscow, 1972.
- 6) Y. A. Gerasimov et al., *Physical Chemistry*, MIR Publishers, Moscow, 1974.
- 7) V. Kiriéev, *Cours de Chimie Physique*, Editions MIR, Moscou, 1975.
- 8) P. Chiorboli, *Fondamenti di Chimica*, UTET, Torino, 1975.
- 9) G. D. Christian, *Chimica Analitica*, Piccin Ed., Padova, 1986.

#### *Testi di scuola secondaria consultati:*

- 1) L. Solli, V. Aloia, M. Cioffi, M. L. Solli Alfarano, *Elementi di Chimica Fisica*, Loffredo Napoli Ed., Milano, 1971.
- 2) R. Cozzi, P. Protti, T. Ruaro, *Analisi Chimica Strumentale per le Scuole Superiori (vol. 1)*, Zanichelli, Bologna, 1997.

#### *Indirizzi Internet:*

<http://it.wikipedia.org/wiki/Elettrochimica>

<http://venus.unive.it/chem2000/>

<http://www.tannerm.com/>

<http://mysite.du.edu/~jcalvert/phys/elechem.htm>

<http://www.minerva.unito.it/Chimica&Industria/IUPACHTML/ManualeIUPAC0.htm>

# Complessità sistemica.

## Un concetto generale di notevole importanza chimica

Giovanni Villani

Istituto per i Processi Chimico-Fisici del CNR, Via G. Moruzzi, 1 - 56124 Pisa  
villani@ipcf.cnr.it

### 1. Introduzione

Nella seconda metà del secolo scorso, senza clamore giornalistico e senza che il grande pubblico se ne sia accorto, sono avvenute due “rivoluzioni” scientifiche che hanno modificato nella sostanza l’immagine del mondo offerta dalla scienza e, di riflesso, hanno posto fondamentali problemi alla didattica delle discipline scientifiche. Esse vanno sotto i nomi di “Scienze della Complessità” e “Teoria generale dei sistemi”. In questo lavoro si metteranno in evidenza i cambiamenti avvenuti in ambito scientifico a seguito di ciò e si accennerà al problema didattico. Per questo ultimo, infatti, la riflessione è solo all’inizio. Si metterà, inoltre, in evidenza che la portata di queste rivoluzioni (in verità si può parlare al singolare per i collegamenti che mostreremo tra i due settori) non è stata ancora “assorbita”, neppure in ambito strettamente scientifico. Ad oggi, la stragrande maggioranza dei fisici, buona parte dei chimici e parte dei biologi continuano a ragionare con gli schemi Ottocenteschi, con il paradigma opposto della “semplicità”, come vedremo. Diversa è la situazione nelle nuove branche scientifiche (per esempio l’ecologia) o nei settori intrinsecamente interdisciplinari (scienze ambientali, dei materiali, ecc.) dove, seppure senza particolari riflessioni filosofico/concettuali, il nuovo paradigma è, di fatto, predominante e al lavoro.

Che il mondo che ci circonda fosse “complesso” è sempre stato presente nella filosofia/scienza da Talete ai giorni nostri. La scommessa della scienza era di trovare (e quindi dimostrare/mostrare) che tale complessità era solamente apparente e che, in realtà, esisteva nel profondo (in senso sia fisico sia figurato) un “semplice” a cui aggrapparsi per sbrogliare la complessa matassa delle apparenze empiriche. Chiameremo, seguendo altri, questa impostazione “paradigma della semplicità” e, anche se qui non verrà analizzato in dettaglio, esso è sempre stato strettamente collegato alla Meccanica e alla sua visione del mondo (questo punto è stato da me sviluppato in dettaglio in *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l’onnipotenza delle molecole*<sup>1</sup>). La ricerca di enti elementari (arché, atomi, principi, elementi, ecc.), le leggi matematicamente semplici, la stessa universale applicabilità della matematica, sembravano dimostrare che la scommessa della scienza era stata vinta. Nell’Ottocento, tuttavia, vennero fuori due importanti teorie che incrinarono la marcia trionfale della Meccanica nello spiegare tutto il mondo materiale. Si sta parlando della Termodinamica, e principalmente del suo secondo principio, e della Teoria dell’Evoluzione di Darwin, teorie che avevano piantato semi che sarebbero sbocciati in maniera compiuta solo in seguito. È ben nota la crisi della Meccanica (e con essa sia della Fisica sia della Scienza *in toto*) di inizio Novecento, ma la Meccanica Quantistica e quella Relativistica, pur nelle loro “stranezze”, anche a costo di qualche “sacrificio concettuale”, sembravano avere di nuovo quadrato il cerchio e restituita una sua stabilità all’immagine meccanica (e per tanti aspetti “semplice”) del mondo visto dalla Scienza. Sempre in quegli stessi anni di inizio Novecento, Poincaré aveva messo in evidenza il caos che si può generare anche in semplici sistemi modello, ma anche le implicazioni di questa scoperta dovevano aspettare tempi migliori per diventare parte organica della nuova rivoluzione scientifica di cui si sta parlando.

È principalmente con i lavori di von Bertalanffy e di Prigogine (la specifica bibliografia e il quadro di riferimento a cui collegare questo lavoro si può trovare nel mio ultimo libro<sup>2</sup>) che si è portata definitivamente alla luce la complessità intrinseca di molti sistemi scientifici. Il primo è ritenuto a ragione il fondatore della Teoria Generale dei Sistemi; il secondo ha evidenziato il non facile rapporto tra la meccanica e la termodinamica, principalmente sul concetto di “tempo” e ha mostrato come in sistemi lontano dall’equilibrio si possa generare ordine. Oggi si è arrivati a dire che “Contrariamente all’idea troppo semplice che considerava l’uomo come l’unico essere complesso (e questa idea era così semplicistica da rendere impossibile la comprensione della complessità dell’uomo), contrariamente all’idea più liberale che attribuiva la complessità al vivente in confronto alle semplicità della natura fisica, *la complessità è dovunque*”<sup>3</sup>. Con Morin poi, si sono sistemati anche i rudimenti del quadro generale e concettuale di questa nuova scienza sistemica e complessa, quella che ci permette di parlare di un nuovo paradigma, quello da me chiamato “complessità sistemica”.

Prima di analizzare i cambiamenti avvenuti nell’immagine scientifica del mondo, mettiamo in relazione queste due rivoluzioni accennando alla “complessità sistemica”. Non staremo qui a dare definizioni di cosa si debba intendere per “complessità”. In letteratura ne sono state date alcune decine ed altre ne saranno date. In questo contesto, e il perché si capirà in seguito, complesso sarà sempre legato al concetto di “sistema strutturato”. Da qui la definizione del nuovo concetto di “complessità sistemica”. Non vogliamo qui asserire che tutte le complessità, da quelle statiche a quelle dinamiche, sono delle complessità sistemiche. Tuttavia, qui ci concentreremo su queste per il notevole significato scientifico che rivestono. Del concetto di “sistema”, invece, vogliamo qui dare una caratterizzazione, facile da capire per chi opera in chimica: chiamasi sistema strutturato/organizzato (o più semplicemente sistema) un’entità nuova che si ottiene mettendo insieme dei componenti in un’interrelazione temporalmente stabile.

## Complessità sistemica

Dice Morin: “ogni interrelazione dotata di una certa stabilità o regolarità assume carattere organizzazionale e produce un sistema”<sup>4</sup>. Molti sono i concetti che andrebbero precisati nella nostra definizione e che, spero, saranno chiari più avanti nel discorso. A questo punto del lavoro preferisco evidenziarli con un esempio chimico, quello della molecola. Essa è ottenuta mettendo insieme dei componenti (atomi), ma non è un aggregato qualsiasi di atomi, ma è talmente un’entità nuova che la si identifica con un suo nome. Questa nuova entità ha sue proprietà molecolari, non riducibili a quelle atomiche, e diviene soggetto di spiegazione per alcune caratteristiche sia del mondo microscopico sia di quello macroscopico, nella scala dei tempi in cui sopravvive come entità.

### 2. La chimica: prima scienza della complessità sistemica

Lo scopo di questo paragrafo è di mostrare che in realtà la chimica, come si è strutturata storicamente a partire dalla fine del Settecento (da Lavoisier in poi), ha da sempre usato concetti sistemici e che tali concetti, implicando un abbandono del paradigma della “semplicità”, portano a poter dire che la chimica è stata la prima scienza della complessità sistemica. In particolare, i suoi concetti fondanti di composto e molecola (lo stesso discorso varrebbe in maniera meno evidente per i concetti di atomo ed elemento) rientrano a pieno titolo nella casistica dei sistemi strutturati e complessi. A riguardo, per il momento, portiamo la citazione di Morin che dice “Il fenomeno sistema è oggi evidente dappertutto. Ma l’idea-sistema emerge ancora a malapena nelle scienze che trattano i fenomeni sistemici. Certo, la chimica concepisce *de facto* la molecola come sistema, la fisica nucleare concepisce *de facto* l’atomo come sistema, l’astrofisica concepisce *de facto* la stella come sistema, ma da nessuna parte l’idea di sistema viene spiegata o risulta esplicita”<sup>5</sup>.

La chimica, come scienza che ricerca la composizione (microscopica e macroscopica) di un pezzo di realtà, nasce in ottica riduzionista. Non è un caso che gli elementi chimici sono sempre stati pochi, sia che fossero i quattro elementi di Empedocle o di Aristotele (acqua, aria, terra, fuoco), o i tre principi di Paracelso, o gli altri tentativi fatti in questa ottica. È solamente con Lavoisier e la sua ben nota definizione operativa che di elementi se ne ottengono 33. Per capire la novità di questa definizione, confrontiamola con quella di Boyle. Nel *The Sceptical Chymist* (1661) Boyle dice: “Non vedo perché si debba necessariamente supporre che vi siano dei corpi primigeni e semplici, dai quali, come da elementi preesistenti, la natura sia obbligata a comporre tutti gli altri. Né vedo perché non possiamo immaginare che essa possa produrre l’uno dall’altro i corpi considerati misti mediante trasformazioni varie delle loro minuscole particelle, senza scomporre la materia in nessuna di quelle sostanze semplici e omogenee in cui si pretende che la scomponga”, mentre Lavoisier nel *Traité élémentaire de chimie* (1789) dice che “se con il termine *elementi* vogliamo indicare gli atomi semplici e indivisibili di cui è costituita la materia, allora è molto probabile che non sappiamo praticamente nulla di essi; ma se usiamo il termine *elementi*, o *principi dei corpi*, per esprimere la nostra idea del limite cui possiamo arrivare con la nostra analisi, allora dobbiamo includere fra gli elementi tutte le sostanze in cui siamo capaci di scomporre, con qualsiasi mezzo, i corpi. Non possiamo certo assicurare che tali sostanze non siano a loro volta costituite da due o più elementi, ma poiché questi elementi sono inseparabili (o meglio non abbiamo i mezzi per separarli) essi si comportano ai nostri occhi come sostanze semplici, e non dobbiamo pensarle come composte finché l’esperienza e l’osservazione non ce ne forniscano la prova”. Mentre Boyle si muove in una corretta ottica meccanica dove le minuscole particelle, indifferenziate qualitativamente, sono l’unico concetto semplice e necessario di spiegazione, Lavoisier “crea” la chimica moderna abbandonando, per il momento, gli atomi (e, quindi, la meccanica. Sarà, pochi anni dopo, Dalton a ricongiungere il concetto di atomo agli elementi di Lavoisier) e differenziando empiricamente, ma qualitativamente, la materia. Con l’introduzione di differenze qualitative irriducibili della materia si superano le possibilità della trattazione esclusivamente “meccanica” e si introduce una complessità intrinseca. Ben presto Dalton la trasferirà anche al mondo atomico che, sebbene fatto di particelle, non sarà più trattabile in maniera esclusivamente meccanica perché vi saranno tanti tipi diversi di atomi quanti sono gli elementi di Lavoisier. Lavoisier si muove in questa stessa ottica anche quando formula la sua “legge di conservazione della massa” dicendo, di fatto, qualcosa in più della semplice conservazione della massa totale che gli viene generalmente attribuito. Dice Lavoisier che “nulla si crea, né nelle operazioni dell’arte, né in quelle della natura, e si può stabilire in linea di principio che in ogni operazione vi è una eguale quantità di materia prima e dopo l’operazione stessa; che la qualità e la quantità degli elementi è la stessa, e che vi sono soltanto cambiamenti e modificazioni”<sup>6</sup>. Nell’analizzare ed evidenziare l’importanza di questa legge ci si ferma sempre alla prima parte, cioè all’eguale quantità di materia prima e dopo l’operazione (in linguaggio moderno, reazione). Io credo, invece, che altrettanto fondamentale è la seconda parte della citazione che afferma categoricamente che “la qualità e la quantità degli elementi è la stessa”. Quindi, Lavoisier non dice solo che la massa si conserva nelle reazioni chimiche, ma qualcosa in più: si conservano anche le differenze qualitative, i differenti elementi chimici. Sono proprio queste differenze qualitative a rendere la chimica una scienza sistemica e complessa. Forse un nome più appropriato alla Legge di Lavoisier potrebbe essere “Legge di conservazione delle masse”, proprio per evidenziare che non è una massa indifferenziata a conservarsi, ma tutte le masse dei singoli elementi, differenziati qualitativamente.

Ancora più importante per la chimica sono, ovviamente, i concetti di composto e molecola. Può apparire strano che, mentre per il concetto di elemento e di atomo, la chimica moderna nasce moltiplicando le differenziazioni (da 4 elementi a 33, per arrivare al centinaio odierno), per i concetti di composto e molecola si debba seguire la strada opposta: ridurre le differenziazioni.

Questo perché in una corretta ottica riduzionista, una volta associati i fondamenti semplici (atomo ed elemento), la loro composizione può e deve dare infiniti composti e molecole in quanto questi non sono concettualmente distinti dai miscugli e dagli aggregati e sono solamente le infinite situazioni concrete degli esperimenti a creare l'uno piuttosto che l'altro composto. È con la legge delle "proporzioni definite" (Proust, 1799) e quella delle "proporzioni multiple" (Dalton, 1808) che si pone un freno alla molteplicità dei composti, che ne sviliva anche il loro valore concettuale oltre che concreto. Da allora, la chimica ha sempre avuto a che fare con una miriade di soggetti differenti a cui attribuire proprietà e, in prima battuta, un nome che li identificasse. È il problema della nomenclatura, croce e delizia di tutti gli studi chimici, di assegnare cioè un nome a quella moltitudine di sostanze pure che al chimico servono come oggetto/soggetto di spiegazione del mondo materiale che ci circonda. Va senza altro notato che tale approccio chimico pur non essendo esclusivo, nel senso che non esclude altri approcci per lo studio di quel pezzo di realtà materiale, è esaustivo perché nessuna realtà materiale è fuori dal suo metodo d'indagine, non esiste cioè nessun oggetto materiale che non sia composto da sostanze chimiche.

I concetti di molecola e composto chimico sono, a nostra avviso, incomprensibili in una coerente ottica riduzionista e solo in un'ottica sistemica sono perfettamente integrati. In una corretta ottica riduzionista, infatti, nel mettere insieme dei componenti (gli atomi o gli elementi) non viene fuori niente di "nuovo", in quanto tutte le proprietà di tale entità si riducono a quelle dei costituenti e delle loro interazioni. In questa ottica, non può esistere nessun piano intermedio, concettualmente rilevante, tra il microscopico atomico e il macroscopico e, quindi, svanisce il concetto autonomo di "molecola". In un'ottica sistemica, invece, nel mettere insieme gli atomi si crea una nuova realtà strutturata/organizzata chiamata molecola (non a caso si introduce il concetto di struttura molecolare) ed emergono proprietà nuove, tipiche di questo ente (proprietà molecolari), non riconducibili direttamente a quelle atomiche e non completamente decomponibili su base atomica.

Ovviamente anche in altre discipline scientifiche, e nella biologia principalmente, era stata sempre presente un'importante componente non riduzionista. Il concetto di organismo è stato sempre un concetto sistemico in quanto è sempre stato evidente che un essere vivente fosse qualcosa in più delle parti che lo costituivano. La presenza, tuttavia, di una fisica riduzionista e di una biologia vitalistica, creava due riduzionismi differenti quello dell'inanimato (e fisico) e quello dell'animato (e biologico). A questi due poteva essere poi aggiunto il campo umano (e sociologico) per formare un quadro differenziato e unitario nello stesso tempo, ognuno con il suo stretto ambito di competenza, ma ognuno esaustivo in quel ambito. È con la chimica, non riducibile alla fisica, che si iniziano a moltiplicare le differenziazioni che diventano, di conseguenza, differenze epistemologiche e non separazioni assolute e ontologiche. Non è un caso che è proprio la chimica, con la sua "molteplicità", che diverrà un'ottima interfaccia tra il "semplice" mondo della fisica e il "complesso" e prorompente mondo della biologia.

### 3. Immagine scientifica del mondo

Nel corso del Novecento vi è stato un notevole cambiamento nell'immagine del mondo proposta dalla scienza. Non è solo questione di teorie nuove e sostanzialmente "difficili" da capire e da visualizzare, come la meccanica quantistica e quella relativistica, ma è venuta meno l'idea di base riduzionista della materia (inanimata, animata e umana). Questa idea, pur nella sua articolazione, prevedeva o un dualismo (che diveniva triade in presenza delle scienze umane, mai completamente assorbite nella famiglia scientifica) animato-inanimato o un monismo materialistico per cui tutto si riduceva ai componenti materiali e alle loro interazioni. L'eventuale monismo spiritualistico/idealistico, invece, era stato bandito dalla scienza moderna. L'immagine del mondo che viene fuori dalla complessità sistemica, invece, è quella di un mondo "pluralistico" fatto a strati in cui in ogni livello (detto di complessità) esistono degli enti composti che servono a spiegare gli eventi di quel livello di complessità. Non a caso si è inserita la precisazione di "compositi" per questi enti. Essi sono formati da componenti, assemblati insieme a formare un sistema complesso, con molte proprietà senz'altro dipendenti direttamente da quelle dei costituenti, ma anche con proprietà globali non attribuibili ai costituenti e tipiche dell'insieme. Ovviamente, nessuna proprietà di un sistema può contraddire le leggi a cui sono sottoposte le parti costituenti, ma questi vincoli sono necessari, ma non sufficienti a determinare le reali caratteristiche dei specifici sistemi. È questo che rende unico ogni agglomerato strutturato/organizzato di costituenti e si esprime in ambito chimico con il fatto che ogni tipo di molecola possiede un nome proprio ed è caratterizzata da sue specifiche proprietà. Ovviamente, tutti i livelli di complessità sono connessi, più o meno direttamente. Per esempio, il livello di complessità molecolare, tipico della chimica, è connesso al livello atomico (fisico) e a quello cellulare (biologico) e già abbiamo evidenziato la funzione che la chimica svolge verso questi due ambiti. È un po' come il modello delle matriske, dove indagando su una di esse si scopre sempre la presenza di un'altra più interna.

Nella nuova immagine della scienza un ruolo chiave è svolto dal concetto di "ambiente" poiché i sistemi sono aperti verso il "basso (dalla molecola all'atomo) e verso l'alto" (dalla molecola alla cellula), e, quindi, tale concetto diventa essenziale già nella stessa definizione di un sistema. Una teoria volta alla comprensione dei meccanismi di formazione ed evoluzione di questi sistemi complessi, quindi, non può 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 nel nostro sistema, ma che ha rilevanza, a volte vitale, per il sistema stesso. Una fondamentale caratteristica della definizione di ambiente è che

## Complessità sistemica

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. Parte del processo di descrizione scientifica sia del sistema sia dell'ambiente si riferisce proprio alla corretta individuazione del rapporto tra sistema e ambiente. 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 la si "trasforma" nella 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 e, quindi, in questo ambito quello che noi definiamo "ambiente" sarà un'entità condizionata dai "bisogni", dagli "stimoli" o dagli "obiettivi" dell'organismo e dell'apparato percettivo di questo ultimo<sup>7</sup>. In generale, un sistema è 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 struttura 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". Questo è evidente in biologia, ma è altrettanto utile in fisica e chimica.

Esistono due posizioni estreme per il rapporto tra sistema e ambiente: una posizione, che 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 qualifica in maniera diversa il ruolo dell'ambiente per il sistema. Tale scelta è spesso operata in maniera implicita e non chiarita e porta a notevoli differenziazioni anche tra gli scienziati e filosofi che lavorano sugli stessi argomenti con approcci sistemici, e qualche volta porta a sottostimare il ruolo che l'ambiente svolge per ogni sistema. Noi crediamo, invece, ad una notevole importanza della relazione sistema-ambiente perché è attraverso lo scambio con l'ambiente che il sistema complesso 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.

Un'ulteriore cosa da chiarire riguarda la divisione tra sistema e ambiente. Come detto, l'ambiente comprende gli oggetti e le trasformazioni che influiscono considerevolmente sul sistema 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 altrettanto 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 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 subisce la sua influenza.

Infine, accenniamo al problema dinamico della scala dei tempi in cui si studia un sistema in un ambiente. Questo aspetto importante meriterebbe ben più spazio di quanto se ne possa dare in questo contesto. Qui distinguiamo solamente la coppia concettuale sistema/ambiente rispetto ad 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. È quindi più facile scindere la coppia concettuale. In una trattazione dinamica, se i tempi interni al sistema e quelli dell'interazione sistema/ambiente sono comparabili, il sistema deve essere forzatamente studiato in rapporto con il suo ambiente, ossia in rapporto d'elezione reciproca. Bisogna ricordarsi che, 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 solo 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.

### 4. Cenni ai problemi di didattica della scienza

A questo punto dovrebbe essere evidente che, essendo cambiato l'immagine globale del mondo che viene fuori dalla scienza, tutti gli operatori scientifici devono riadattarsi a questa nuova situazione. Questo è problematico in ambito di ricerca, ma per la specializzazione spinta di molte di esse, l'immagine scientifica globale incide sono indirettamente.

Essa incide, per esempio, nel sapere che quando si studia un ente isolato, esso non esiste in natura e può essere, quindi, solo considerato un modello dell'ente reale, oppure nel sapere che una partizione nei costituenti di una proprietà globale (per esempio una carica molecolare o un orbitale molecolare nei costituenti atomici) non è mai univoca. Maggiori sono i problemi per la didattica (a tutti i livelli d'istruzione) della scienza in quanto uno dei compiti fondamentali di tale studio è anche quello di fornire un'immagine globale dell'universo che ci circonda. Se si adotta un'idea riduzionista della scienza, come generalmente viene fatto nelle scuole, si rischia di fornire un'immagine Ottocentesca di essa.

Uno dei problemi sia generali sia didattici legati alla nuova impostazione scientifica è quello del rapporto tra le singole discipline tra di loro e tra esse e l'interdisciplinarietà. Oggigiorno in ambito strettamente scientifico si sono verificati due fenomeni per certi versi opposti. Da un lato, lo specializzarsi sempre più del lavoro crea divisioni su divisioni portando alla nascita di sotto discipline scientifiche sempre meno ampie; dall'altro, alcuni campi di lavoro pretendono di essere nuove discipline, se non di sostituire del tutto le vecchie discipline. Esempi, noti anche al vasto pubblico, possono essere quelli di Scienza dei Materiali, Scienza Ambientale, ecc., campi in cui le vecchie discipline, quali fisica, chimica, biologia, ecc., entrano sicuramente in maniera determinante, ma mescolate in maniera tale che, secondo alcuni, sono praticamente fuse a creare qualcosa di nuovo.

La tesi riduzionista sul problema delle discipline scientifiche è semplice. La scienza è unica ed è quella d'impostazione meccanica che studia le leggi esistenti tra le particelle elementari. Se l'ottica è quella delle particelle elementari e loro interazioni, come non ha senso un autonomo piano molecolare (cellulare, ecc.), così non ha senso l'autonomia della chimica, della biologia, ecc. Al massimo, si può riconoscere una funzione pratica a tale discipline fino al momento in cui non sarà possibile operare *de facto* la riduzione al semplice di base. Il problema è che non si intravede facilmente il momento in cui tale riduzioni possa finalmente avvenire.

La tesi che viene fuori dall'ottica sistemica della scienza è, invece, che una disciplina scientifica non rappresenta una divisione arbitraria della scienza in funzione dell'argomento studiato, ma trattando prevalentemente uno specifico piano di complessità (che è comunque sempre correlato agli altri) studia enti irriducibili ai loro componenti e, quindi, essa non è riducibile. Inoltre, per la specificità di tali enti, ogni disciplina scientifica incorpora in sé un approccio, un modo tutto suo di studiare quel argomento. È questo approccio che differenzia le varie discipline, oltre che l'argomento di studio in sé. È, infatti, possibile trovare argomenti uguali studiati in modo diverso da varie discipline. D'altra parte, tutti i piani di complessità sono correlati e questo genera una interdisciplinarietà di quasi tutti i problemi studiati. In pratica, in una corretta ottica di complessità sistemica va sia evidenziato il ruolo disciplinare e il suo specifico approccio sia create le interconnessioni e esplicitata l'interdisciplinarietà. Questa ottica consente di capire l'importanza della divisione disciplinare della scienza, consente di sottolineare la non arbitrarietà di tale divisione e consente di respingere l'attacco odierno alle singole discipline scientifiche, considerate come dei reperti storici che, magari, hanno avuto una funzione in passato, ma che ora hanno esaurito il loro compito e sopravvivono solo come distinzioni in funzione di finanziamenti alla ricerca e posti di lavoro. Resta comunque aperto il problema di relazionare queste differenti discipline e farle lavorare insieme.

Un discorso articolato va fatto per l'aspetto disciplinare e interdisciplinare dell'insegnamento scolastico della scienza. Avendo evidenziato gli specifici approcci che le differenti discipline applicano alla realtà scientifica studiata, si può capire l'importanza di una visione diversificata in ambito didattico. Per esempio, se in una scuola superiore non venisse insegnata la chimica, verrebbe a mancare completamente l'approccio che differenzia qualitativamente non solo gli esseri viventi, ma anche la materia inanimata. Questa mancanza non solo porterebbe a lacune specifiche in ambito scientifico, ma comprometterebbe l'intera immagine del mondo elaborata dalla scienza, favorendo una netta separazione tra il mondo del "semplice" inanimato (fisica) e quello del "complesso" animato (biologia). Va tenuto presente che il compito di creare una corretta immagine globale del mondo può essere svolto solo dall'istituzione scolastica perché solo in essa si organizza e si propone una trattazione complessiva ed organica del sapere scientifico. Questo è un compito culturale cui gli insegnanti d'ambito scientifico non possono rinunciare, pena la perdita di valore generale per le loro discipline. In questo caso, le materie scientifiche insegnate diverrebbero solo dispensatrici di conoscenze "specialistiche" e facilmente si potrebbe far passare l'idea che tali materie sono "informative" non "formative". Inoltre, siccome tali informazioni specifiche sono "inutili" nella vita di tutti i giorni, la logica conseguenza sarebbe, nella migliore delle ipotesi, la riduzione dello spazio orario per le materie scientifiche e nella peggiore la loro completa eliminazione dal curriculum scolastico.

La scienza che viene fuori da questa discussione è intrinsecamente plurale. Questo significa che l'immagine del mondo che viene fuori dall'ambito scientifico si può ottenere solamente dopo una sintesi. Esiste la possibilità di favorire tale sintesi in ambito scolastico? È questo il ruolo che si dovrebbe ritagliare il confronto interdisciplinare. Ad oggi questo ruolo non è svolto che occasionalmente, ma io credo che uno spazio scolastico interdisciplinare in ambito scientifico va sostenuto e incentivato, ovviamente solo quando le basi disciplinare sono state già apprese.

Per concludere, più con domande che con risposte, questa nuova impostazione globale della scienza è recente e in piena evoluzione. È difficile, quindi, per la didattica presentare una nuova compiuta e coerente visione del mondo, ma possiamo restare legati alla visione ottocentesca riduzionista e semplice di impianto meccanico? Come portare problematicità nell'insegnamento scientifico, a tutti i livelli, senza creare confusione? È questo il compito che si trovano

## Complessità sistemica

davanti i docenti di scienze. Vi è, inoltre, come se non bastasse, un'ulteriore difficoltà. Tutti questi docenti sono stati formati da un'università in cui imperava l'impostazione ottocentesca e positivista, specialmente nelle cosiddette scienze hard, come fisica, chimica e biologia. Ristrutturare le conoscenze secondo il nuovo paradigma della complessità sistemica è un compito arduo, ma essenziale per recuperare attualità alla visione del mondo proposta e spazio culturale alle discipline scientifiche. Su questo ultimo punto vale la pena di soffermarsi un attimo. Come abbiamo mostrato nel paragrafo precedente, le scienze naturali o erano assolutamente distaccate dalle scienze umane come conseguenza delle separazioni assolute inanimato-animato-umano o riducevano tutto a materialismo. Ambedue queste ottiche svuotavano di fatto di valore umano, e quindi culturale, le specifiche leggi e proprietà studiate dalle scienze naturali. Solo in un'ottica in cui accanto all'autonomia, tipica di ogni livello di complessità, persiste, ed è ineliminabile, il collegamento con gli altri livelli, sono in questa ottica dove tutto è autonomo, ma interconnesso, si scopre l'intrinseco valore umano e culturale di tutti i sistemi complessi inanimati e animati che ci circondano e delle rispettive discipline scientifiche che li studiano.

### **Bibliografia**

1. G. Villani, *La chiave del mondo. Dalla filosofia alla scienza: l'onnipotenza delle molecole* (CUEN, Napoli, 2001).
2. G. Villani, *Complesso e organizzato. Sistemi strutturati in fisica, chimica, biologia ed oltre* (FrancoAngeli, Milano, 2008).
3. E. Morin, *Il metodo. La natura della Natura* (Raffaello Cortina, Milano, 2001), p. 171
4. E. Morin, *Il metodo. Ordine, disordine, organizzazione* (Feltrinelli, Milano, 1983), p. 134.
5. E. Morin, *ibid.*, p. 113.
6. A. L. Lavoisier, *Traité élémentaire de Chimie*, Traduzione italiana di Vincenzo Dandolo (1802), Volume 1°, Cap. 13.
7. H. A. Simon, *Psychological Review*, Vol. 63, 1956, p. 129, in *Teoria dei sistemi*, a cura di F. E. Emery, (Franco Angeli, Milano, 1994), p. 241.

# La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte. Parte II

Enrico Mansueti<sup>1</sup>

## **Riassunto**

*I sistemi adottati nella valutazione dell'attività laboratoriale spesso non sono efficaci per stabilire l'effettivo raggiungimento degli obiettivi di apprendimento. Molti di essi, e tra questi la relazione tradizionale, talvolta diventano il naturale sbocco di proposte didattiche improntate ad una concezione trasmissiva della conoscenza. Quale deve essere il ruolo della didattica laboratoriale nella scuola? Gli schemi di lavoro maggiormente adottati assegnano all'attività sperimentale una funzione verificativa subordinandola alla teoria. Con questo approccio si rischia però di trasmettere un'idea positivista del progresso del sapere scientifico; inoltre può crearsi nella mente dei giovani l'immagine di due discipline autonome, e il processo di costruzione della conoscenza diventa completamente avulso sia dalla realtà che dal contesto storico in cui il sapere scientifico si è sviluppato e si aggiorna. In questo contributo l'applicazione di una relazione semistrutturata permette di accertare non solo l'effettivo raggiungimento (o meno) degli obiettivi fissati ma anche (e soprattutto) la "consapevolezza obiettiva" di quanto è stato ottenuto da parte di ogni singolo studente mediante la sua partecipazione attiva.*

## **La relazione semistrutturata: Ricerca dei Perborati in uno sbiancante**

Nel caso di un'unità didattica, dove è necessario verificare tempestivamente che ciascun allievo abbia conseguito ogni singolo obiettivo, sembra più opportuno articolare la relazione di laboratorio in diversi quesiti semi-strutturati. La proposta presentata nelle pagine seguenti vuole mostrare come la relazione semistrutturata possa essere un procedimento di valutazione in grado di appurare con certezza l'effettivo raggiungimento degli obiettivi di apprendimento.

Di seguito viene riportata una relazione con questa struttura, riguardante la ricerca di perborati in uno sbiancante.

Ogni domanda che compone questa prova è composta da: 1) uno *stimolo chiuso*, 2) che presenta determinati *vincoli prescrittivi*, 3) seguito da una *risposta criterio*, 4) che permette di *attribuire un punteggio* alle prestazioni degli studenti.

## Presentazione della prova e dei relativi vincoli<sup>2</sup>

Questo lavoro deriva da un intervento didattico destinato ad una terza classe di un Istituto Tecnico Industriale a indirizzo chimico che è costituito: 1) da lezioni frontali riguardanti la composizione e i rischi (per l'ambiente e per la salute) delle sostanze presenti generalmente nei detersivi sintetici, 2) dall'illustrazione dell'esperienza pratica di laboratorio, 3) dall'esecuzione della stessa a cura degli allievi (titolazione permanganometrica dell'acqua ossigenata liberata dalla reazione di una soluzione del campione in esame con l'acido solforico).

La prova di valutazione è proposta a conclusione del lavoro di laboratorio con lo scopo di verificare il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- 1 saper individuare le sostanze presenti in un detersivo sintetico che presentano rischi per la salute e per l'ambiente in generale;
- 2 saper elencare questi rischi;
- 3 saper enunciare le definizioni fondamentali in merito alle reazioni di ossidoriduzione;
- 4 saper svolgere le operazioni relative alle reazioni di ossidoriduzione;
- 5 sapere enunciare i principi generali della permanganometria;
- 6 saper riprodurre correttamente le applicazioni pratiche della permanganometria in laboratorio, con particolare riguardo alla ricerca dei Perborati in uno sbiancante (facendo attenzione agli aspetti legati alla sicurezza);
- 7 saper rielaborare in modo sintetico i risultati dell'attività laboratoriale.

Per la valutazione è stata prevista la relazione di laboratorio (figura 1) impostata come prova semistrutturata. Il tempo a disposizione degli studenti per rispondere alle diverse domande è di un'ora.

1. e-mail: enrico.man@libero.it. Parte dei contributi e delle riflessioni alla base di questo articolo si trovano nel volume: *Verifica e valutazione dei processi formativi, Quaderni della SSIS Lazio 1*, Edizioni Nuova Cultura, di: D. Arnold, G. Benvenuto, M. Fabbri, A. Giacomantonio, E. Mansueti, L. Morichelli e S. Pozio.

2. Per maggiori dettagli sulla prova in oggetto il riferimento è all'autore dell'articolo.

## La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte

Classe: III __	Data: ___ / ___ / ___
Nome e cognome: _____	
<b>Titolo:</b> Bisogna fornire in <u>massimo due righe</u> un'indicazione sintetica dell'oggetto e delle modalità di analisi.	
<b>Introduzione:</b> <u>In numero di righe compreso tra 5 e 10</u> , bisogna elencare: 1) le sostanze presenti nei detersivi sintetici, 2) i rischi che queste comportano per l'ambiente e la salute.	
<b>Metodo:</b> <u>In un numero di righe compreso tra 10 e 20</u> , bisogna: <ol style="list-style-type: none"><li>scrivere le reazioni di ossidoriduzione implicate curandone:<ol style="list-style-type: none"><li>l'individuazione;</li><li>il bilanciamento.</li><li>l'identificazione dell'ossidante e del riducente.</li></ol></li><li>fornire una definizione di ossidante.</li><li>fornire una definizione di riducente.</li><li>indicare il ruolo dell'Acqua Ossigenata<ol style="list-style-type: none"><li>nella prima reazione</li><li>nella seconda reazione</li></ol></li><li>indicare i rischi e le accortezze d'uso associate a:<ol style="list-style-type: none"><li>acido solforico</li><li>permanganato di potassio</li></ol></li></ol>	
<b>Risultati:</b> <u>In un numero di righe compreso tra 5 e 15</u> , bisogna: <ol style="list-style-type: none"><li>indicare il risultato numerico delle operazioni eseguite;</li><li>illustrare in modo analitico le operazioni che sono state svolte;</li><li>commentare le titolazioni effettuate.</li></ol>	
<b>Discussione critica/conclusioni:</b> <u>In un numero di righe compreso tra 10 e 20</u> , bisogna: <ul style="list-style-type: none"><li>confrontare i valori ottenuti con quelli riportati sull'etichetta del detersivo esaminato e commentare i risultati della comparazione;</li><li>proporre quali sbiancanti si possono utilizzare in alternativa ai perborati;</li><li>proporre metodologie di analisi alternative a quelle svolte.</li></ul>	

**Figura 1: Scheda presentata agli studenti per la redazione della relazione di laboratorio.**

Come si vede, la prova (a cui vanno allegati almeno due fogli di risposta che in questa sede si omettono per ovvi motivi) è costituita da un insieme di quesiti semi-strutturati ciascuno dei quali è composto da:

- uno stimolo chiuso (come, ad esempio, indicare qual è il ruolo dell'acqua ossigenata [...])
- un vincolo prescrittivo di carattere formale (in un numero di righe compreso tra 5 e 15) e sostanziale (indicare qual è il ruolo dell'acqua ossigenata nella prima e nella seconda reazione)<sup>3</sup>.

Ogni domanda prevede una risposta aperta; di seguito forniamo le risposte tipo e indichiamo il punteggio che potrebbe essere attribuito alle risposte degli studenti.

Risposte tipo e attribuzione dei punteggi

### **Titolo:**

Deve indicare l'analisi effettuata (ad esempio *Determinazione permanganometrica di Percomposti in uno sbiancante* o titolo simile)

Viene attribuito 1 punto se la risposta è soddisfacente, 0 in caso contrario.

<sup>3</sup> I vincoli formali rappresentano un adattamento di quelli proposti da R. Corasaniti, *Relazioni di laboratorio*, in G. Domenici (a cura di) *Le prove semistrutturate di verifica degli apprendimenti*, Torino, UTET, 2005.

**Introduzione:**

È richiesto:

1) *Un elenco descrittivo delle sostanze generalmente presenti nei detersivi sintetici (quelle che presentano particolari rischi per l'ambiente e la salute)*

Risposte tipo:

1. Perborati (derivati dell'Acido bórico);
2. Fosfati;
3. Sbiancanti ottici;
4. Candeggianti al Cloro;
5. Citrati e Fosfonati, detti sequestranti in quanto hanno la funzione di sequestrare il calcare;
6. Additivi vari fra cui Carbonati e Sodio Solfato.

Vengono attribuiti: 6 punti se l'elenco richiesto è completo, altrimenti 1 punto per ogni sostanza dell'elenco presente; 0 punti se nessuna risposta è stata fornita. Non si attribuisce nessuna penalizzazione all'introduzione di elementi non presenti nell'elenco.

2) *Rischi di queste sostanze per l'ambiente e la salute.*

Risposte tipo:

1. Perborati: irritanti per le mucose e nocivi per ingestione.
2. Fosfati: attualmente proibiti per legge in quanto sono tra le cause dell'eutrofizzazione delle acque.
3. Sbiancanti ottici: tingono le stoffe e sono inquinanti.
4. Candeggianti al Cloro: sono cancerogeni se dispersi nell'ambiente.
5. Citrati e Fosfonati: sono poco biodegradabili.
6. Carbonati e Sodio Solfato: nuocciono gravemente all'ecosistema delle acque dolci.

Vengono attribuiti: 6 punti se l'elenco richiesto è completo, altrimenti 1 punto per ogni sostanza dell'elenco presente; 0 punti se nessuna risposta è stata fornita. Non si attribuisce nessuna penalizzazione all'introduzione di elementi non presenti nell'elenco.

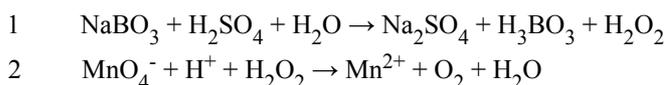
**Metodo:**

Si richiedono:

1) *Per le reazioni di ossidoriduzione implicate*

a) *Individuazione*

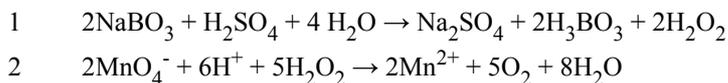
Risposte tipo:



Si attribuisce 1 punto per ognuna delle reazioni elencate correttamente, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

b) *Bilanciamento*

Risposte tipo:



Si attribuiscono 2 punti per ognuna delle reazioni elencate (si assegna un punto se sono presenti errori stechiometrici), 0 punti in caso di risposta mancante o completamente errata.

c) *Indicazione dell'ossidante e del riducente*

Risposte tipo:

1. Nella reazione considerata  $\text{H}_2\text{O}_2$  è un riducente.
2. Nella reazione considerata  $\text{MnO}_4^-$  è un ossidante.

La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte

Si attribuisce 1 punto per ognuna delle risposte elencate, 0 punti in caso di risposta mancante.

2) *Spiegazione di cosa si intende per ossidante*

Risposta tipo:

Un ossidante è una sostanza che acquista elettroni.

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

3) *Spiegazione di cosa si intende per riducente*

Un riducente è un sostanza che cede elettroni

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

4) *Ruolo dell'Acqua Ossigenata*

a) *nella prima reazione considerata.*

Risposta tipo:

Nella reazione considerata l'acqua ossigenata si libera in quantità equimolecolare rispetto al perborato presente e perciò ne permette la determinazione

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

b) *nella seconda reazione*

Risposta tipo:

L'acqua ossigenata riduce il permanganato

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

5) *Rischi delle sostanze impiegate con accortezze particolari da seguire:*

Risposte tipo:

a) Acido Solforico:

Corrosività (R35: provoca gravi ustioni).

Irritante per le vie respiratorie (R37).

Rischio di reazioni violente quando messo a contatto con Acqua (R 14).

Si attribuisce 1 punto per ognuna delle risposte elencate, 0 punti per ogni risposta mancante.

b) Permanganato di Potassio (KMnO<sub>4</sub>):

Nocivo per ingestione (R 22).

Può provocare l'accensione di materie combustibili (R 8).

Si attribuisce un punto per ognuna delle risposte elencate, 0 punti per ogni risposta mancante.

**Risultati:**

Si richiedono:

1) *Il valore numerico relativo ai grammi assegnati nel campione da analizzare*

Alla risposta fornita (il valore numerico) si attribuisce il punteggio indicato nella seguente griglia di correzione (tabella 1)<sup>4</sup>:

4. L'uso di una tale griglia è giustificato dalla comune prassi scolastica (secondo cui un errore entro lo 0,4% è considerato fisiologico e non facilmente riducibile, mentre uno scarto oltre il 3% indica un errore sostanziale).

Tabella 1: Griglia di correzione del valore numerico ottenuto alla fine delle titolazioni.

Scarto % (+/-)	Giudizio	Valore assegnato
0-0,4	Ottimo	8
0,5-0,9	Buono	7
1,0-1,9	Discreto	6
2,0-2,9	Sufficiente	5
3,0-3,9	Insufficiente	4
4 e oltre	Gravemente insufficiente	3
Nessun risultato	Non classificato	0

2) I calcoli con spiegazione particolareggiata delle operazioni eseguite.

Data la natura sperimentale e soggettiva del punto in questione elaborare una risposta tipo non è semplice. Si ritiene opportuna in tal senso una digressione sull'operato dell'insegnante.

Si suppone la determinazione del Perborato di Sodio ( $\text{NaBO}_3$ ), da un campione (preparato dall'insegnante) con concentrazione pari a 2,14 eq/L (87,5367 g/L).

Poiché è corretto impostare il lavoro in modo che gli allievi utilizzino dai 30 ai 40 ml di Permanganato di Potassio 0,1 N, è necessario calcolare la quantità di campione che gli allievi devono prelevare per ogni singola prova.

$$30 \text{ ml} * N (\text{KMnO}_4) = y \text{ ml} * 2,14 (\text{N H}_2\text{O}_2)$$

$$y = 30 * 0,1 / 2,14 = 1,4 \text{ ml (quantità minima)}$$

$$40 \text{ ml} * N (\text{KMnO}_4) = z \text{ ml} * 2,14 (\text{N H}_2\text{O}_2)$$

$$z = 40 * 0,1 / 2,14 = 1,9 \text{ ml (quantità massima)}$$

È opportuno effettuare almeno tre prove di titolazione, per cui è bene che l'insegnante assegni come campioni da analizzare aliquote vicine al valore di 9 ml, per farli portare successivamente a volume con acqua distillata in un matraccio tarato (250 ml).

A questo punto si prelevano 50 ml di tale soluzione, si pongono in una beuta diluendoli con acqua distillata fino a circa 200 ml e si aggiungono di  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (15 ml al 20 %, goccia a goccia); si prosegue titolando con  $\text{KMnO}_4$  fino a colorazione rosa persistente.

Vediamo a questo punto un esempio pratico relativo all'allievo a cui è stato assegnato il campione di 9 ml.

Supponendo che lo studente usi per le tre titolazioni un volume medio di 36,00 ml di  $\text{KMnO}_4$  0,1000 N, svolgendo i calcoli correttamente si otterrebbe:

$$\text{I Passaggio di calcolo: eq KMnO}_4 = \text{eq H}_2\text{O}_2 = \text{eq NaBO}_3$$

$$36,00 * 0,1000 / 1000 = 0,0036 \text{ eq H}_2\text{O}_2 = \text{eq NaBO}_3$$

Commento tipo:

L'Acqua ossigenata liberata reagisce in modo stechiometrico con il Permanganato di Potassio

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

$$\text{II Passaggio: } 0,0036 * 5 = 0,0180 \text{ eq} / 250 \text{ ml}$$

Commento tipo:

Gli equivalenti di Permanganato utilizzati vanno moltiplicati per 5 a motivo del fatto che si titola un'aliquota pari a 1/5 del campione.

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

$$\text{III Passaggio di calcolo (e valore ottenuto): } 0,0180 * \text{PE} (40,905) = 0,73629 \text{ g}$$

## La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte

Commento tipo:

gli equivalenti trovati si moltiplicano per il peso equivalente del perborato (corrispondente al peso molecolare/2, a motivo degli elettroni scambiati)

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

NOTA

La quantità di campione fornita dall'insegnante era tale però da contenere:  
 $2,14 \times 9/1000 = 0,01926$  equivalenti pari a  $(0,01926 * 40,905) = 0,7878$  g

Il risultato ottenuto sarebbe quindi affetto da un errore (in difetto) pari a :

$$(0,7363 - 0,7878) \times 100 = - 5,15 \%$$

Un tale dato corrisponde al giudizio gravemente insufficiente della griglia di correzione adottata. Tale giudizio va a incidere con il valore 3 nello schema, illustrato in seguito, della relazione semistrutturata (al criterio **Valore numerico**, all'interno del punto *Risultati*)

### 3) *Commenti relativi alle diverse titolazioni effettuate*

Risposte tipo:

Ho scartato il valore del volume utilizzato nella prima prova perché la considero poco accurata (ho proceduto in modo veloce per avere un'idea approssimata del punto di viraggio, per cui credo di aver superato il punto di equivalenza).

Oppure:

Considero le titolazioni Numero x e Numero y particolarmente significative in quanto mi pare di aver lavorato molto bene (per cui imposto i calcoli sulla media dei volumi utilizzati in queste prove)

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

### **Discussione critica**

È questa la parte in cui l'allievo è chiamato a interrogarsi sul significato dei risultati ottenuti. In questa fase possono essere formulati suggerimenti o ipotesi per nuovi esperimenti. In un'analisi come quella proposta la discussione verterà principalmente su:

#### 1) *Dato quantitativo ricavato alla fine della prova in laboratorio*

Risposta tipo:

Il valore ottenuto (non) potrebbe corrispondere effettivamente ai dati riportati sull'etichetta del prodotto X

Si attribuisce 1 punto se la risposta è soddisfacente, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

#### 2) *Proposta di sostanze alternative (come sbiancanti, rispetto ai perborati)*

Risposta tipo: Cloro attivo

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

#### 3) *Proposta di metodi analitici alternativi*

Risposta tipo: Via iodometrica

Si attribuisce 1 punto se la risposta è corretta, 0 punti in caso di risposta mancante o errata.

Vantaggi del sistema proposto

La tabella seguente mette in relazione alcuni obiettivi didattici (prima colonna - *Obiettivo*) con le relative sezioni che costituiscono la relazione di laboratorio (seconda colonna - *Sezione*). È possibile così al contempo l'attribuzione e il calcolo dei punteggi raggiunti su ogni singolo obiettivo (colonne denominate *Stud. 1*, *Stud. 2*, ecc). La stima circa il

raggiungimento o meno, viene fatta in base ad una soglia minima stabilita per ogni obiettivo (quarta colonna - *valore soglia*). Nell'ultima colonna (denominata *Tot. Stud.*) si inserisce il numero degli studenti che hanno un punteggio superiore al valore soglia. Per completezza si indica anche quali sono il punteggio minimo e quello massimo conseguibile per ciascun traguardo didattico (terza colonna - *Campo di variazione dei punteggi*).

Nell'attribuzione dei punteggi un grande rilievo è stato dato al valore numerico fornito dall'allievo, in quanto a parere di chi scrive il criterio relativo ai calcoli deve avere un'importanza maggiore degli altri; infatti il dato fornito dallo studente non sarà solo il risultato dell'applicazione più o meno corretta di formule matematiche e di procedure di calcolo (e quindi di una sola fase), ma sarà invece prodotto da tutta una serie di aspetti derivanti dai diversi passaggi effettuati nel corso del lavoro che non sempre è possibile per l'insegnante osservare, valutare e correggere al momento. Se pensiamo ad esempio all'attenzione prestata alla preparazione della vetreria, possiamo facilmente intuire che nel caso di un avvinamento della buretta poco accurato si pregiudicherà certamente la correttezza del dato finale.

L'esame della relazione semistrutturata prodotta probabilmente ci porrà di fronte a corrette procedure di calcolo con un valore finale lontano però dal vero. Sarà importante a questo punto la procedura di feedback per capire insieme all'allievo dove è stato commesso l'errore. Se ad esempio non sono stati fatti i canonici tre avvinamenti ma uno soltanto, alla fine si userà un volume di permanganato maggiore del dovuto; se è stata omessa la fase di diluizione del campione da titolare, probabilmente non si apprezzerà in tempo il viraggio e si supererà il punto di equivalenza. Talvolta accade che con il permanganato si commettano errori nel portare a volume la buretta (a causa del colore viola della sostanza), per cui può accadere di riempirla oltre lo "zero" (con conseguente errore in difetto, perché il volume realmente utilizzato sarà maggiore di quello che pensiamo).

Può avvenire che i calcoli siano sbagliati a causa di un non corretto bilanciamento delle reazioni coinvolte o, peggio, di una errata individuazione delle stesse; del resto sono note le diverse "opzioni reattive" del permanganato in funzione del pH, (da non dimenticare neanche il fatto che l'Acqua ossigenata è generalmente nota come un ossidante: i perborati si usano nei detersivi sintetici proprio perché, grazie all'acqua ossigenata liberata, hanno la capacità di "ossidare" e smacchiare, in contrasto con quanto avviene invece nel procedimento analitico in esame). In questo caso è più che probabile che l'errore (o gli errori) emerga nettamente nella sezione riservata al "metodo" (paragrafi relativi all'individuazione delle reazioni coinvolte e all'indicazione dell'ossidante e del riducente).

Gli esempi appena formulati forniscono suggerimenti in merito al carattere dettagliatamente informativo della relazione semistrutturata, che può risultare essenziale come strumento di *feedback*, perché permette sia al docente che all'allievo di capire dove è stato commesso l'errore, e in tal modo l'eventuale programmazione delle attività di recupero verrebbe supportata da indicazioni precise.

Il modello di valutazione rappresentato nella tabella 2 potrebbe aiutare nel processo di *feedback* sia l'allievo che l'insegnante; troppo spesso gli studenti ricevono insieme al giudizio vaghe esortazioni rivolte verso un'evoluzione positiva dei propri risultati nella forma "devi impegnarti di più", oppure "puoi fare meglio la prossima volta". Per un docente alle prese con classi di 26 alunni è difficile (talvolta oggettivamente impossibile) illustrare agli allievi gli errori commessi, motivare in maniera analitica il giudizio e al contempo indicare la strada più opportuna per migliorarsi. Un sistema come quello proposto permette:

1. allo studente di sapere con precisione quali obiettivi ha raggiunto e quali non ha conseguito; l'insegnante può così indicare con precisione all'allievo le eventuali attività che deve svolgere per colmare le lacune;
2. al docente di riflettere sulle attività didattiche che sono state proposte al fine di formulare ipotesi sulla loro adeguatezza e sui motivi che ne hanno influenzato l'efficacia; contemporaneamente le informazioni trattate nel modo proposto sono utili per programmare le attività di recupero e, nel migliore dei casi, per definire meglio le future proposte didattiche.

### **Il laboratorio: un luogo o un momento?**

La relazione di laboratorio presentata permette al docente di verificare se gli obiettivi della relativa unità didattica sono stati conseguiti da ciascun alunno, e perciò consente l'operazione di *valutazione* intesa nella sua accezione ristretta.

A volte si accerta il conseguimento di un obiettivo per mezzo di un solo quesito<sup>5</sup>. In queste situazioni è buona regola chiedersi se la *misura che si ottiene è attendibile*. Rilevare le informazioni necessarie esclusivamente per mezzo di un quesito dicotomico (come un vero/falso) potrebbe essere insufficiente: ogni studente, infatti, ha il 50% delle possibilità di rispondere correttamente affidandosi al caso. Se, invece, poniamo un quesito semi-strutturato cresce la probabilità dell'insegnante di ricevere un'informazione di ritorno affidabile. Possiamo valutare il conseguimento di un obiettivo per mezzo di un solo quesito, ma bisogna porre molta attenzione alle caratteristiche dello stesso obiettivo (ovvero, al suo contenuto ed alle capacità intellettuali che presume siano acquisite) ed alla struttura dell'*item* che si utilizza a tale scopo. Al fine di ottimizzare il tempo disponibile, però, potremmo adottare un sistema di valutazione che ci consenta di verificare il conseguimento di ogni singolo traguardo didattico.

5. Vedi, a titolo esemplificativo, il primo obiettivo.

## La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte

**Tabella 2:** Corrispondenza tra obiettivi didattici, sezioni della prova, campo di variazione dei punteggi, standard e punteggi di ogni singolo studente

Obiettivo	Sezione	Campo di variazione dei punteggi	Valore soglia	Stud. 1	Stud. 2	...	Stud. n	Tot. stud.
Saper individuare le sostanze presenti in un detersivo sintetico che presentano rischi per la salute e per l'ambiente in generale	Introduzione (item 1)	Da 0 a 6	4					
Saper riprodurre correttamente le applicazioni pratiche della permanganometria in laboratorio, con particolare riguardo alla ricerca dei Perborati in uno sbiancante (facendo attenzione agli aspetti legati alla sicurezza).	Metodo	Da 0 a 17	Si richiede anche un minimo di 5 (giudizio sufficiente) sul valore numerico ottenuto con i calcoli alla fine delle titolazioni (il giudizio si ricava dalla griglia che considera lo scarto).					
	Risultati	Da 0 a 12						
	Totale: da 0 a 29							
Saper rielaborare <i>in modo sintetico</i> i risultati dell'attività laboratoriale	Titolo	Da 0 a 1	5 (Questo obiettivo deve essere necessariamente raggiunto)					
	Introduzione	Da 0 a 1						
	Metodo	Da 0 a 1						
	Risultati	Da 0 a 1						
	Discussione critica	Da 0 a 1						
	Totale: da 0 a 5							

Supponendo che ad ogni obiettivo corrisponda un certo numero di quesiti e, quindi, un determinato campo di variazione dei punti ottenibili e stabilendo che un valore compreso in questa scala rappresenta la soglia minima di accettabilità (al di sopra della quale l'obiettivo può considerarsi raggiunto), la valutazione del conseguimento di ogni singolo traguardo si traduce nel semplice confronto tra il valore soglia ed il punteggio ottenuto da ciascuno studente. Nel lavoro proposto è chiaramente esemplificato un sistema di valutazione di questo tipo. La validità di altri metodi di valutazione dell'attività laboratoriale è indiscussa, ma credo che questa proposta operativa possa incontrare l'interesse di quei docenti interessati alla costruzione di apprendimento significativo, verificabile solo attraverso la formulazione di un giudizio aderente alla realtà. È evidente che in questo contributo l'azione degli studenti è a carattere osservativo-riproduttiva: attraverso la manipolazione, gli studenti riescono ad acquisire concetti, schemi mentali e operativi che difficilmente padroneggerebbero se gli interventi didattici si limitassero alle lezioni frontali ed allo studio individuale.

Limitare gli allievi ad esercitazioni ed esperienze a carattere riproduttivo (o, peggio, osservativo) che ben poco hanno in comune col modo di procedere della scienza (basato su ipotesi, prove, verifiche, confutazioni) è però cosa ben diversa dal proporre attività realmente sperimentali, in cui gli allievi devono formulare ipotesi che rappresentano la potenziale soluzione di un problema e tentare di falsificarle è comunque indispensabile al fine di impedire che gli studenti acquisiscano un'idea positivista del progresso del sapere scientifico. Non esiste osservazione "neutrale", anche se in buona parte degli studi epistemologici contemporanei si immagina la conoscenza scientifica come un sapere fondato sul metodo ipotetico-deduttivo, fortemente condizionato dal contesto storico in cui si sviluppa<sup>6</sup>; neanche possiamo contribuire ad affermare un'immagine della scienza dogmatica poiché la pedagogia dell'osservazione evita accuratamente ogni ipotesi, discussione e verifica sperimentale, ritenute troppo al di là delle competenze dei ragazzi. La formazione di uno spirito critico realmente democratico esige quindi, da un lato, il superamento di una visione obsoleta della scienza da parte degli insegnanti e, dall'altro, «la pratica, a scuola, del vero metodo scientifico»<sup>7</sup>.

Il laboratorio è *un momento* fondamentale per la costruzione della conoscenza e non *un luogo* per la verifica sperimentale di ipotesi precedentemente formulate, perché permette di avvicinarsi alla cultura scientifica dandone una visione obiettiva e ravvicinata. I risultati più evidenti di un metodo di insegnamento trasmissivo e dogmatico si esprimono soprattutto nel metodo di lavoro adottato dagli studenti, quando essi vanno alla ricerca delle *parole che l'insegnante vuole*. L'attività di laboratorio presenta criticità organizzative non facilmente risolvibili (adeguatezza delle attrezzature e del migliore raccordo tra colleghi in primo luogo), e problemi per ciò che concerne la sicurezza; il docente di una disciplina scientifica dovrebbe però valutare i lavori prodotti dagli allievi non soltanto a livello della singola unità

6. Kuhn T.S., *Logica della scoperta scientifica. Il carattere autocorrettivo della scienza*, Torino, Einaudi, 1970.

7. Legrand L., *Politiche dell'educazione*, Roma, Anicia, 2000.

didattica, modulo o prova sperimentale ma è tenuto a *pesare* tutta l'attività svolta, e non solo parte di essa (nelle scuole in cui teoria e pratica diventano *disciplina unica* solo al secondo quadrimestre<sup>8</sup> si è chiamati ad esprimere giudizi sul lavoro in laboratorio, magari dopo aver delegato per tutto l'anno l'insegnante tecnico-pratico; è frequente allora il caso di docenti che, di fronte a medie finali con risultato "decimale", decidono di "togliere di qua e compensare di là" con criteri sicuramente molto aritmetici, ma che esprimono poco relativamente alla preparazione di ogni singolo allievo). Soprattutto è difficile scorgere in tali prassi quella filosofia e quei dati critici di cui anche al Congresso<sup>9</sup> è stata ribadita l'importanza affinché l'attività di insegnamento sia visibile e documentata attraverso manufatti, per essere rivista criticamente e valutata dai nostri colleghi (peer review)<sup>10</sup>; la documentazione è necessaria affinché altri membri della comunità possano usare, arricchire e sviluppare, in modo analogo a ciò che succede con le scoperte della ricerca<sup>11</sup>. *Un giudizio, un voto hanno senso e significato solo se contribuiscono a chiarire dal punto di vista valutativo la situazione degli apprendimenti conseguiti e a indicare le modalità per migliorarla*<sup>12</sup>.

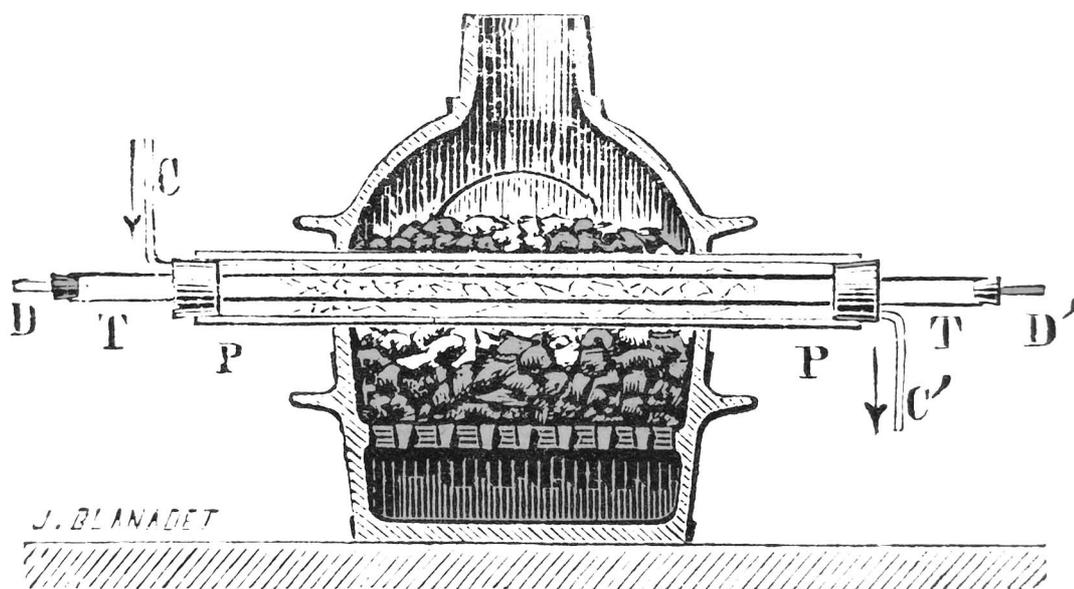
8. E' per esempio il caso del biennio degli Istituti tecnici industriali.

9. L. Cardellini: *SoTL: L'eccellenza è possibile*, Atti del XV Congresso Nazionale di Didattica Chimica, Genova, Dicembre 2007.

10. L.S. Shulman, *Teaching as Community Property: Putting an End to Pedagogical Solitude*, Change, 1993.

11. L.S. Shulman, *Taking Learning Seriously*, Change, 1999.

12. G. Benvenuto, *Mettere i voti a scuola*, Carocci Editore, Roma, 2003



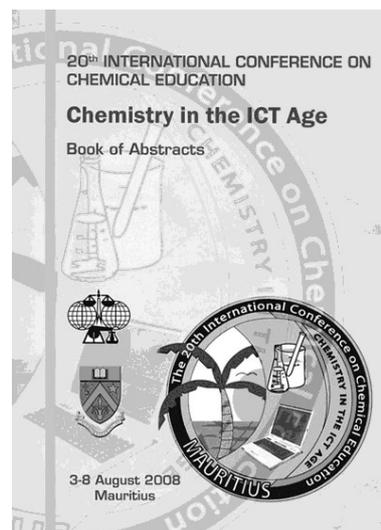
Dissociation de la vapeur d'eau dans un tube de porcelaine poreuse.

# 20<sup>th</sup> International Conference on Chemical Education (ICCE)

Mauritius, 3 – 8 agosto 2008

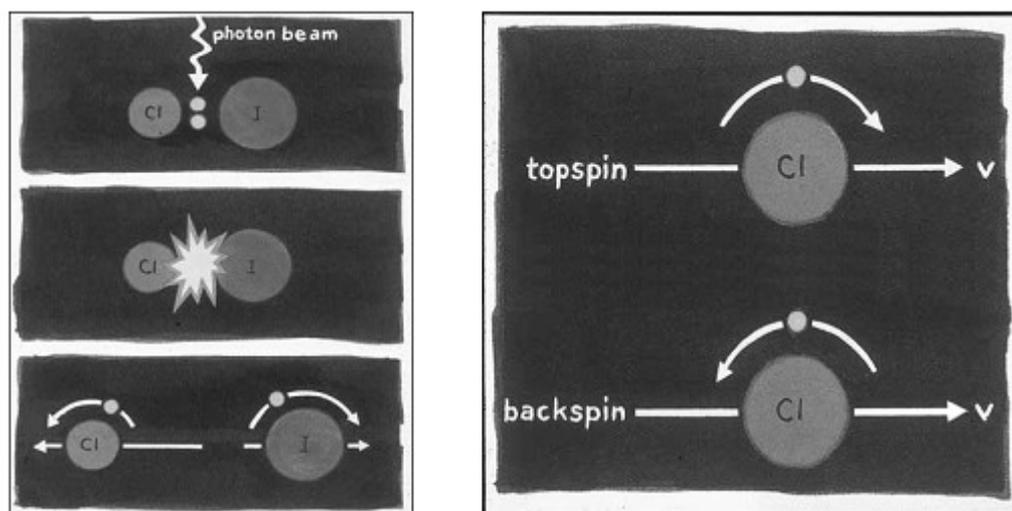
**Liberato Cardellini**

*Dipartimento di Idraulica, Strade, Ambiente e Chimica, Via Breccia  
Bianche, 60131 Ancona  
libero@univpm.it*



La 20<sup>a</sup> ICCE incentrata sul tema “Chemistry in the Information and Communications Technology (ICT) Age” si è svolta nel centro congressi di un prestigioso albergo in riva al mare in Pointe aux Piments, una delle belle spiagge dell’isola Mauritius. Come ha sottolineato alla fine del congresso Peter Mahaffy, presidente del Committee on Chemistry Education (CCE) della IUPAC, in questo congresso è stato messo alla prova l’interesse dei partecipanti verso la didattica della chimica, in quanto le conferenze erano sempre affollate, nonostante il richiamo della spiaggia o di qualche splendida piscina. Cosa di così interessante veniva detto dai relatori?

Il congresso è per me iniziato la domenica mattina del 3 agosto con la riunione del CCE, dove tra i vari punti in discussione sono state considerate le candidature per la conferenza ICCE del 2012, e a questo riguardo l’Italia è in ottima considerazione. Alla sera ci siamo spostati nel luogo previsto per il benvenuto e ci è stato offerto uno spettacolo di sega, che consiste di musiche e danze tradizionali. Il lunedì la conferenza è stata aperta dal Prof. Ponnadurai Ramasami, presidente del comitato organizzatore e dopo i saluti delle autorità, il Prof. Roald Hoffmann, premio nobel per la chimica nel 1981, ha presentato “Chemistry’s Essential Tensions: Different Ways of Looking at Science”. In modo accattivante ha presentato le molte tensioni (statica-dinamica, sintesi-analisi, macro-micro, creazione-scoperta, simbolico-iconico, semplice-complesso) che rendono la chimica dinamica e viva attraendo la nostra attenzione e il nostro interesse. La chimica riguarda prima di tutto le molecole e la possibilità e l’arte della loro trasformazione. Come mai in passato ora è possibile spingere la nostra indagine ai dettagli microscopici e per dimostrare questo punto ha riportato alcuni risultati ottenuti dal Prof. Richard Zare dell’Università di Stanford [1, 2]:



Quando la molecola biatomica ICl, che è una via di mezzo tra cloro, Cl<sub>2</sub>, e iodio, I<sub>2</sub>, assorbe la luce, la radiazione fa oscillare gli elettroni dell’ICl. Normalmente queste oscillazioni hanno la stessa simmetria della molecola, ovvero, l’oscillazione ha luogo o lungo il legame o ad un angolo retto rispetto al legame. Ciò che Richard Zare e collaboratori hanno trovato è che l’eccitazione della nube elettronica è uno stato confuso nel quale la nube elettronica oscilla contemporaneamente sia lungo l’asse del legame che ad un angolo retto rispetto al legame a causa degli effetti di interferenza quantistica alla lunghezza d’onda usata nel loro studio.

Il risultante moto dell'elettrone è una circolazione (elicità) il cui senso di rotazione dipende dal modo in cui i due differenti moti oscillanti sono combinati quando la molecola si spezza in Cl e I. I frammenti atomici conservano la memoria di questa interferenza nel topspin (gli elettroni ruotano nello stesso senso del movimento dell'atomo) o nel backspin (gli elettroni ruotano nel senso opposto del movimento dell'atomo).

Il lavoro del chimico contiene forti elementi di creazione e sintesi, un processo simile a quanto avviene nelle arti e per argomentare su questo punto è ricorso ad un quadro del 1570 di Jan van der Straat, detto Giovanni Stradano, commissionato da Lorenzo dei Medici e che si trova a Palazzo Vecchio in Firenze. Ha concluso notando che la chimica è cambiamento e il cambiamento ha sempre due facce: così la chimica salva la vita, ma inquina.



**Loretta Jones e Roald Hoffmann**

Il Prof. Peter Mahaffy ha presentato “Communicating the Chemistry of Climate Change with ICT and Paraffin”: un progetto didattico in cui la chimica viene utilizzata per comprendere i cambiamenti nel clima. Che la chimica abbia una sua importanza nei cambiamenti climatici si comprende facilmente considerando che una parte del problema si origina nelle interazioni delle radiazioni elettromagnetiche con le molecole. Molte delle spiegazioni fondamentali che riguardano i cambiamenti climatici hanno a che fare con la comprensione delle interazioni tra sostanze invisibili e radiazioni elettromagnetiche anch'esse invisibili. Questo progetto è stato originato da uno studio sulle conoscenze degli studenti riguardo i cambiamenti climatici e da questo studio è risultato che molte concezioni erano deboli o sbagliate. La chimica viene utilizzata per la comprensione di molti dati bibliografici, avvenimenti, tendenze e modelli climatici e fatti come l'effetto serra, la morte delle

piante nella British Columbia per milioni di ettari ed altri eventi. Il ghiaccio che brucia, clatrati contenenti metano idrato, potrebbe essere usato per intrappolare la CO<sub>2</sub>, che prenderebbe il posto nelle ‘gabbie’ dei clatrati del metano e dell'etano. La paraffina nel titolo è giustificata da considerazioni di storia della chimica scelte da “Chemical History of a Candle Christmas Lectures” di Michael Faraday. Con l'idea di far vedere per far comprendere meglio sono stati creati dei learning object digitali che si possono trovare nel sito [www.kcvs.ca](http://www.kcvs.ca) (King's Centre for Visualization in Science Canada).

È seguita la plenaria della Prof. Loretta Jones dal titolo: “How Technology Can Help Students to Visualize the Molecular World Without Inducing Misconceptions About Chemistry”. La chimica è una scienza che ricorre alla visualizzazione per far comprendere il livello molecolare. Tuttavia le visualizzazioni scientifiche e le animazioni possono essere troppo complesse per venire accuratamente percepite, specialmente dai novizi che non sanno come interpretare ciò che vedono. Alcuni studi dimostrano che l'uso delle immagini può (o può anche) rinforzare le idee sbagliate o crearne di nuove. Ad esempio le animazioni falliscono perché sono scientificamente inaccurate, oppure perché punti ritenuti importanti possono risultare difficili da percepire e questo può accadere se troppi fatti vengono presentati in poco tempo, o anche perché l'animazione non aiuta in quanto ci è più facile pensare a dei fatti in termini di eventi discreti.

Il lavoro presentato è frutto di un gruppo che da molti anni si occupa di ricerche sull'efficacia delle animazioni e in questo gruppo è presente la Prof. Barbara Tversky dell'Università di Stanford, psicologa, esperta di rappresentazioni mentali. Attraverso i loro studi hanno cercato di rispondere a come gli studenti visualizzano i fenomeni chimici, come le animazioni che modellano questi fenomeni influenzano la comprensione degli studenti e quali aspetti delle animazioni confondono gli studenti. Dai risultati conseguiti hanno sviluppato del materiale che utilizza sia disegni che animazioni quando aiutano e facilitano la comprensione di alcuni concetti astratti della chimica. Questo materiale viene ora sperimentato in alcune scuole superiori e all'università.

Il 5 agosto ci sono state 2 plenarie sulla chimica in laboratorio: il Prof. Henry Schaefer III dell'Università della Georgia ha presentato “Lesions in DNA Subunits: Foundational Studies of Molecular Structures and Energetics”, riguardante lo studio di biomolecole in fase gassosa e ha discusso delle nuove opportunità per la chimica, quali la possibilità di determinare il potenziale di ionizzazione e l'affinità elettronica di pezzi di DNA, mentre il Prof. Arthur Olson dell'istituto di ricerca The Scripps, California, ha presentato “Back to the Future: Grasping Molecular Biology with Tangible Interfaces”.

Con i progressi della biologia molecolare che scopre la struttura di molecole complesse che formano il meccanismo della vita, cresce il problema di comunicare la natura di un mondo invisibile alla percezione umana. La visualizzazione

delle strutture è di fondamentale importanza nella biologia moderna e i modelli materiali aumentano la nostra possibilità di comprendere in modo cognitivo. Questo è il problema della visualizzazione dell'aspetto sub-microscopico e simbolico, reso più difficile dalla complessità delle molecole e dalla necessità del ragionamento spaziale. Così hanno sviluppato una nuova e più avanzata maniera di rappresentare, visualizzare e interagire con le strutture molecolari. Utilizzando due nuove tecnologie permesse dal computer, la stampa in solido e la realtà aumentata (che consiste nel sovrapporre alla realtà percepita una realtà virtuale generata dal computer) è possibile creare una sorta di 'Lego molecolare' e mostrare le interazioni molecolari in una maniera molto più avanzata ed esplicativa rispetto ai modelli chimici che noi usiamo nella didattica.

Il mercoledì era prevista la visita delle bellezze dell'isola e al ritorno i componenti del CCE hanno avuto un lungo meeting. Il 7 agosto la prima plenaria è stata presentata dal Prof. Peter Atkins dell'Università di Oxford: "The Future of the Book". Per introdurre il suo tema ha usato spezzoni del film '2001 odissea nello spazio' ed ha fatto una breve storia del libro e ne ha analizzato i vantaggi e gli svantaggi. Il libro elettronico è interattivo con determinati differenti livelli di difficoltà e potenzialmente può essere un grande strumento pedagogico perché permetterà differenti livelli di aiuto alla comprensione. Il potenziale vantaggio per gli editori è quello di eliminare il mercato di seconda mano e delle fotocopie, così si potranno forse pubblicare libri ad un minor costo.

Il libro elettronico può dare un senso di labirinto perché il lettore non sa dove si trova e dove deve arrivare e scoraggia lo sviluppo dell'immaginazione. Inoltre la grafica può essere deludente perché inferiore alle aspettative dello standard dei video-giochi e per l'editore un libro elettronico è di costo elevato per la realizzazione delle animazioni. Mentre il libro attuale costituisce la visione e il prodotto del lavoro di uno o pochi autori, nell'e-book sarà un gruppo di esperti a guidarne la realizzazione. Ha poi analizzato le caratteristiche del libro del futuro elencandone i molti possibili vantaggi, misura dei quali saranno quelli didattici.

La seconda plenaria è stata svolta da Vandana Hunma, un esperto di didattica dell'isola dal titolo: "Chemistry Education for Socially Responsible and Sustainable Development: What are the Challenges for a Developing Country?" Dopo aver presentato le insufficienze della scuola secondaria dell'isola Mauritius – che in gran parte conosciamo, con la considerazione che stiamo parlando di paese con minor mezzi economici del nostro – ha presentato dei dati ricavati da questionari completati da studenti universitari. La Chimica viene percepita come distante e con pochi collegamenti con la vita di ogni giorno, e 'irrelevante' rispetto ai loro bisogni ed interessi e perciò noiosa. Presenta alcune idee per una didattica della chimica per lo sviluppo sostenibile, quali l'uso delle migliori pratiche, dando meno importanza alla memorizzazione e incoraggiando il ragionamento critico. Secondo Kuhn, i libri di testo dovrebbero contenere le idee e i principi accettati dalla comunità scientifica contemporanea, mentre le informazioni su come questa conoscenza è stata sviluppata costituiscono il bagaglio in eccesso. Nella conferenza è stato suggerito di parlare agli studenti del contenuto di questo 'bagaglio'; introdurli alla conoscenza della natura della scienza non è tempo perso.

Anche all'ultimo giorno si sono avute due plenarie, la prima del Prof. John Bradley, dell'Università del Witwatersrand, Sud Africa: "Substances, Molecules and Symbols in the ICT Age" e la seconda del Dott. Shalini Baxi, dell'Università di Delhi, India, dal titolo "Community Based Collaborative ICT Strategies for Science Education", la più giovane presentatrice tra le ultime ICCE.

Bradley ha argomentato sulle lacune che ancora abbiamo nella terminologia chimica mostrando l'inadeguatezza dei termini solitamente usati. Questo fatto rende più difficile le spiegazioni ai nostri studenti e la comprensione della chimica al pubblico in generale. Perciò ha proposto che il CCE della IUPAC si occupi di questi aspetti del linguaggio. Col suo gruppo Bradley ha sviluppato tutta una serie di micro kit, prodotti in plastica dal centro RADMASTE, che hanno permesso l'utilizzo del laboratorio in scala micro in molti paesi.

L'Università di Delhi ha una lunga storia di progetti didattici e dell'impiego dei risultati, addestrando insegnanti in India e in molti altri paesi. Gli obiettivi di questi progetti erano lo sviluppo di attrezzature a basso costo per l'insegnamento, e la messa a punto di esperimenti compatibili con le apparecchiature e che avessero il fine pedagogico di illustrare principi e pratiche della chimica attuale. Oltre all'addestramento di insegnanti (circa 1200), i progetti hanno addestrato gruppi di donne svantaggiate per poter poi essere impiegate in lavori di desktop publishing. Oltre a presentare un consuntivo di questi progetti e il materiale realizzato, la dottoressa Baxi ha illustrato le sfide che si presentano all'insegnamento scientifico: una delle cose per me interessanti è che l'apprendimento deve essere in qualche maniera divertente. Una parte importante della sua presentazione è stata l'uso delle tecnologie informatiche nell'insegnamento. Le ICT potrebbero permettere una qualità maggiore all'insegnamento; il materiale didattico essendo online è disponibile ad un grande numero di utenti e ad un costo molto contenuto.

I progetti correnti prevedono di adattare il materiale sviluppato dalla Royal Australian Chemistry Quiz e una collaborazione con gli insegnanti dell'isola Mauritius. Ma anche l'uso importante delle moderne tecnologie come la TV interattiva, l'uso dei cellulari e un canale che trasmette 24 ore al giorno materiale didattico basato su un curriculum del triennio delle scuole secondarie. Un video didattico intitolato Kitchen Chemistry si può trovare in

<http://learnhub.com/lesson/9969-kitchen-chemistry>; altre informazioni all'indirizzo: <http://corrosionstudygroup.com/>

Ma la 20<sup>a</sup> ICCE è incominciata in luglio, come una conferenza virtuale, con 371 partecipanti da 44 paesi e per molti dei quali era la prima conferenza online. Alla conferenza virtuale sono stati presentati 45 lavori e la Prof. Loretta Jones ha presentato una comunicazione intitolata “Designing Effective Visualizations of Molecular Structure and Dynamics”. Gli studenti di chimica dell’università di Mauritius hanno presentato una comunicazione apprezzata dai partecipanti: “Chemistry in Daily life: Good Reasons to Opt for Chemistry”.

La conferenza è stata preceduta da un workshop condotto dalle Prof. Mei-Hung Chiu, Lida Schoen e Erica Steenberg: Young Ambassador Chemistry (YAC). A questo workshop hanno partecipato 30 insegnanti di chimica locali, che hanno poi condotto diverse dimostrazioni per gli studenti e il pubblico.

Circa 200 partecipanti provenienti da 40 paesi hanno preso parte alla conferenza in Mauritius. In numeri, la conferenza è consistita in 140 comunicazioni orali e 50 presentazioni poster. La conferenza è stata arricchita da un lavoro teatrale sulla storia della chimica dal titolo “Chemhistory Performance”, presentato da K. Axberg e S. Olsson. Una giornata è stata spesa per una gita nei luoghi interessanti dell’isola, come pure siamo stati intrattenuti in serate sociali. Ci sono state 4 sessioni parallele, 5 simposi e 6 workshop, dove i partecipanti sono stati coinvolti nell’apprendimento attivo e in dimostrazioni.

Una conferenza satellite è stata organizzata dal Prof. S. Wandiga per conto della Società Chimica del Kenya e ha avuto luogo all’Università di Nairobi, con 60 partecipanti, la maggioranza dal Kenya e alcuni dall’Uganda e dalla Tanzania.

La 21a ICCE avrà luogo dall’8 al 13 agosto 2010 in Taiwan, all’Università di Taipei e avrà come tema “Chemical Education & Sustainability in the Global Age”. Informazioni nel sito della conferenza: <http://icce2010.gise.ntnu.edu.tw/>



La foto ufficiale del congresso

### Bibliografia

1. T. P. Rakitzis, S. A. Kandel, R. N. Zare, Photolysis of ICl causes mass-dependent interference in the Cl(2D3/2) photofragment angular momentum distributions, *J. Chem. Phys.*, 1998, **108**, 8291.
2. T. P. Rakitzis, S. A. Kandel, A. J. Alexander, Z. H. Kim, R. N. Zare, Photofragment Helicity Caused by Matter-Wave Interference from Multiple Dissociative States, *Science*, 1998, **281**, 1346

# Dalla storia della chimica alla storia della scienza: ricerca e creatività

**Marco Ciardi**

*Università di Bologna - Dipartimento di Filosofia - Storia della Scienza e della Tecnica  
marco.ciardi@unibo.it*

Nel corso della sua lunga carriera, Max Perutz, premio Nobel per la chimica nel 1962 (per aver determinato, mediante la tecnica della diffrazione dei raggi X, le prime due strutture proteiche, quelle dell'emoglobina e della mioglobina), ha avuto modo di svolgere un'intensa attività di divulgazione scientifica, intervenendo anche su una questione delicata: perché in Italia sono stati assegnati pochissimi premi Nobel, di cui uno solo per la chimica? L'analisi di Perutz partiva, in primo luogo, dall'esame della struttura universitaria italiana. La mancanza di premi Nobel andava addebitata soprattutto al «sistema gerarchico vigente nel mondo accademico italiano»:

In Italia, infatti, i giovani sono incoraggiati molto raramente a lavorare in modo indipendente e sembrano passare molta della loro carriera accademica sotto la direzione del professore, arrivando in alcuni casi fino alla mezza età. Una tale situazione non porta a un lavoro creativo e originale. Negli Stati Uniti e in Gran Bretagna, al contrario, se si ha talento, si è incoraggiati indipendentemente dall'età o dalla posizione.<sup>1</sup>

La principale conseguenza negativa di questo stato delle cose era proprio quella di tarpare le ali ad uno dei motori determinanti della ricerca scientifica, la capacità di immaginazione:

Non so quale sia la ragione precisa alla base di tale atteggiamento, ma la realtà è che le persone le quali ricoprono posizioni influenti cercano, in ogni modo, di tenere sotto controllo l'impeto dei giovani. Detto questo, è comunque un dato di fatto che la maggior parte delle scoperte scientifiche è stata realizzata da giovani ricercatori, grazie alla loro immaginazione e al coraggio di muoversi verso nuove direzioni; perciò il coinvolgimento dei giovani è indispensabile se la scienza, e non solo questa, vuole fare passi avanti.<sup>2</sup>

Le capacità creative e di immaginazione, tuttavia, secondo Perutz, potevano essere sviluppate soltanto avendo (fin da giovani) e mantenendo (anche da scienziati), uno stretto collegamento con il mondo al di fuori della scienza, oltre la specializzazione della propria disciplina:

E' importante coltivare la passione non meno dell'intelligenza, poiché questa senza quella è priva di valore. La scienza è un'avventura e ogni scienziato dovrebbe studiare non solo ciò che gli interessa, ma ampliare la sfera delle varie discipline: essa è come un'arte e, in conformità con ogni attività creativa, ha bisogno di immaginazione.<sup>3</sup>

Con parole simili di Perutz si espresse un altro premio Nobel per la chimica (nel 1986: la scienza «è un'arte umanistica» ha infatti, affermato John C. Polanyi; «la teoria della relatività non aspettava di essere scoperta, non più di quanto *Guernica* esistesse prima di Picasso. Tanto lo scienziato che l'artista hanno abbracciato una certa visione del mondo legata alla cultura cui appartenevano».<sup>4</sup>

Uno degli obiettivi dell'impresa scientifica dovrebbe essere quello di stimolare la ricerca, attraverso lo sviluppo dell'immaginazione e della fantasia, oltre che della logica (ovviamente necessaria, ma non sufficiente). Spesso, invece, l'insegnamento delle varie discipline tende a paralizzare le capacità creative degli studenti, perché le questioni fondamentali sono presentate in maniera estremamente asettica e tecnicistica, raramente accompagnate da una spiegazione che permetta di capire i motivi e le cause della loro origine.



**Max Perutz**

1. M. Perutz, *Le molecole dei viventi*, Roma, Di Renzo, 1998, p. 16.

2. Ibid.

3. Ivi, p. 15.

4. «Il Sole-24 ore», 4 dicembre 1994, p. 27.

Al di là delle riforme della scuola che in questi anni continuano (e forse continueranno) a succedersi, è ormai venuto il momento per gli insegnanti di riappropriarsi in modo forte e deciso del loro ruolo, assumendosi in prima persona la responsabilità (e poi magari imponendola anche al Ministero e ai teorici dell'educazione), di un nuovo modo di insegnare le discipline scientifiche. E' necessario affiancare al tradizionale insegnamento della scienza un metodo alternativo di presentazione della sua immagine, mostrando che essa non è soltanto 'dogma' e ripetizione passiva di schemi o procedimenti non modificabili, ma soprattutto ricerca ed invenzione. Tale esigenza di cambiamento (a livello mondiale) è stata ben sottolineata, ad esempio, da Renato Dulbecco, premio Nobel per la Medicina nel 1975:

C'è oggi in tutto il mondo la sensazione che l'educazione scientifica nelle scuole non raggiunga i suoi scopi. Si pensa che ciò avvenga perché lo studio delle materie scientifiche è isolato dalla vita degli studenti, che imparano a conoscerle solo attraverso i libri di testo, con lo scopo esclusivo di superare gli esami; non c'è l'eccitazione della scoperta di cose sconosciute, che è la parte più importante della scienza.<sup>5</sup>

La conoscenza della storia della scienza può contribuire enormemente a restituire alla scienza il suo vero significato e a creare un progetto educativo corretto. Storia della scienza, dunque, e non solo storia della chimica. Infatti, le storie disciplinari (che ovviamente privilegiano aspetti più strettamente tecnici) possono avere senso soltanto se interpretate alla luce del più generale sviluppo della cultura scientifica, la quale, a sua volta, in ultima istanza, non può che coincidere con la storia dello sviluppo culturale e conoscitivo dell'umanità:

Le storie particolari sono necessariamente più tecniche, mentre nella storia generale trovano molto più spazio gli elementi sociali ed umanistici; tale storia in effetti non si occupa soltanto di tutti i settori della scienza e delle loro reciproche interazioni, ma anche di tutti gli influssi sociali e filosofici ai quali sono soggetti. Ogni grande scoperta o invenzione sconfinava in modo considerevole dal campo che le è proprio e lo fa secondo forme molteplici. La storia degli strumenti, qualunque sia il loro impiego, implica sempre la fisica e la chimica. Il microscopio fu costruito dai fisici, ma viene utilizzato anche dai biologi, dai medici, dai cristallografi, ecc. La «rivoluzione chimica» fu anche una rivoluzione fisiologica. Lo sviluppo della termodinamica non riguarda solo la fisica, ma ha influenzato profondamente la filosofia. Teorie apparentemente specialistiche come quella della selezione naturale, la teoria dei quanta, la teoria della relatività dominano tutto il pensiero moderno. I metodi fotografici o statistici interessano tutte le scienze, ed evidentemente è più logico e semplice spiegare il loro sviluppo nella storia della scienza che doverlo ripetere in ogni storia particolare. E l'elenco potrebbe essere allungato all'infinito.<sup>6</sup>

Per questo motivo, la redazione di CnS ha deciso di comune accordo di trasformare la rubrica *La chimica nella storia* (ormai attiva dal 2005), in *Chimica e storia della scienza*. Siamo convinti che la chimica e la sua storia non potranno che trarne beneficio.

La storia della chimica, infatti, è strettamente legata ad una delle più grandi rivoluzioni del pensiero moderno, ovvero la costruzione della teoria chimica di Lavoisier, una rivoluzione che rappresenta uno dei più grandi risultati lasciatici in eredità dal pensiero scientifico moderno. La diversità fra la 'nouvelle chimie' e la tradizione degli alchimisti non va individuata, infatti, soltanto nella creazione di una nomenclatura semplice ed univoca e nella definizione di un nuovo concetto di elemento (risultato dell'analisi sperimentale di laboratorio). Essa costituisce anche la ferma volontà di rendere la chimica una disciplina specifica (diversa dalla fisica) fondata sullo studio di trasformazioni quantitative e non qualitative, e non più interpretabile come parte di teorie generali di ispirazione metafisica o spiritualistica. Inoltre la nuova chimica si propone come forma di sapere accessibile a tutti e non riservata esclusivamente ad una casta di eletti o di privilegiati. La chimica moderna, in sostanza, rappresenta uno dei frutti maturi della filosofia illuministica ed è il prodotto della cultura espressa dall'*Encyclopédie*. Essa si proponeva di attuare un ragionevole equilibrio tra progresso tecnologico, sviluppo morale e benessere sociale, in base al presupposto che la scienza potesse svolgere un importante ruolo culturale e di pubblica utilità. La rivoluzione di Lavoisier risultò vincente anche perché contribuì ad affermare l'idea che la chimica fosse una scienza socialmente utile, di fondamentale importanza per il miglioramento della qualità della vita e per rispondere ai bisogni primari dell'umanità.

Dopo la rivoluzione lavoisieriana, la chimica si presentò effettivamente come una disciplina specifica, dotata di un linguaggio e di caratteristiche del tutto personali, che consentirono rapidi progressi dal punto di vista quantitativo. Antoine-Laurent Lavoisier non mise in dubbio il sogno newtoniano, ripreso da Pierre-Simon Laplace, di matematizzare tutte le scienze sperimentali e, quindi, anche la chimica. Fece soltanto comprendere che i fenomeni chimici erano troppo particolari e diversi per essere studiati con gli stessi criteri della teoria meccanica. Senza Lavoisier, i fondamentali contributi di Joseph-Louis Proust, John Dalton, Joseph Louis Gay-Lussac, Amedeo Avogadro e Jöns Jacob Berzelius non sarebbero mai esistiti.<sup>7</sup> Tanto per fare un esempio, le riflessioni di Avogadro, il padre della fondamentale legge «uguali volumi di gas, a parità di temperatura e pressione, contengono lo stesso numero di particelle», tennero costantemente presenti i risultati ottenuti da Lavoisier nel *Traité élémentaire de chimie* (1789), e furono sorrette dalla

5. Ibid.

6. G. Sarton, *E' possibile insegnare la storia della scienza?* in M. Baldini (a cura di), *Problemi e prospettive della storia della scienza*, Roma, Città Nuova, 1986, p. 82.

7. M. Ciardi, *Breve storia delle teorie della materia*, Roma, Carocci, 2003.

## Dalla storia della chimica alla storia della scienza: ricerca e creatività

consapevolezza che la ricerca dei fondamenti della chimica costituisse un'attività autonoma rispetto alla fisica, nonostante modelli e strumenti fisici risultassero indispensabili, come per Lavoisier, per condurre in porto tale ricerca.

Il valore filosofico della rivoluzione lavoisieriana fu colto in pieno da Immanuel Kant. Per molti anni Kant pensò che la fisica o, più precisamente, la meccanica, rappresentasse il modello di riferimento per tutte le altre scienze. Il riconoscimento della rivoluzione lavoisieriana, che avvenne intorno al 1793, indusse Kant a rivedere buona parte della sua filosofia trascendentale, in vista della realizzazione di una nuova grande opera dopo le tre *Critiche*. Kant fu così in grado di concepire una teoria della materia che prevedeva una precisa distinzione tra il livello dei fenomeni fisici e quello dei fenomeni chimici.

Lavoisier e Kant saranno alla base della filosofia della chimica che animerà l'opera di Dmitrij Ivanovič Mendeleev, i cui principi fondanti sono ben delineati nella *Faraday Lecture* intitolata *The Periodic Law of the Chemical Elements*, tenuta presso la Royal Institution il 4 giugno 1889. Mendeleev rifiutò, in primo luogo, la caratterizzazione ontologica della tavola periodica, così come Lavoisier aveva teorizzato, nel 1789, l'inutilità di pensare agli elementi ottenuti attraverso l'analisi chimica come ai principi ultimi della materia:

Ciò che si può dire sul numero e sulla natura degli elementi si limita secondo me a discussioni puramente metafisiche: si tratta di problemi indeterminati, che ci si propone di risolvere, che sono suscettibili di una infinità di soluzioni, ma delle quali è probabile che nessuna vada d'accordo con la natura. Mi limiterò dunque a dire che se col nome di elementi intendiamo designare le molecole semplici e indivisibili che compongono i corpi è probabile che non li conosciamo. Invece se colleghiamo al nome elementi o principi l'idea del termine ultimo al quale perviene l'analisi, tutte le sostanze che non abbiamo ancora potuto scomporre sono per noi elementi; non perché possiamo assicurare che questi corpi che consideriamo semplici non siano essi stessi composti di due o persino di un più grande numero di principi, ma perché questi principi non si separano mai, o piuttosto perché non abbiamo alcun mezzo per separarli. Agiscono nei nostri confronti alla maniera dei corpi semplici e non dobbiamo supporli composti che al momento in cui l'esperienza e l'osservazione ci avranno fornito la prova che sono composti.<sup>8</sup>

La legge periodica, basata sul «terreno solido e fertile della ricerca sperimentale», era stata sviluppata «indipendentemente da qualsiasi concezione riguardo alla natura degli elementi». Mendeleev, comprendendo pienamente il senso della rottura concettuale operata da Lavoisier nei confronti della tradizione precedente, polemizzò duramente contro coloro che intendevano mescolare la chimica con le idee di «Democrito riguardo alla materia prima». La tavola periodica degli elementi non traeva «affatto la sua origine dall'idea di una materia unica», e non aveva «alcuna connessione con quel relitto dei tormenti del pensiero classico». Mantenendo «la concezione dell'esistenza di molti elementi, tutti soggetti alla disciplina di una legge generale», la chimica aveva perciò trovato «una risposta alle cause della molteplicità», offrendo «una via d'uscita dal Nirvana indiano», e raggiungendo un indiscutibile grado di autonomia rispetto alla fisica. L'interpretazione filosofica della chimica di Kant trovava ora così il suo degno compimento:

Nel connettere con nuovi legami la teoria degli elementi chimici alla teoria delle proporzioni multiple di Dalton, cioè alla struttura atomica dei corpi, la legge periodica ha aperto alla filosofia naturale un nuovo e vasto campo di speculazione. Secondo Kant vi sono al mondo «due cose che non cessano mai di suscitare l'ammirazione e la riverenza dell'uomo: la legge morale che è dentro di noi, e il cielo stellato che è sopra di noi». Ma quando rivolgiamo i nostri pensieri alla natura degli elementi e alla legge periodica, dobbiamo aggiungere un terzo oggetto di ammirazione, cioè «la natura degli individui elementari che scopriamo ovunque intorno a noi». Senza di essi lo stesso cielo stellato sarebbe inconcepibile; e negli atomi vediamo contemporaneamente le loro individualità peculiari, l'infinita molteplicità degli individui, e la sottomissione della loro apparente libertà alla generale armonia della Natura.<sup>9</sup>

Le parole di Mendeleev ci ricordano non solo quanto sia stata in passato sentita e sviluppata una riflessione sui fondamenti filosofici della disciplina, ma anche che la chimica è stata (e continua ad essere) tutto fuor che una disciplina 'arida'. Per spiegare questo agli studenti, tuttavia, non soltanto è necessario recuperare nell'ambito dell'esposizione della disciplina i suoi evidenti contenuti filosofici ed umanistici, ma anche sottolineare che la formazione di ogni scienziato (e maggior ragione di ogni grande scienziato o grande chimico) non è strettamente tecnica; essa infatti ha un grande debito con lo sviluppo della capacità di immaginazione, spesso proveniente dall'aver coltivato (anche assiduamente) interessi in altri campi, quali l'arte, la filosofia e la letteratura.

Un paio d'anni fa, Piergiorgio Odifreddi, commentando i cattivi risultati degli studenti italiani in matematica, ha affermato: «e come può, lo stesso giovane, imparare a pensare razionalmente, se da bambino si appassiona alle imprese fantastiche di Harry Potter o del Signore degli Anelli?»<sup>10</sup> Non solo questo giudizio è completamente sbagliato, ma contribuisce anche a mantenere più viva che mai la guerra fra le «culture». Non è certo contrapponendo la logica

8. A.-L. Lavoisier, *Trattato elementare di chimica (Discorso preliminare)*, in *Memorie scientifiche. Metodo e linguaggio nella nuova chimica*, a cura di F. Abbri, Roma, Theoria, 1986, p. 182.

9. D. I. Mendeleev, *La legge periodica degli elementi chimici*, in *Il sistema periodico degli elementi*, a cura di S. Tagliagambe, Roma, Teknos.

10. P. Odifreddi, *Matematica. La scienza odiata dagli Italiani*, «La Repubblica», 3 agosto 2007.

alla fantasia che si può pensare di risolvere il problema. Del resto è fin troppo facile trovare, guardando alla storia (e in particolare alla storia della scienza), esempi che smentiscono clamorosamente questa impostazione. La formazione di Galileo Galilei fu in larga misura umanistica e lo scienziato toscano (che fu un ottimo suonatore di liuto, scrittore di sonetti ed acuto critico letterario), come ha scritto Erwin Panofsky «non aveva obiezioni rispetto a fate, draghi, ippogrifi e streghe». <sup>11</sup> Dal lato opposto, Giacomo Leopardi ricevette, fin da bambino, una solida formazione in ambito scientifico e molta della sua poetica non è comprensibile senza fare riferimento alla scienza. <sup>12</sup> Proprio per questo Galileo e Leopardi sapevano perfettamente definire il ruolo ed i limiti della conoscenza scientifica ed umanistica, ma mai si sarebbero sognati di metterle in contrapposizione fra loro. Lo stesso discorso potrebbe essere fatto per Kant, Coleridge, e innumerevoli altri scienziati, filosofi e letterati. Uno dei veri problemi, semmai, risiede nella continua ed inevitabile specializzazione di tutte le discipline (sia scientifiche che umanistiche), che conduce ad una progressiva chiusura nei confronti degli altri saperi, e alla incapacità (sempre più diffusa) di stabilire i giusti confini e ambiti di competenze fra cultura scientifica e cultura umanistica.



L. S. Vygotskij

«Solitamente, quando si parla d'immaginazione o di fantasia», ha scritto L. S. Vygotskij, si pensa a «tutto ciò che è irrealmente, che non s'accorda con la realtà delle cose...La verità è che l'immaginazione ... si manifesta in tutti – senza eccezione – gli aspetti della vita culturale, rendendo possibile la creatività artistica, scientifica e tecnica». Per questo motivo «l'immaginazione in genere, è necessaria a pari titolo nell'arte e nella scienza. Se non ci fosse stata questa facoltà ... l'umanità non avrebbe potuto creare l'astronomia, la geologia, la fisica». <sup>13</sup>

E neppure la chimica.

Per tutte le ragioni che abbiamo cercato spiegare – speriamo in maniera convincente – la nuova rubrica *Chimica e storia della scienza* ospiterà d'ora in poi, oltre ai tradizionali articoli dedicati alla storia della chimica, saggi, note e contributi relativi alla storia generale della scienza, in modo tale, come ha sostenuto Max Perutz, da «ampliare la sfera delle varie discipline». E siccome abbiamo insistito sull'interazione fra storia, scienza e creatività, niente di meglio che partire con un pezzo dedicato alla storia della fantascienza, con una breve nota dedicata alla chimica.

11. E. Panofsky, *Galileo critico delle arti*, Milano, Abscondita, 2008, p. 35.

12. Si veda in proposito l'articolo di Valentina Sordani pubblicato in «CnS», n. 3, 2008.

13. L. S. Vygotskij, *Immaginazione e creatività nell'età infantile*, Roma, Editori Riuniti, 1972, pp. 19-50.

## Introduzione alla storia della fantascienza

Maddalena Vandini

Vignola (Modena)

maddalena.vandini@alice.it

«Un movimento convulso le agitò le membra». Questa celebre frase tratta dal *Frankenstein* della scrittrice londinese Mary Wollstonecraft Shelley, da inizio non solo all'inestituibile e logorante calvario del brillante scienziato Victor Frankenstein, ma anche a quel genere narrativo che è sintesi ed inseparabile connubio di scienza ed immaginazione, avanguardistici ritrovati ed elucubrazioni fantastiche, asserzioni logicamente dimostrabili ed «innovazioni cognitive», per dirla con le parole dello scrittore e saggista Darko Suvin. Sto parlando della *science fiction*, della fantascienza, di quel modo di fare letteratura per decenni osteggiato, deriso e vituperato. Le accuse erano sempre le stesse: frivolezza dei contenuti, approccio stilistico - espressivo elementare, assenza di genialità e talento nei suoi scrittori.

Potevano cambiare le cose? Poteva la *science fiction* alzare il capo, riscattarsi, dissipare quella fitta cortina di pregiudizi che pareva non volerla abbandonare? Poteva la fantascienza uscire dal ruolo che le era oramai stato affibbiato di Cenerentola letteraria e recarsi al ballo ornata ed agghindata, suscitando plauso e ammirazione? Poteva questo genere narrativo conquistare la fiducia della critica, attirare a sé i lettori e compiere una prodigiosa evoluzione? Accingiamoci a scoprirlo.

Contraddistinta da indiscutibili origini popolari, la *science fiction* può vantare, però, anche illustri origini letterarie che affondano le loro radici nei racconti di viaggio, nei romanzi utopistici, nelle storie che descrivono mondi straordinari e in tutta quella narrativa che sorge in seguito al rinnovato clima culturale originatosi dalle scoperte astronomiche del Seicento e del Settecento. In scrittori di grido quali Keplero, Cyrano de Bergerac o Swift possiamo rinvenire gli anticipatori della fantascienza i quali, nelle loro opere, hanno inserito temi, ambientazioni, personaggi e atmosfere che la *science fiction* moderna riprenderà, manipolerà e modellerà, estrapolandone i suoi tipici e tradizionali contenuti. Il viaggio sulla Luna, la ricerca di nuovi pianeti, gli extraterrestri, il rapporto uomo – alterità sono alcuni dei lasciti ereditati da questi illustri autori.

Come ho affermato poc'anzi, la nascita della fantascienza è collocata tradizionalmente nel 1818, quando venne pubblicato anonimo il *Frankenstein* di Mary Shelley, allora diciottenne. Ma al lettore acuto sarà senz'altro balenato nella mente un interrogativo: perché è proprio questo romanzo ad essere considerato la pietra miliare della *science fiction*, l'opera che da inizio a questo controverso filone letterario? Cosa compare in *Frankenstein* che non compare in altri racconti precedenti? Che cosa esso può vantare a dispetto di tutta la narrativa precedente che, pur avvicinandosi per tematiche, ambientazioni o personaggi alla fantascienza, non può essere ancora etichettata come tale? La risposta, forse banale, ma assolutamente inequivocabile, è che nel *Frankenstein* per la prima volta il tema fantastico è messo in stretto collegamento agli sviluppi della scienza del momento. Nell'introduzione al libro, ad esempio, viene più volte citato un illustre scienziato di quel tempo, Erasmus Darwin, nonno dell'ancor più celebre Charles. In *Temple of nature*, Erasmus aveva proposto il concetto di "generazione spontanea", spiegando come, ponendo pezzetti di verme all'interno di un vaso di vetro, sottoposto al giusto grado di calore, si poteva successivamente osservare il movimento di tali parti morte, senza che si manifestasse alcun intervento di entità esterne. Questo fu il primo tassello che la Shelley mise in campo per creare il proprio capolavoro. Mancava però la scintilla che conferiva l'esistenza. Cos'è che dava la vita? Anche in questo caso l'autrice trovò la risposta a questo quesito nel mondo scientifico che la circondava. Nel *De viribus electricitatis* (1791) Luigi Galvani aveva spiegato dettagliatamente un esperimento da lui compiuto: collegando il muscolo di una rana ad una macchina elettrica, egli aveva osservato una sua chiara contrazione; da ciò lo scienziato evinse che la rana, ed in generale gli esseri viventi, possedevano un fluido elettrico, la cosiddetta elettricità animale. Il puzzle era dunque costruito: da una parte il concetto di aggregazione di parti morte e di generazione spontanea, dall'altra l'impulso alla vita indotto dall'elettricità. Con questo bagaglio scientifico e culturale, Mary Shelley si apprestò alla stesura del *Frankenstein*. Quest'opera non è solamente un avvincente romanzo "goticheggiante" o un'avventura ai limiti del possibile, ma è un romanzo il cui testo è realmente pregno di temi, concetti e significati di notevole spessore se rapportati al contesto scientifico e sociale del tempo. Oltre i sentimenti e al di là della sorpresa che proviamo leggendo le vicissitudini del mostro creato da Victor, c'è il mondo della Shelley, con la propria fede nel progresso, l'in-



Mary Wollstonecraft Shelley

discussa soddisfazione per le conoscenze acquisite e le certezze conquistate, ma anche le ansie ed i timori che scaturiscono dalla consapevolezza che, un cattivo utilizzo dei nuovi ritrovati della tecnica, potrebbe risultare fatale.

Se il capolavoro dell'autrice inglese segnò lo spartiacque tra antenati della fantascienza e vera *science fiction*, due illustri scrittori detengono il titolo di padre fondatore dei filoni narrativi dai quali è composto questo genere letterario: Jules Verne possiede la paternità del filone curioso, ottimista, favoloso, intriso di un profondo ed inguaribile ottimismo, i cui miti si convertono in simboli perfetti dell'avventura scientificamente possibile; Herbert George Wells, invece, possiede la paternità del filone serio, interessato alle anticipazioni tecnico-biologiche ed ai problemi sociali, il tutto iscritto all'interno di un'ottica spiccatamente negativa, tradizionale negli utopisti anglosassoni.



**Jules Verne**

I romanzi di Jules Verne non sono solamente letteratura divertente per ragazzi o narrativa d'evasione, ma incarnano concretamente i valori e la cultura di un secolo. Lo scrittore francese è stato capace di riprendere la tradizione dei racconti di viaggio e delle leggende, e fonderle indissolubilmente con il proprio mondo, un mondo sicuro, concreto, solido, fondato su certezze tecnico-scientifiche e su principi saldi e incontrovertibili.

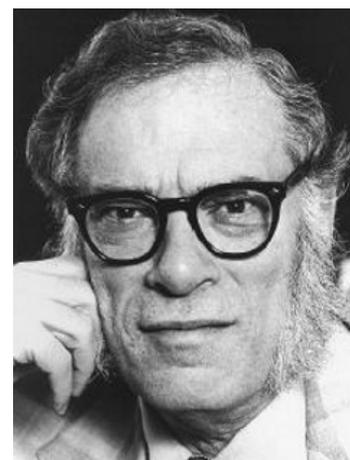
Disillusa e disincantata è invece la visione di Wells, i cui romanzi sono veicoli di protesta sociale ed emblemi cristallini di un profondo pessimismo verso lo sviluppo tecnologico. Bersagli ricorrenti sono l'utilizzo irresponsabile dei ritrovati scientifici, la mancanza di autocontrollo, l'ambizione e la «volontà di potenza» che aleggia maliziosi e tentatori, sempre pronti ad impossessarsi di uomini volubili, incoscienti, in preda a deliri di onnipotenza e brame di sopraffazione, uomini che, proprio a causa di questo sconsiderato atteggiamento, si macchiano di quel peccato che i Greci antichi definivano *hybris*.

Una potente accelerazione allo sviluppo della *science fiction* fu impressa dalla cosiddetta *Golden Age*, termine saturo di autocompiacimento, con

il quale si indicano gli anni Quaranta della fantascienza, anni fruttuosi ed estremamente fertili, costellati da opere brillanti e scrittori geniali. Il nome di Isaac Asimov rende perfettamente l'idea del livello qualitativo che interessò quel periodo; uomo di sterminata cultura, divulgatore scientifico oltre che romanziere, reagì alla tradizionale immagine del *robot* come essere crudele, vendicativo, che prima o poi si ribella al suo creatore, apparendo quindi come indiscutibile erede di *Frankenstein*. Propose, infatti, un nuovo modello di *robot* superiore moralmente persino all'essere umano, poiché vincolato alle *Leggi della Robotica* che lo obbligavano a obbedire ai comandi dell'uomo, a difenderlo e, soprattutto, a non danneggiarlo in nessun modo ed in nessuna circostanza. Nelle sue opere, specialmente nel suo maggior successo *Il ciclo della Fondazione*, traspare l'assoluta fede nella ragione e nella scienza, capaci di trovare le vie per emergere e vincere, pur nella consapevolezza che, un uso smodato e irragionevole delle conoscenze innovative, siano inevitabile causa di gravi deviazioni da un lucido e razionale cammino dell'umanità.

In seguito al nuovo panorama sociale, politico e culturale che si delineò negli anni Cinquanta, nacque un nuovo tipo di fantascienza definita «sociologica». Guerra fredda, discriminazione razziale, «maccartismo», sviluppo economico, società di massa, sono alcune parole chiave di questo decennio. Gli autori di questo periodo prestarono la loro penna alla critica del capitalismo, dei *mass media*, del consumismo che abbruttisce l'essere umano e lo incatena come uno schiavo a bisogni innaturali, indotti da un'infida attività pubblicitaria. Frederik Pohl e Cyril Michael Kornbluth, i due più significativi rappresentanti di questi anni, scrissero il celebre racconto *I mercanti dello spazio*, una satira distopica che mette in scena una società gestita da agenzie pubblicitarie, ambigue e ben celati manipolatori, capaci di plasmare i malcapitati consumatori.

Ma questi sono anche gli anni dell'attività letteraria di Richard Burton Matheson che, nel suo capolavoro *Io sono leggenda*, riflette sui concetti di diversità e relatività. Il diverso non è un concetto assoluto, non è un principio astratto che vale in maniera indiscriminata, ma è una nozione che deve necessariamente essere contestualizzata. Non si prescinde dal con-



**Isaac Asimov**

torno, dalla trama, dall'ambiente, ma su questi aspetti ci si fonda e, con questi, ci si confronta. Nel suo libro non esistono più il buono ed il cattivo, non esiste più il possessore di una ragione trascendente ed inconfutabile, poiché tutto muta e si trasforma a seconda del punto di vista da cui si affrontano le vicissitudini della vita.

## Introduzione alla storia della fantascienza

Gli anni Sessanta sono per definizione simbolo di rivoluzione, cambiamento e trasgressione; questa inclinazione si mantenne anche nell'universo fantascientifico che sfornò quella corrente letteraria che si farà portavoce delle tendenze più rinnovatrici, originali e all'avanguardia del periodo: la cosiddetta *New Wave*. La «nuova ondata», diffusa sia nel Regno Unito che in America, si prefisse essenzialmente due obiettivi: il primo fu quello di proporre uno stile nuovo, ispirato al modernismo ed al postmodernismo e in palese reazione all'approccio stilistico in auge fino a quel momento, ovvero quello tipico della letteratura di consumo; il secondo riguardò, invece, le tematiche affrontate. Gli scrittori di questa corrente si distaccarono dai temi e dai contenuti tradizionali ed incentrarono il loro interesse e la loro attenzione su quegli argomenti che, fino ad allora, erano stati considerati veri e propri tabù: ateismo, sesso, incesto, omosessualità, indagine della mente umana, entropia e rilevanza. L'entropia è la grandezza usata in termodinamica come indice della degradazione dell'energia di un sistema fisico e tale concetto, trasportato nell'ambito letterario, indica l'inevitabile morte dell'universo, connessa alle conseguenze che si riverseranno sulle comunità umane. L'idea della rilevanza, invece, riconosce la presenza di una particolare inclinazione all'interno della società e proietta nel futuro questa tendenza al fine di comprendere meglio gli elementi del presente che, se estremizzati o intensificati, possono causare determinati effetti a lunga scadenza. Come si può notare facilmente se la fantascienza aveva, fino a quel momento, prestato interesse alle realtà future, trattando di tecnologie avanguardistiche, astronavi saettanti nello spazio colonizzato, nuovi pianeti, guerre intergalattiche, la *New Wave* sposta il mirino sul presente, sulla realtà contemporanea e su concetti o problematiche che l'affliggono.

I nomi di spicco di questo decennio sono James Graham Ballard, autore del capolavoro *La mostra delle atrocità*, definito la rappresentazione dell'apocalisse dell'occidente industrializzato; Michael Moorcock, direttore della rivista *New Worlds*, perno attorno alla quale ruotò tutta la *New Wave*; Norman Spinrad, celebre per il controverso romanzo *Il signore della svastica* nel quale mette in scena un Adolf Hitler diverso da quello storico, che non veste più i panni di sommo capo del nazismo, ma s'improvvisa prima illustratore di storie fantascientifiche, poi addirittura scrittore dal successo sbalorditivo; Samuel R. Delany, uomo di vasta cultura, studioso di linguistica e semantica, nonché artefice di *Babel-17* vincitore del prestigioso *Premio Nebula*, nel quale egli immagina una lingua artificiale segreta, denominata appunto Babel-17, la quale potrebbe essere l'unica arma di difesa contro una terrificante invasione aliena; e Harlan Ellison, curatore della celebre rivista *Dangerous Visions*, che accorpa 33 storie ardite ed originali, create dai migliori autori di quel periodo.

Sotto il profilo sociale, gli anni Settanta significarono emancipazione femminile. Questione sessuale, ricerca attenta ed approfondita del ruolo della donna nella storia, critica della società maschilista, legalizzazione dell'aborto, senso di colpa causato dai conflitti laceranti tra la ricerca dell'identità collettiva e la realtà individuale, sono alcuni dei vessilli dei movimenti emancipatori. La *science fiction* non poté non recepire questi ulteriori stimoli che scaturivano dalla società in fermento ed esibì un ben riuscito matrimonio tra femminismo e fantascienza. Finalmente questo genere letterario venne filtrato ed indagato anche da menti e sensibilità femminili, che affrontarono sovente il problema del rapporto maschile - femminile, confrontandone mentalità e atteggiamenti mediante un perspicace e acuto spirito introspettivo. *Female Man*, scritto dall'autrice americana Joanna Russ, rappresenta forse in assoluto l'opera che meglio riflette questo clima culturale; è uno dei più importanti sforzi letterari volti a fondere fantascienza e femminismo e a riflettere sui rapporti fra "maschio" e "femmina". Nel romanzo sono narrate quattro storie di donne che vivono in tempi e culture radicalmente differenti, ma che riescono ad intrecciarsi distruggendo ogni ostacolo disseminato; troviamo una scrittrice, un'abitante di un mondo popolato solamente da donne, per l'appunto i «Female Man», una guerriera del futuro e, infine, una donna che vive in un universo alternativo dove non sono avvenute né guerre mondiali né lotte per l'emancipazione femminile. La conclusione alla quale giunge la scrittrice è l'assoluta impossibilità di ottenere una fusione tra il maschile ed il femminile.

Nel viaggio che abbiamo intrapreso attraverso la storia della *science fiction*, abbiamo raggiunto diverse tappe e numerosi momenti che hanno posto in rilievo due tendenze essenziali: la prima è quella contraddistinta dall'inclinazione a scrivere romanzi che avessero, come soggetto, lo spazio esterno, l'*outer space*, ovvero le galassie, le stelle, i mondi sconosciuti, la vita extraterrestre; mentre la seconda, introdotta dalla «fantascienza sociologica» e proseguita dalla corrente *New Wave*, dedica il proprio interesse allo spazio interno, all'*inner space*, cioè alla mente, allo spirito, alla psiche. Manca un terzo ambito di indagine che appare come un mondo inesplorato, una terra ancora vergine. Sto parlando dello spazio virtuale, della cibernetica, delle avanguardistiche tecnologie informatiche e di telecomunicazione, a cui si dedica la fantascienza degli anni Ottanta definita *Cyberpunk*. Il termine *Cyberpunk* nasce come crasi delle parole "cibernetica" e "punk", sintesi quindi di scienza "pulita" per il controllo degli organismi artificiali, e *punk*, termine che in inglese significa 'di scarsa qualità', 'da due soldi', e che venne usato a partire dalla seconda metà degli anni '70 del Novecento per definire un nuovo movimento di cultura giovanile, legato soprattutto ad una rivolta degli stili in campo musicale. Controllo e ribellione, potere e rivolgimento: in questi stridenti accostamenti risiedono le armi di tale corrente narrativa.

Gli autori di rilievo di quegli anni sono stati essenzialmente due: William Gibson, autore della *Trilogia dello Sprawl*, composta da *Neuromante*, *Giù nel cyberspazio* e *Monna Lisa Cyberpunk*, e Bruce Sterling, famoso per l'antolo-

gia *Mirrorshades*, il cui contenuto è rappresentato dal meglio della fantascienza *Cyberpunk* allora nascente. Leggendo opere appartenenti a questa corrente narrativa, si nota facilmente la centralità conferita all'ambiente; esistono due modi differenti per scrivere storie: incentrarle sui personaggi che agiscono su uno sfondo, oppure, al contrario, strumentalizzare i personaggi stessi per far emergere l'ambiente, il vero protagonista, cosa che appunto fanno gli scrittori di *Cyberpunk*.

Gli anni Ottanta furono anche un decennio assai fertile per la diffusione a macchia d'olio della *science fiction* in diversi ambiti della cultura: nel piccolo e nel grande schermo, nei fumetti e nei videogiochi divenne l'indiscussa protagonista. *Star Wars*, *Terminator*, *Geemlins*, *Robocop*, *Blade Runner*, *Alien*, la trilogia di *Ritorno al futuro*, *Cocoon*, *l'energia dell'universo*, *Ghostbusters*, *Incontri ravvicinati del terzo tipo* e *E.T. l'Extra-Terrestre*, sono solamente alcuni dei film fantascientifici che ebbero un incredibile successo, preceduti, fin dagli anni '60, in televisione, da serie come *Star Trek*.

Ma cosa succedeva in Italia? A che punto era lo sviluppo della fantascienza? La *science fiction* in Italia mise le radici piuttosto in ritardo rispetto al resto del mondo. Rimase a lungo una letteratura ai margini, di scarsa attrattiva, spesso ridicolizzata. Qualche ingranaggio cominciò ad azionarsi negli anni Cinquanta, precisamente nel 1952, quando furono lanciate sul mercato dall'editrice *Mondadori* sia una nuova collana di romanzi denominati *I Romanzi di Urania*, sia una rivista chiamata *Urania*, dal nome della musa dell'astronomia, entrambi sotto l'attenta direzione di Giorgio Monicelli. Ma in quell'anno uscì anche il primo numero della rivista *Scienza fantastica, avventure nello spazio, tempo e dimensione*, l'equivalente italiana dell'americana *Astounding*.

Nel 1957, dopo un lento ma inevitabile deterioramento dei rapporti fra Giorgio Monicelli e la *Mondadori*, il giornalista e traduttore fondò i *Romanzi del Cosmo*, ai quali parteciparono numerosi autori di *science fiction* che scrivevano sotto pseudonimi scrupolosamente anglosassoni, come per esempio Robert Rambell (Roberta Rambelli), Hugh Maylon (Ugo Malaguti), John Bree (Gianfranco Briatore) o Louis Navire (Luigi Naviglio). Ma l'imitazione non riguardò solamente i nomi degli autori, ma anche i temi affrontati che conferivano a tale fantascienza un aspetto scarsamente originale e decisamente poco coinvolgente. Il confronto con autori del calibro di Disch, Moorcock, o Dick era schiacciante.

Nel medesimo anno nacque anche la rivista *Oltre il Cielo* la quale, finalmente, proponeva racconti di scrittori italiani che portavano la firma originale ed autentica dei loro autori, senza dunque doversi celare sotto falsi pseudonimi.

Nel 1961 nacque *Galassia*, mensile di romanzi diretto dalla scrittrice Roberta Rambelli che iniziò a pubblicare in appendice racconti di scrittori italiani; pareva l'inizio della riscossa della *science fiction* italiana: ma non fu così. La letteratura fantascientifica italiana continuò a rimanere relegata all'interno di rubriche d'appendice, continuò a restare in disparte, ai margini, mentre le pagine di *Galassia* seguivano a riempirsi di nomi di autori stranieri.

Con la rivista *Futuro* del 1963, diretta da Lino Aldani, la fantascienza italiana riuscì ad acquisire una portata internazionale che durerà, però, solamente pochi mesi. L'ultimo esperimento fu quello di Vittorio Curtoni che, nel 1976, pubblicò *Robot*. Da quel momento in poi il disinteresse per la *science fiction* prese il sopravvento; anche quegli autori che, negli anni precedenti, avevano dimostrato interesse e coinvolgimento, si distaccarono completamente e giunsero addirittura a pentirsi di aver dedicato tempo a questo genere letterario. Come reazione a questo scetticismo, nacque un tipo di *science fiction* insolente ed ingiuriosa, capace di ritrarre la realtà attraverso immagini e similitudini tratte da quel mondo e destinata a pochissimi lettori appassionati. Era il tempo delle "riviste amatoriali", chiamate in inglese *fanzine*, in quanto crasi dei due termini *fan* (appassionato) e *magazine* (rivista). Poiché stampate in tiratura limitata, non fruibano dei tradizionali mezzi di stampa, ma si avvalevano del ciclostile, decisamente più economico benché di scarsa qualità.

Le sorti della fantascienza si risolsero nel 1978, anno in cui fu promosso il Convegno internazionale *La fantascienza e la critica*, tenutosi a Palermo. La disponibilità di specialisti italiani ma anche di esperti e studiosi stranieri che, senza vergogna o paura di sminuirsi, aderirono al Convegno, fu decisamente incoraggiante. Membri dell'*Istituto dell'Enciclopedia Italiana* e dell'UNESCO, nonché altri importanti rappresentanti del mondo culturale, con la loro partecipazione hanno contribuito a porre in rilievo questo evento, aiutati egregiamente anche da un'entusiasta rete d'informazione. La cortina di insensibilità e preconcetto poteva dirsi definitivamente calata.

Questo breve *excursus* mostra chiaramente il considerevole sviluppo compiuto dalla fantascienza: essa è passata dai semplici e poco stimati *pulp magazine*, a romanzi di alto valore artistico, consacrati e legittimati all'interno del mondo letterario mediante rinomati premi; ha istituzionalizzato il proprio genere narrativo, creando riviste specializzate e manifesti contenenti i canoni necessari che un racconto deve possedere per essere riconosciuto come fantascientifico; si è prodigata nella ricerca di nuove tematiche da affrontare, prendendo spunto dalla realtà circostante, dagli argomenti scottanti del momento, dall'esigenza dell'animo umano.

Tuttavia, è lecito pensare che le enormi difficoltà incontrate in Italia da questo genere letterario abbiano qualcosa a che fare con il tema dello sviluppo della creatività scientifica nel nostro paese e con l'idea che le discipline scientifiche possano essere insegnate in modo diverso?

Lascio la risposta agli specialisti della materia.

## Chimica, storia e fantascienza

**Marco Ciardi**

*Università di Bologna - Dipartimento di Filosofia - Storia della Scienza e della Tecnica*  
*marco.ciardi@unibo.it*

Nel 1791 Luigi Galvani, dopo aver rilevato che l'unione attraverso un arco metallico di due nervi del muscolo di una rana provocava una contrazione del muscolo stesso, aveva ipotizzato, nel *De viribus electricitatis in motu musculari Commentarius*, che gli animali possedessero nel loro organismo una specifica elettricità, indipendente da qualsiasi influenza esterna. La questione dell'unione tra fenomeni fisici e funzioni vitali non rappresentava certo una novità alla fine del XVIII secolo. Già Stahl (l'inventore della teoria del flogisto in ambito chimico) aveva a più riprese sostenuto una visione vitalistica del corpo umano, cercando di mostrare come il tentativo di Cartesio di ridurre l'anatomia umana ad un modello meccanico fosse destinato inevitabilmente al fallimento. Anche buona parte dell'opera di Newton, in fondo, andava già in questa direzione. Merito di Galvani fu quello di riuscire a trasformare un'ipotesi scarsamente accreditata ed estremamente speculativa, al limite della ciarlataneria, in un sistema sperimentale sicuro e verificabile. Il galvanismo ebbe grande successo, in Inghilterra, trovando ad esempio fra i suoi sostenitori anche il medico, filosofo naturale e poeta Erasmus Darwin, il nonno di Charles, il quale sostenne l'utilizzabilità terapeutica dell'elettricità per varie patologie. Darwin, inoltre, nell'opera *Zoonomia or the Laws of Organic Life* (1794-96) appoggiò senza riserve la teoria della generazione spontanea. Tale contesto scientifico non mancò di influenzare la letteratura del tempo. L'idea che nella materia fossero presenti forze vitali legate soprattutto all'elettricità è un tema che servirà di ispirazione a Mary Shelley (come abbiamo visto nell'articolo di Maddalena Vandini) per la realizzazione del suo *Frankenstein; or, The Modern Prometheus*.

Oltre all'elettrologia, tuttavia, la scienza protagonista del romanzo è la chimica. La prima formazione del giovane Frankenstein, a Ginevra, avvenne quasi interamente sui testi dei grandi della tradizione alchemica:

La filosofia naturale è il genio che ha regolato il mio destino; desidero quindi, nel mio racconto, illustrare i fatti che mi hanno condotto a prediligere questa scienza. Quando avevo tredici anni, andammo tutti in gita ai bagni nei dintorni di Thonon; l'inclemenza del tempo ci costrinse a rimanere un giorno intero confinati in una locanda. Lì, trovai per caso un volume delle opere di Cornelio Agrippa. Lo aprii svogliatamente; la teoria che egli cerca di dimostrare ed i fatti meravigliosi che cita trasformarono presto in entusiasmo il mio disinteresse.(...) Quando tornammo a casa, mia prima cura fu di procurarmi tutte le opere di questo autore, poi quelle di Paracelso e di Alberto Magno. (...) Può apparire strano che un discepolo di Alberto Magno potesse nascere nel diciottesimo secolo, ma la nostra famiglia non aveva tradizioni scientifiche ed io non avevo mai frequentato le lezioni che si tenevano alle scuole pubbliche di Ginevra. I miei sogni non erano turbati dalla realtà, ed io mi dedicai con la massima diligenza alla ricerca della pietra filosofale e dell'elisir di lunga vita. E fu su quest'ultimo che concentrai principalmente la mia attenzione: la ricchezza era qualcosa di inferiore, ma la gloria avrebbe coronato la mia scoperta se fossi riuscito a bandire la malattia dalla nostra specie e a rendere l'uomo invulnerabile da ogni morte che non fosse quella violenta.<sup>1</sup>

Frequentando l'Università di Ingolstadt, tuttavia, Frankenstein venne in contatto con una realtà completamente diversa, soprattutto grazie alle lezioni del professor Waldman:

Inizì la lezione con un breve accenno alla storia della chimica ed ai molti progressi fatti ad opera di scienziati, i più importanti dei quali citò con fervore. Diede poi una rapida scorsa allo stato attuale della scienza e spiegò molti dei suoi principi più elementari. Dopo aver eseguito alcuni esperimenti introduttivi, concluse con un elogio della chimica moderna che non potrò mai dimenticare

Gli antichi maestri di questa scienza, - disse - promettevano cose inattuabili, senza mai giungere a nulla. I ricercatori moderni promettono poco; sanno che i metalli non possono trasformarsi, che l'elisir di lunga vita è una chimera. Ma questi filosofi, le cui mani sembrano fatte unicamente per rimestare nel sudiciume ed i cui occhi sembrano destinati ad affaticarsi sul microscopio o sul crogiuolo, hanno davvero compiuto miracoli. Sono penetrati nei recessi della natura ed hanno reso noto il suo intimo lavoro. Salgono nei cieli: hanno scoperto come il sangue circola ed hanno individuato la natura dell'aria che respiriamo. Hanno conquistato poteri nuovi e quasi illimitati: possono comandare ai fulmini del cielo, imitare il terremoto e persino prendersi gioco del mondo invisibile con tutte le sue ombre.<sup>2</sup>

Waldman mostrò a Frankenstein come le potenzialità della chimica moderna fossero infinitamente superiori a quelle dell'antica alchimia. Consigliò inoltre al suo giovane allievo di ampliare la gamma delle sue conoscenze; soltanto in questo modo avrebbe potuto diventare un vero chimico:

La chimica è quella branca della filosofia naturale in cui sono stati fatti e sono tuttora possibili i più grandi progressi; per questo mi sono dedicato particolarmente al suo studio, senza tuttavia trascurare gli altri rami della scienza. Un uomo diventerebbe un ben misero chimico se si limitasse unicamente a questo campo del sapere umano. Se desiderate essere

1. Mary Shelley, *Frankenstein*, Milano, BUR, 1996, pp. 27-28

2. Ivi, p. 35.

davvero un uomo di scienza e non un meschino sperimentatore, vi consiglio di applicarvi a ogni ramo della filosofia naturale, compresa la matematica.<sup>3</sup>

A quale fonte si è ispirata Mary Shelley per elaborare questo elogio della chimica e del sapere scientifico? Conosciamo la risposta. Dietro il professor Waldman, infatti, si cela la figura del grande chimico inglese del primo Ottocento, Humphry Davy.<sup>4</sup>

Davy era uno scienziato romantico e le sue concezioni sulla materia erano ancora influenzate dalla teologia naturale settecentesca. Davy, nonostante avesse isolato il sodio ed il potassio, nel 1807, utilizzando la corrente di una pila formata da 250 elementi, e, l'anno successivo, il calcio, il bario, lo stronzio ed il magnesio, riteneva che la parte sublime della chimica non fosse costituita dallo studio di nuove sostanze e delle leggi delle loro combinazioni, bensì dalla ricerca delle affinità, ovvero delle forze alla base del comportamento della materia. Definire Davy semplicemente uno scienziato, nel senso contemporaneo del termine, sarebbe riduttivo. Egli, come molti altri uomini del suo tempo, era anche scrittore e poeta. All'inizio dell'Ottocento, la tanto discussa divisione fra le due culture, letteraria e scientifica, non era ancora stata consumata, né tanto meno si era affermata la specializzazione in campo scientifico. La chimica, in particolare, non aveva ancora uno status istituzionale ben definito. Basti pensare che gli studi ufficiali di Lavoisier ed Avogadro furono quelli in giurisprudenza, mentre la disciplina veniva per lo più insegnata all'interno delle facoltà di medicina.<sup>5</sup> Con l'eccezione della Francia, la moderna figura di chimico nacque nella seconda metà del secolo, in relazione alla comparsa dei grandi laboratori organizzati.



Humphry Davy

I temi della ricerca delle affinità e dello studio delle forze naturali furono molto sentiti all'interno della cultura e della letteratura pre-romantica e romantica, da *Le affinità elettive* di Goethe (di cui sono ben note le produzioni scientifiche) fino, per l'appunto, a *Frankenstein*, a testimonianza del fatto che il romanticismo (restando ferma la difficoltà di definirne i tratti in maniera univoca) non fu affatto un movimento culturale estraneo alla scienza, ma sostenne invece una particolare immagine del sapere scientifico, legata soprattutto a concezioni vitalistiche della natura.

Davy era un caro amico di William Godwin, il padre di Mary (uno degli intellettuali più importanti del suo tempo), e frequentava spesso la loro casa a Londra, talvolta insieme all'altro comune amico, il poeta Samuel Taylor Coleridge, anch'egli appassionato di scienze, inclusa la chimica. Celebre l'episodio in cui la piccola Mary (che era nata nel 1797) ascoltò (all'età di sei anni), nascosta dietro il divano del salotto di casa, Coleridge che recitava *La ballata del vecchio marinaio*. La popolarità di Davy fu enorme nella Londra dei primi decenni dell'Ottocento; le sue lezioni, tenute alla Royal Institution, erano seguitissime; i suoi libri circolarono ampiamente, e non solo fra gli specialisti, ma tra un ampio pubblico colto. Mary ben conosceva i testi di Davy (in particolare gli *Elements of chemical philosophy* del 1812) e da essi trasse ispirazione per scrivere molti passi del *Frankenstein* concernenti la chimica. Ciò che tuttavia verrà a mancare nel romanzo della Shelley, è l'importanza della dimensione sociale e del ruolo positivo attribuito da Davy alla chimica. Per quale motivo?

La rivoluzione di Lavoisier era risultata vincente anche perché aveva contribuito ad affermare l'idea che la chimica fosse una scienza socialmente utile, di fondamentale importanza per il miglioramento della qualità della vita e per rispondere ai bisogni primari dell'umanità. L'aumento del processo di industrializzazione, fondato su ideologie di matrice positivista, che esaltavano il progresso scientifico e tecnologico come fonte privilegiata per la crescita dell'uomo (anche morale e sociale), contribuì anche a formare un'immagine negativa della chimica presso l'opinione pubblica.

Il primo maggio 1851 venne inaugurata, alla presenza della regina Vittoria, la prima grande Esposizione Universale di prodotti industriali, che nell'ottica degli organizzatori doveva esibire i magnifici frutti dell'ingegno scientifico e dell'applicazione tecnologica. Sede della manifestazione fu il celebre Crystal Palace, appositamente costruito in poche settimane in Hyde Park a Londra. Ma non lontano dal Palazzo di cristallo c'era la Coketown descritta da Charles Dickens in *Hard Times* (1854) dove la realtà si presentava ben diversa e molto meno esaltante. In questa contraddizione, che attraversa tutta l'età del Positivismo, sta il destino della chimica contemporanea, anche in campo letterario. Progressivamente, essa non fu più percepita come strumento di conoscenza della realtà e come disciplina di pubblica utilità, ma esclusivamente come fornitrice di prodotti industriali (spesso responsabili di contaminazioni ambientali), subordinata alle esigenze dell'economia e della politica.

Naturalmente gli elementi di valutazione positiva dello sviluppo della chimica non mancavano ed erano sotto

3. Ivi, p. 36

4.R. Simili, *Mary Shelley 1818. Una voce scientifica singolarmente audace*, in *Scienza a due voci*, a cura di R. Simili, Firenze, Olschki, 2006, pp. 111-163.

5. M. Ciardi, *Amedeo Avogadro. Una politica per la scienza*, Roma, Carocci, 2006.

## Chimica, storia e fantascienza

gli occhi di tutti. Un semplice esempio: alla metà del secolo iniziò il periodo delle creazioni di prodotti organici sintetici, a partire dai coloranti. Anche se la maggior parte dei coloranti sintetici non avrebbe mai potuto essere realizzata senza le progressive conquiste della chimica teorica, il primo impulso allo sviluppo di questa industria venne dalla sintesi della mauveina ottenuta, in maniera del tutto casuale, da William Henry Perkin nel 1856, e quindi ben prima della scoperta della struttura del benzene (ciò a ribadire il fatto che non esiste un rapporto univoco tra progresso scientifico e trasferimento tecnologico). Da questo momento la produzione di coloranti assunse una crescente importanza, ad esempio nell'industria tessile, mettendo a disposizione una gamma sempre più ampia di coloranti da impiegare su fibre naturali e chimiche. Ma, incredibilmente, il prodigioso sviluppo dell'industria dei coloranti venne in aiuto anche all'istologia e alle pratiche terapeutiche. Gli istologi notarono infatti che alcuni coloranti potevano possedere una affinità per certi tessuti o formazioni cellulari. A seguito di queste indagini, Paul Ehrlich maturò la convinzione che certe sostanze chimiche potessero concentrare la loro azione unicamente contro cellule cancerogene o affette da altre patologie, e verso la fine del secolo iniziò a lavorare intorno agli effetti positivi della chemioterapia nel trattamento di alcune forme di sifilide fino ad allora considerate incurabili. Nel 1908 Ehrlich ricevette il Nobel per le sue straordinarie scoperte nel trattamento del cancro e nella spiegazione dei fenomeni immunologici, che posero anche le premesse per la futura applicazione dei sulfamidici e degli antibiotici.

Nonostante ciò la chimica continuò perlopiù ad essere concepita come dannosa e nociva. Anche Jules Verne, che certamente non può essere considerato un detrattore del progresso tecnologico, pubblicò nel 1872 (lo stesso anno in cui usciva *Il giro del mondo in ottanta giorni*), un breve racconto dal titolo *Une fantaisie du docteur Ox*, in cui metteva in guardia il lettore dai rischi e dalla pericolosità dello sconsiderato uso delle sostanze chimiche. Protagonista del romanzo è infatti uno scienziato che, incaricato dagli abitanti di una piccola cittadina delle Fiandre di costruire un impianto per l'illuminazione pubblica a gas, realizzò a loro insaputa un esperimento per verificarne le reazioni sotto l'effetto di una dose eccessiva di ossigeno immessa nell'atmosfera. Ox (ovvia abbreviazione di *oxygène*) viene descritto da Verne come un personaggio ambiguo, a metà strada fra il ricercatore professionista, «uno scienziato audace, un fisiologo le cui opere son note e apprezzate da tutti gli scienziati di Europa, un fortunato rivale di Davy e Dalton», e lo stregone, «strano, dal sangue caldo e impetuoso, un vero eccentrico, degno di stare in un volume di Hoffmann».<sup>6</sup>

In ogni caso, non è sempre stata la chimica a fornire i materiali per le fantastiche narrazioni degli scrittori di fantascienza. Talvolta, infatti, il rapporto tra ricerca scientifica e produzione letteraria si è rivelato assai più complesso, fin al punto che, in certi casi, è stata la fantascienza a risultare fonte di ispirazione per gli scienziati:

Il problema che era già stato affrontato all'inizio del ventesimo secolo da scienziati come Ramsay, Rutherford e Soddy, il problema di indurre la radioattività negli elementi più pesanti e di sfruttare così l'energia interna degli atomi, fu risolto da Holstein, grazie ad una prodigiosa combinazione di induzione, intuizione e fortuna, già nell'anno 1933. Dalla prima scoperta della radioattività al momento in cui venne soggiogata e sfruttata per i fini dell'umanità trascorse poco più di un quarto di secolo.<sup>7</sup>

Questo brano non fa parte, come magari qualcuno potrebbe pensare, di un approssimativo ed un po' superficiale volume di storia della scienza o di divulgazione scientifica, contenente errori ed imprecisioni, ma è tratto da uno dei più celebri romanzi di Herbert George Wells, *The World Set Free* (1914), in cui lo scrittore inglese predice la scoperta dell'energia atomica.

Wells aveva tratto ispirazione per il soggetto del suo romanzo dalla lettura di una fortunata opera di Frederick Soddy, *The Interpretation of Radium* (1909),<sup>8</sup> in particolare «l'undicesimo capitolo di quel libro».<sup>9</sup> Tra il 1904 ed il 1909, infatti, Soddy (che si era laureato in chimica ad Oxford nel 1898, e che avrebbe ricevuto il Premio Nobel per la chimica nel 1921, per gli studi sulla chimica delle sostanze radioattive e le ricerche sugli isotopi), pubblicò alcuni scritti di grande successo, come *Radioactivity: An Elementary Treatise from the Standpoint of the Disintegration Theory*, nel 1904 e, appunto, l'ancor più celebre *The Interpretation of Radium*, in cui venivano messe in



Frederick Soddy

6. J. Verne, *Una fantasia del dottor Ox*, Firenze, Passigli, 2005.

7. H. G. Wells, *La liberazione del mondo*, in Id., *La guerra nell'aria e altre avventure di fantascienza*, a cura di F. Ferrara, 1981, Milano, p. 238.

8. F. Soddy, *The Interpretation of Radium: Being the substance of six free experimental lectures delivered at the University of Glasgow, 1908*, London, John Murray, 1909.

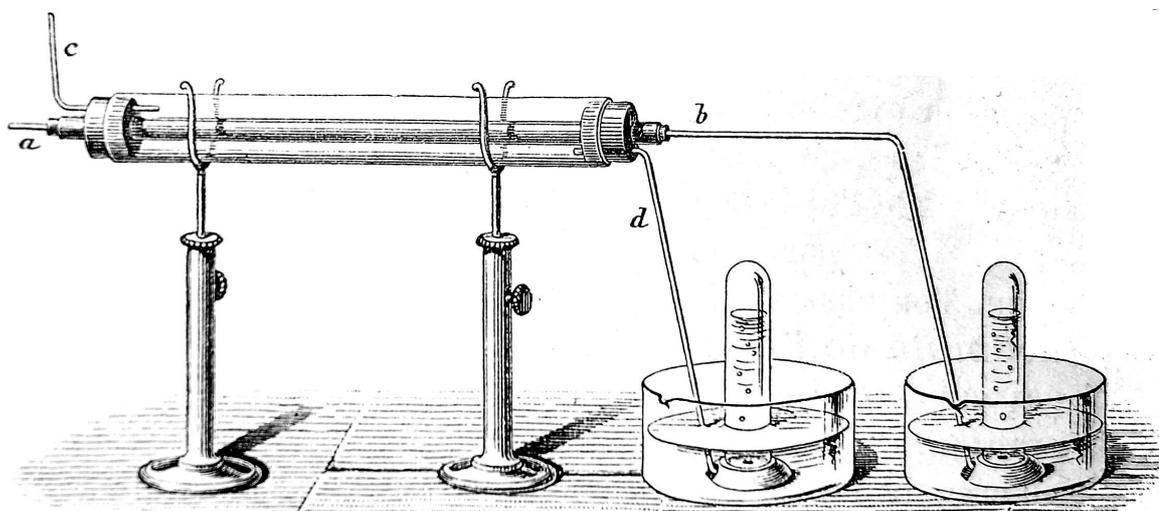
9. Così scrive Wells in apertura del romanzo nella dedica a Soddy; cfr. L. Merricks, *The World Made New. Frederick Soddy, Science, Politics, and Environment*, Oxford, Oxford University Press, 1996, pp. 67-68.

evidenza le potenzialità energetiche insite nella disgregazione atomica. In seguito Leo Szilard e altri scienziati avrebbero dichiarato di essere stati influenzati, nel corso delle loro ricerche, dalla lettura del testo di Wells.<sup>10</sup>

Non tutta la fantascienza ha però sempre prodotto un'immagine negativa della chimica. Al contrario, una delle più grandi iniziative a favore della sua diffusione positiva e della sua conoscenza da parte dell'opinione pubblica è stata portata avanti proprio da uno dei più celebri scrittori di *science fiction*, ovvero Isaac Asimov, il quale com'è noto, ebbe una formazione rigorosamente scientifica (si laureò nel 1939 alla Columbia University in chimica e biologia ed ottenne il dottorato in biochimica nel 1948, dopo aver lavorato come chimico, durante la guerra, presso il Naval Air Experimental Station ed aver partecipato al primo esperimento atomico del dopoguerra, a Honolulu). Asimov, tuttavia, è stato anche uno straordinario divulgatore (paragonabile a grandi nomi come Carl Sagan o Stephen Jay Gould) e un ottimo conoscitore della storia della scienza, a dimostrazione di come ricerca, creatività e conoscenza della storia possano andare di pari passo, con risultati estremamente incoraggianti. La sua *Breve Storia della chimica* (1965)<sup>11</sup> ha rappresentato per molto tempo un prodotto di ottimo livello, e non soltanto a livello di divulgazione. Poteva infatti (e può esserlo ancora oggi, nonostante la specializzazione nell'ambito degli studi storici) essere consigliata ad un qualsiasi studente (sia liceale che universitario) di chimica che intendessi avviarsi allo studio della storia della chimica. Sarebbe già un passo in avanti, visto che la storia della chimica continua praticamente ad essere ignorata (tranne le solite – poche – lodevoli eccezioni) nei percorsi di formazione dei futuri chimici.

10. V. Cioci, *Science fiction e realtà: La liberazione del mondo di H. G. Wells e il suo influsso sugli scienziati atomici*, in N. Pitrelli, D. Ramani, G. Sturloni (a cura di), *Atti del VI Convegno di comunicazione della Scienza*, Monza, Polimetrica, 2008, pp. 97-102.

11. I. Asimov, *Breve storia della chimica*, Bologna, Zanichelli, 1968 (più volte ristampata).



Endosmose du gaz hydrogène.

# Sistemi complessi e didattica delle scienze

## L'esperienza di SPAIS 2008

Paola Ambrogi\*, Michele Antonio Floriano<sup>o</sup>, Elena Ghibaudi<sup>§</sup>

\*I.T.I.S. "L. Nobili" Reggio Emilia, SSIS Università di Modena e Reggio Emilia;

<sup>o</sup>Dip. Chimica Fisica, Università di Palermo;

<sup>§</sup>Dip. Chimica IFM, Università di Torino

### Riassunto

*Il discorso sulla complessità viene spesso descritto come "una rivoluzione silenziosa" che sta investendo campi di indagine lontanissimi tra loro e si pone in modo trasversale rispetto alla tradizionale divisione disciplinare tra mondo umanistico e scientifico. Esso nasce dalla critica al riduzionismo ontologico e si focalizza sui meccanismi che permettono il funzionamento di un sistema come "un tutto". Le conseguenze di questa critica sono sostanziali, in quanto investono l'approccio epistemico che ha caratterizzato tutta la scienza moderna, newtoniana e cartesiana, con ricadute sia sulla pratica della ricerca scientifica che sulla prassi didattica. L'edizione 2008 della Scuola di Aggiornamento Permanente per gli Insegnanti di Scienze (SPAIS), che ha avuto come oggetto "I sistemi complessi", è stata l'occasione per avviare un confronto tra insegnanti in merito alle implicazioni didattiche del discorso sulla complessità.*

### Abstract

*The debate over complexity is often defined as "a silent revolution" that concerns very different fields of investigation and is transversal with respect to the traditional clearcut separation between the humanities and scientific disciplines. It rises from the criticism of ontological reductionisms and it is focused on the mechanisms that allows a system to function as a "whole". The consequences of such criticism are substantial, as they concern the epistemic approach that has characterized modern (newtonian and cartesian) science, with repercussions on both the praxis of scientific research and teaching. The 2008 edition of the "Scuola di Aggiornamento Permanente per gli Insegnanti di Scienze (SPAIS)" devoted to "Complex systems" gave occasion to a group of teachers of scientific disciplines for debating about the implications of the complex approach on the teaching activity.*

### La complessità: un oggetto di ricerca scientifica o umanistica?

Negli ultimi decenni, sia in ambito scientifico che umanistico, è emerso un concetto fortemente innovativo: quello di complessità. Esso nasce dalla critica al riduzionismo ontologico, in base al quale la conoscenza di un sistema si riconduce a quella delle parti che lo compongono. Le conseguenze di questa critica sono sostanziali, in quanto investono l'approccio epistemico che ha caratterizzato tutta la scienza moderna, newtoniana e cartesiana. Non per nulla, il dibattito sulla complessità viene spesso descritto come "una rivoluzione silenziosa". L'atteggiamento critico nasce dall'osservazione di fenomeni e problemi che non possono essere affrontati efficacemente adottando il tradizionale approccio riduzionista, capace di fornire informazioni sui costituenti di un sistema ma non di spiegarne il funzionamento collettivo. Ci riferiamo qui ai cosiddetti problemi non-lineari, ovvero quelli per i quali non vale il principio di sovrapposizione in quanto la loro soluzione non può essere ottenuta come somma di soluzioni più semplici quali, ad esempio, il rapporto non-lineare tra genotipo e fenotipo; il rapporto tra proprietà molecolari e proprietà atomiche; la termodinamica dei sistemi lontani dall'equilibrio; il problema dei tre corpi; il rapporto tra il cervello e la mente (intesa come insieme di operazioni eseguite dal cervello come organo); il problema dell'auto-referenzialità e della circolarità, che si manifesta nei processi iterativi.

Secondo l'ottica complessa, in un sistema il tutto è più della somma delle parti, vuoi perché contiene informazione nuova, non presente nelle singole parti, vuoi perché le parti non sono distinguibili dal tutto; la relazione che intercorre tra l'insieme delle parti ed il sistema può essere paragonata a quella che intercorre tra un insieme di musicisti ed un'orchestra, oppure tra un insieme di animali e una mandria o uno sciame. Le proprietà peculiari del sistema considerato nel suo intero, che non sono riconoscibili a livelli più bassi di organizzazione, vengono dette *emergenti* e si originano dall'organizzazione del sistema stesso<sup>1</sup>. Ciò è possibile in quanto un aspetto costitutivo dei sistemi complessi è la presenza di un intreccio dinamico di relazioni tra le parti, che segue logiche non lineari (meccanismi di feedback e circolarità), responsabili di fenomeni di auto-organizzazione e dell'emergere di proprietà e funzioni sistemiche che non

1. Con il termine "organizzazione" intendiamo quella condizione grazie alla quale le parti di un sistema, interagendo fra loro, generano all'interno del medesimo una struttura riconoscibile.

sono associabili ai singoli costituenti. Lo stesso termine “organizzazione” in questo contesto non va inteso in senso statico, come qualcosa di dato una volta per tutte, quanto come qualcosa che diviene continuamente e, in un certo senso, si “auto-crea” incessantemente, secondo un processo autopoietico [1]. E’ dunque implicita una visione dinamica del sistema, che viene identificato come soggetto depositario di informazione, la quale risiede a diversi livelli e in diversi gradi di contenuto.

Un primo tentativo di concettualizzare la complessità e di elaborare una “Teoria dei sistemi” si può far risalire a Von Bertalanffy (1940) ed è stato seguito dai contributi importanti e decisivi di studiosi appartenenti alle più svariate aree disciplinari: Robert Rosen e Nicholas Rashevsky (che si interessarono di biologia teoretica e di fisica), Ilya Prigogine (chimico fisico, studioso della termodinamica dei sistemi irreversibili), Alfred Lotka (matematico e chimico fisico, noto per i suoi studi sulla dinamica delle popolazioni), George Lakoff (un linguista), Fritjof Capra, (fisico di formazione, che ha molto lavorato sulla teoria dei sistemi), Edgar Morin (filosofo e sociologo, che ha fatto della transdisciplinarietà il metodo portante della sua analisi della realtà), solo per citarne alcuni. Questo breve elenco lascia trasparire il carattere intrinsecamente multidisciplinare del tema della complessità, che non si configura tanto come una teoria quanto come nuova prospettiva epistemologica la quale - prendendo le mosse dalla critica del paradigma riduzionista - rompe i confini tradizionali tra le discipline, nel tentativo di trovare soluzioni a problemi non convenzionali. Il presupposto fondante di tale prospettiva è che “la chiave per comprendere un sistema risiede negli schemi relazionali e nelle interazioni tra gli agenti del sistema”[2], in quanto sono le interdipendenze e le retroazioni tra gli elementi a creare l’intero. Di conseguenza, frammentando il sistema, il metodo analitico distrugge proprio ciò che sta cercando di comprendere.

### Quale intreccio tra complessità e didattica?

La critica al riduzionismo insita nel discorso sulla complessità ha forti ripercussioni anche sull’approccio tradizionale alla didattica delle scienze. A risultarne modificata è la stessa idea di scienza, se è vero quanto scrive Cerruti: “La comprensione degli allievi del grande fenomeno “scienza” passa anche attraverso la loro cognizione esatta delle relazioni che intercorrono fra le discipline scientifiche, matematica compresa”[3]; quindi, concependo la scienza stessa come sistema complesso, si fa giustizia di ogni pretesa riduzionista. Ciò spinge inesorabilmente verso un approccio integrato all’insegnamento delle scienze, se accettiamo l’idea che – citiamo ancora Cerruti – “l’indipendenza di una disciplina si articola a livello dell’organizzazione, dominata e regolata dalle relazioni epistemiche fondamentali proprie della disciplina stessa. Il rapporto con le altre discipline avviene attraverso le strutture e sarà tanto più forte quanto maggiore sarà l’accoppiamento strutturale. Le gerarchie scompaiono e alla classica successione *matematica* → *fisica* → *chimica* → *biologia* viene sostituito un habitat sociale (antropologico) *la cultura scientifica*, in cui le discipline convivono” [3]. E’ importante notare che questo approccio preserva *in toto* l’identità dei singoli ambiti disciplinari: ciò che viene rimesso in questione è la relazione tra le discipline. In nessun modo si auspica la fusione degli ambiti disciplinari in un tutto indistinto, ciò che rischierebbe di tradursi in una forma di “qualunquismo” scientifico, che condurrebbe al degrado della didattica delle scienze invece che alla sua valorizzazione. La sfida è ardua e implica una revisione del percorso di formazione degli insegnanti, in una direzione che garantisca la coesistenza di solide competenze disciplinari e di un’attitudine (sostanziale e non solo di tendenza) al confronto con le altre discipline. I vantaggi di un simile cambio di prospettiva sono palesi e ciò è particolarmente vero per le discipline chimiche. Infatti, la chimica è una scienza intrinsecamente sistemica se, come osserva G.Villani [4], “il concetto di sistema è collegabile a quello di molecola (principale concetto della chimica in ambito microscopico) e a quello di composto chimico”. Il comportamento delle specie chimiche è fortemente caratterizzato dall’intorno in quanto le diverse specie, pur dotate di identità definita, esplicitano determinate proprietà solo in funzione della loro interazione con un ambiente specifico. Villani, nel suo recente testo “Complesso e organizzato” [5] fa notare come – dal punto di vista chimico - non sia corretto parlare genericamente di “idrogeno”, in quanto quello stesso atomo presenta proprietà sostanzialmente diverse a seconda del contesto molecolare in cui è collocato. E, per esemplificare, esamina la molecola di etanolo e confronta le proprietà chimiche dell’atomo di H legato all’ossigeno con quelle - chiaramente differenti - degli atomi di H presenti del gruppo metilenico o metilico della stessa molecola. La chimica è una “scienza di relazioni” e ciò la rende implicitamente una scienza sistemica, ovvero complessa. Ma il discorso può essere spinto ben oltre. J.M. Lehn [6] propone di ripensare la chimica come “scienza dell’informazione”, un’informazione codificata in chiave molecolare e supramolecolare, la quale è suscettibile di essere stoccata recuperata, elaborata e trasferita. Solo la capacità delle molecole di interagire tra loro operando una selezione (in senso darwinistico) in risposta a fattori intrinseci o estrinseci, può spiegare l’emergere di sistemi molecolari dinamici, dotati di capacità di auto-organizzazione e di proprietà adattive. Secondo Lehn, questa è la strada che ci porterà a spiegare l’emergere della vita dalla materia inanimata [7] e configura la chimica come snodo essenziale per la comprensione del problema “biologico” per eccellenza, ovvero la natura del fenomeno vita.

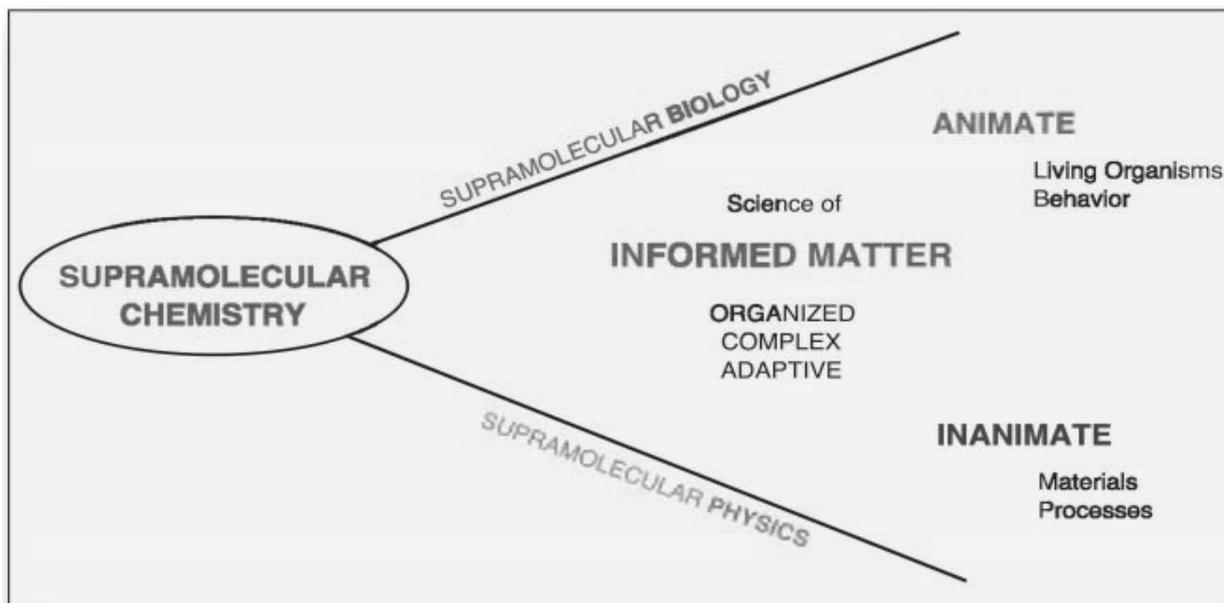


Fig. 1 – Il ruolo della chimica supramolecolare: un ponte tra fisica e biologia.  
J.M. Lehn Science (2002) **295**, p.2400

Ma, senza limitarsi all'ambito chimico, l'approccio complesso in ambito didattico va perseguito in quanto capace di restituire agli allievi un'immagine della realtà più credibile di quella offerta dal settarismo disciplinare. Il carattere intrinsecamente transdisciplinare di questa "filosofia della conoscenza" apre prospettive per l'adozione di metodologie d'insegnamento fondate su una profonda interazione tra ambiti disciplinari differenti, capace di superare anche la storica dicotomia tra discipline umanistiche e scientifiche, come osservato da C.P.Snow [8] che nel suo saggio su "Le due culture" metteva in guardia dai danni di tale separazione. Secondo E. Morin [9] "Le unità complesse, come l'essere umano o la società, sono multidimensionali: così, l'essere umano è nel contempo biologico, psichico, sociale, affettivo, razionale....La conoscenza pertinente deve riconoscere questa multidimensionalità..."; oggi appare sempre più evidente la necessità di un'unica Cultura che sani "un'inadeguatezza sempre più ampia, profonda e grave tra, da una parte, i nostri saperi disgiunti, frazionati, compartimentati e, dall'altra, realtà o problemi sempre più pluridisciplinari, trasversali, multidisciplinari, transnazionali, globali, planetari"[9]. Anche G. Giordano osserva che "Se tutto è collegato, allora tutto è necessario per comprendere la realtà....Nessuna spiegazione, quindi, se non per comodità pratica, può prescindere dalla reticolarietà del reale" [10]. D'altra parte, stando a quanto riportato dalla stampa e dai periodici, si direbbe che l'approccio sistemico alla realtà stia diventando parte del senso comune. Un articolo comparso su Newsweek nel gennaio 2008 [11] dedicato ad una analisi delle possibili cause del terrorismo suggerisce l'esistenza di relazioni tra violenza e tipo di formazione ricevuta; secondo alcuni psicologi, esisterebbe una correlazione tra il comportamento di questi individui ed una *forma mentis* derivante da una formazione accademica troppo tesa a sistematizzare e semplificare il mondo. Anche nell'analisi del popolare cartone animato "I Simpson" proposta da Marco Malaspina [12] si legge "...la scienza in "I Simpson" già lo sappiamo, riserva sempre qualche sorpresa. In fin dei conti, quella proposta dalla serie è una visione quanto mai ecologica, addirittura olistica, della società e della natura: ogni scelta, ogni azione, si ripercuote su tutto il sistema. Solo che mentre nell'ecologia (anche sociale, semplificata e un po' moralista) alla quale siamo ormai assuefatti le ripercussioni sono quasi sempre lineari e minacciose (se inquiniamo si sciogliono i ghiacci, se c'è troppa violenza in TV i ragazzini diventano aggressivi e così via), in "I Simpson" capita spesso che i processi siano meravigliosamente complessi".

Le potenzialità dell'approccio complesso sembrano essere state ben recepite ed illustrate dai documenti ministeriali contenenti le indicazioni per i curricula, ove si legge quanto segue [13]: "La sfida che la complessità prospetta alla scienza è soprattutto quella di esplorare e sviluppare il territorio dell'interdisciplinarietà, della multidimensionalità del reale, della complementarietà dei saperi. Nel nuovo paradigma della complessità, le diverse discipline si presentano come un sistema a rete, con correlazione e nodi multipli. In questo modo vengono superate tutte le chiusure disciplinari, tutte le dicotomie che finiscono per paralizzare la ricerca e per impedire la comprensione e la trasformazione della realtà."

### L'esperienza di SPAIS 2008

A fronte di uno scenario di idee incontestabilmente innovativo e potenzialmente fecondo, resta da capire come tradurre tutto ciò nella prassi didattica. Di questo si è discusso nel corso dell'edizione 2008 di SPAIS<sup>2</sup> (Scuola Permanente di Aggiornamento degli Insegnanti di Scienze) dedicata al tema dei "Sistemi complessi". La natura intrinsecamente multi- ed interdisciplinare del tema prescelto ha trovato riscontro nella varietà di aree di appartenenza dei docenti iscritti alla scuola (Fig. 2), così come nei profili dei relatori, dal momento che la scuola ha visto alternarsi contributi di esperti in campi quali la filosofia, la chimica, la biologia, la fisica, l'ecologia, l'ingegneria, la matematica e l'immunologia.<sup>3</sup>

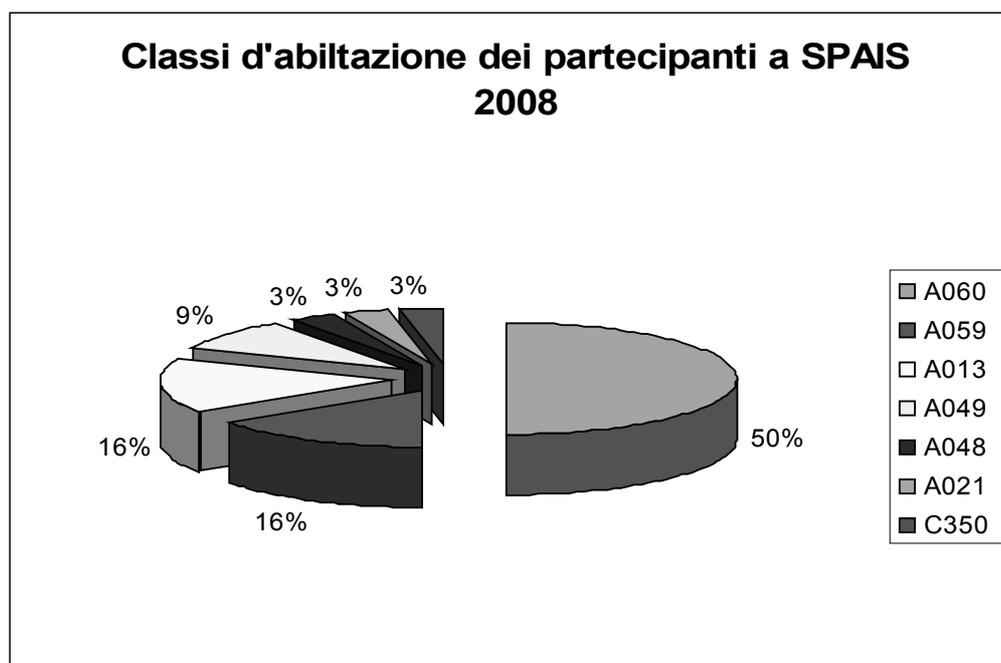


Fig.2 – Classi di abilitazione dei partecipanti a SPAIS2008

La scuola prevedeva l'alternanza di seminari, tenuti dai diversi relatori, con sessioni di lavoro di gruppo<sup>4</sup> nel corso delle quali si è tentato di far emergere gli interrogativi e le riflessioni suscitate dagli interventi degli esperti nel pubblico di insegnanti e di stimolare i partecipanti ad individuare possibili vie di integrazione dell'approccio complesso con la didattica in aula e in laboratorio.

La prima sessione di lavori di gruppo e l'inerente discussione hanno consentito ai partecipanti di offrire una propria definizione del concetto di complessità e di quello di sistema. Ecco le principali proprietà individuate come peculiari dei sistemi complessi:

- Mutua interazione tra le parti, che modifica il sistema
- Proprietà emergenti (il tutto è diverso dalla somma delle parti)
- Evoluzione temporale e strutturale (il sistema è dinamico, l'organizzazione è un "processo")
- Auto-organizzazione
- Impredicibilità
- Non linearità

2. SPAIS 2008, 15-19 luglio 2008, Isnello (Pa) – organizzata dal prof. A.M. Floriano con i contributi di SCI-DiDiChim, AIC, AIF, ANISN, Università di Palermo e dell'Ufficio Scolastico Regionale della Regione

3. I seminari hanno avuto come oggetto i seguenti argomenti: Complessità e formazione (G. Gembillo); Il ruolo della chimica nelle scienze della complessità (G. Villani); Modelli per il Caos deterministico (A. Floriano); Dalle molecole alla chimica supramolecolare (V. Balzani); L'approccio complesso in biologia ed immunologia: la biologia dei sistemi e le reti biologiche (C. Franceschi); La rivoluzione scientifica ed epistemologica di Prigogine (G. Gembillo); Caos e frattali nei sistemi dinamici (L. D'Alessio); Biodiversità e complessità negli ecosistemi e nei sistemi naturali (M. Gatto, S. Riggio); Effetti indotti dal rumore nei sistemi complessi (B. Spagnolo); Econofisica (R. Mantegna); Complessità nell'alta tecnologia (U. Mastromatteo).

4. Le sessioni di gruppo di SPAIS2008 sono state condotte da Paola Ambrogi e Elena Ghibaudi

## Sistemi complessi e didattica delle scienze

Intorno al termine “sistema” si è sviluppata una vivace discussione, che ha fatto emergere vari interrogativi: un sistema può essere semplice o il concetto di sistema implica necessariamente la complessità? Un sistema semplice è reso tale dall’assenza di retroazione? Oppure è una idealizzazione? La classificazione di un sistema come “semplice” o “complesso” dipende dal nostro grado di conoscenza del sistema stesso? Qual è il ruolo delle interazioni tra le parti di un sistema nel definirne la complessità? Esistono livelli distinti di complessità? La presenza di proprietà emergenti è essenziale per riconoscere un sistema come complesso? E l’impredicibilità? Si è inoltre affrontato il problema della complessità dei manufatti artificiali (macchine) rispetto a quella dei sistemi naturali; il rapporto tra una complessità che si ritrova a diverse scale ed i frattali, con le loro proprietà di autosimilarità; la presenza di dinamiche interne al sistema complesso (meccanismi di retroazione) che lo modificano e lo fanno evolvere; la non linearità ed il conseguente rapporto non più biunivoco tra cause ed effetti.

Interpellati sull’importanza/opportunità di affrontare in classe il discorso sulla complessità e di incrementare la collaborazione tra discipline differenti, la maggior parte degli insegnanti si è dichiarata convinta della necessità di un approccio didattico aperto ad una visione d’insieme della realtà, basata anche sulla collaborazione tra le discipline; ma ha altrettanto fermamente sottolineato la difficoltà di tradurre in prassi didattica questo tipo di approccio e di visione del mondo, come si evince dalle Figure 3 e 4.

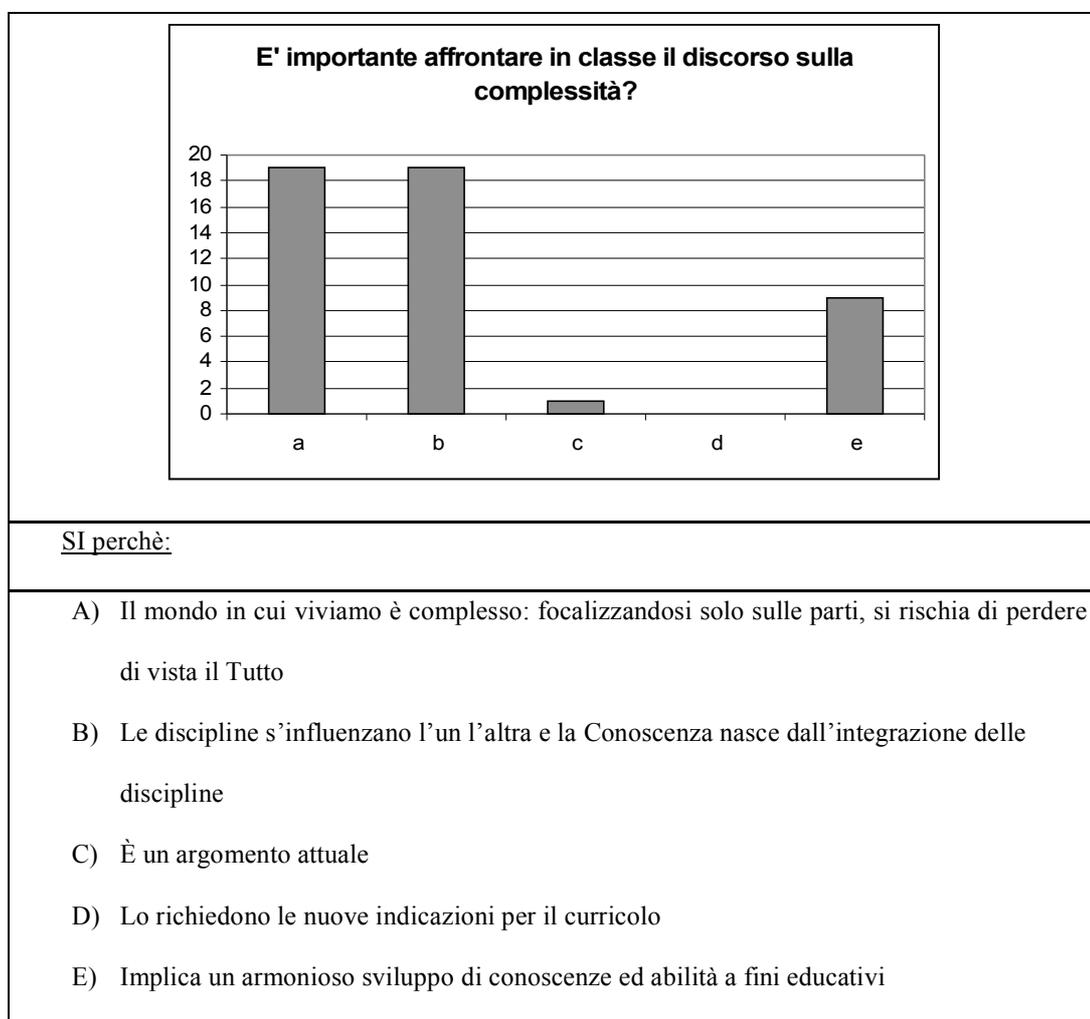
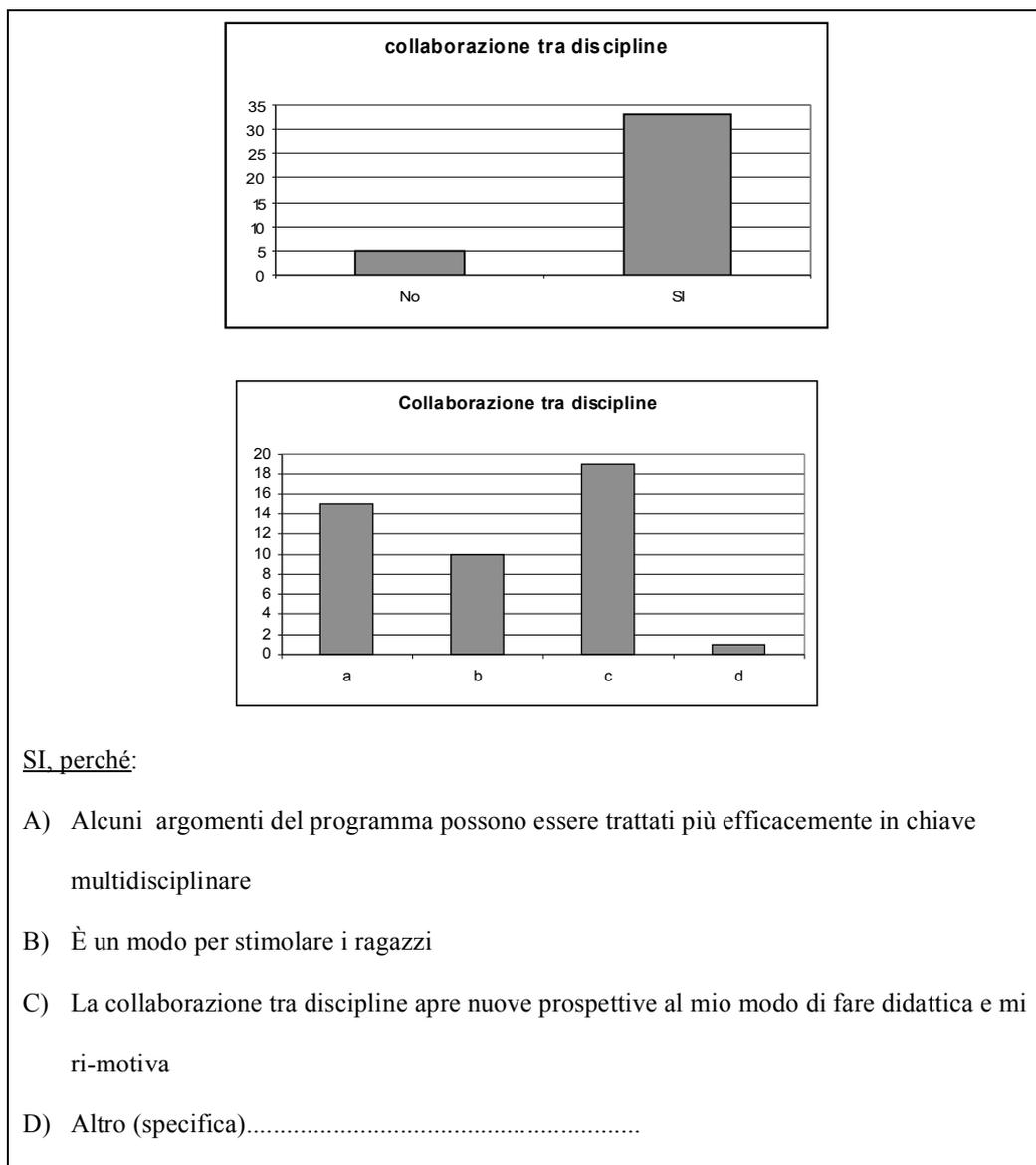


Fig.3 – La complessità in classe: risposte ad un questionario



**Fig.4** – La collaborazione tra discipline: risposte ad un questionario

La discussione che ne è seguita ha fatto emergere tutta la difficoltà di far evolvere l'approccio didattico multidisciplinare in un approccio sistemico, che si fonda sulla coscienza dell'interazione a rete delle discipline e sul loro intreccio interdisciplinare. Si è tuttavia osservato un progressivo aumento di attenzione circa il fatto che l'attuale visione riduzionista della realtà sembra inadeguata a descrivere un numero crescente di fenomeni e che la comunità scientifica si sta orientando verso una lettura olistica della realtà. Ciò ha messo in evidenza la discrasia esistente tra l'attuale approccio didattico, eccessivamente focalizzato sulle singole discipline, e l'emergere di una cultura a rete all'interno della quale le discipline si armonizzano e dialogano tra loro.

L'introduzione dell'approccio complesso in ambito didattico resta dunque un problema aperto, in quanto si scontra con difficoltà di ordine pratico e concettuale. Tra le maggiori difficoltà di ordine pratico vi è il fatto che l'approccio interdisciplinare implica disponibilità alla collaborazione tra colleghi di discipline diverse e questo, a detta dei partecipanti alla scuola estiva, è un obiettivo la cui difficoltà di realizzazione pare aumentare salendo di grado scolare.

E tuttavia si fa strada la convinzione che la complessità, lungi dal rappresentare un nuovo argomento da aggiungere ai già sovraccarichi curricula didattici, può essere pensata come un'opportunità irripetibile per rinnovare pratiche didattiche talora obsolete, aumentandone l'efficacia, e come uno strumento capace di offrire ai docenti nuove motivazioni per il proprio intervento educativo e formativo.

**Bibliografia**

- [1] H.R. Maturana, F.J. Varela, *L'albero della conoscenza*, (1987) Milano, Garzanti [titolo originale: *El árbol del conocimiento*, 1984]
- [2] R. Anderson et al., *Qual. Health Res.* (2005) **15**, 669-685
- [3] L. Cerruti, *La Chimica nella Scuola* (2004) **2**, 37-44
- [4] G. Villani, *La Chimica nella scuola* (2005) **4**, 88-97
- [5] G. Villani, *Complesso e organizzato* (2008) Franco Angeli Ed.
- [6] <http://www.rsc.org/publishing/journals/CS/article.asp?doi=b616752g>
- [7] J.M. Lehn *Chem. Soc. Rev.* (2007) **36**, 151-160; J.M. Lehn *Science* (2002) **295**, 2400-2403; in quest'ultimo articolo si legge "Self-organization is the driving force that led to the evolution of the biological world from inanimate matter [...]. Supramolecular chemistry provides ways and means for progressively unraveling the complexification of matter through self-organisation"
- [8] C.P. Snow "Le due culture" (1970) Ed. Feltrinelli (1970)
- [9] E. Morin "I sette saperi necessari all'educazione del futuro" (2001), Ed Raffaello Cortina p. 37
- [10] G. Giordano "Scienza, complessità, specialismo" *Complessità* (2007) **I**, p.116
- [11] P.Falby *Extreme profession*, Newsweek Dec.31 2007/Jan. 7 2008, p.5
- [12] M. Malaspina *La scienza dei Simpson* (2007) Sironi Ed., p.136
- [13] Ministero della Pubblica Istruzione, Commissione ministeriale per la riorganizzazione degli Istituti Tecnici e Professionali, Documento finale, Roma, 3 marzo 2008

# Nota sulle classi di concorso per l'insegnamento della Chimica nella Scuola secondaria superiore

Maria Gaudenzi

Pisa

## Premessa

Scopo della presente nota non è quello di sviluppare una proposta organica relativa all'insegnamento della chimica nelle scuole secondarie superiori, ma semplicemente quello di esporre alcune considerazioni molto pragmatiche che derivano da una lunga esperienza di insegnamento, prevalentemente in Istituti Tecnici Commerciali.

## Introduzione

Il progetto allo studio per la riduzione delle ore di insegnamento nelle Scuole Secondarie e più in generale per la riorganizzazione dei piani di studio venne diffuso in bozza nello scorso mese di novembre, anche a mezzo internet, quando sembrava che la riforma sarebbe stata avviata sin dall'A.S. 2009-2010<sup>1</sup>.

Il rinvio all'anno successivo non deve illudere che il processo possa essere fermato; del resto esso è almeno in parte condivisibile. In molti istituti tecnici si opera con un orario settimanale di 36 ore, 6 ore al giorno dal lunedì al sabato. Si tratta di un impegno notevole dal punto di vista didattico, senza contare le considerazioni pratiche, quali ad esempio le difficoltà che incontrano gli studenti pendolari, a volte costretti ad uscire prima del termine delle lezioni.

Spesso la soluzione è quella di ridurre la durata delle ore da 60 a 55 o più spesso a 50 minuti, vale a dire che si risolve un problema creandone altri: le lezioni sono meno efficaci, e per gli insegnanti si apre una serie di contenziosi burocratici per il recupero dei minuti decurtati. Portare le ore settimanali a 30, con la dovuta gradualità, è un obiettivo condivisibile e, anzi, appare discutibile che la riduzione si fermi a 32 come appare nella bozza ministeriale.

In questo contesto è inevitabile che anche le ore dell'insegnamento della chimica siano ridotte, ed ogni azione che si andrà a fare non potrà non tener conto di questa inevitabile condizione al contorno.

## Lo stato attuale delle classi e delle materie di insegnamento

Il panorama delle classi di insegnamento è attualmente estremamente spezzettato, e questo nonostante l'ultima riforma delle classi di concorso, che in parte lo ha semplificato. Ad esempio, nel settore della chimica venne istituita la classe di insegnamento "Chimica e tecnologie chimiche" (l'attuale classe 13), cui affluirono le preesistenti "Chimica", "Chimica industriale" e varie altre classi. Peraltro l'insegnamento della chimica rientra anche nella "generalissima" classe 60 "Scienze naturali, chimica, geografia, fitopatologia, entomologia agraria, microbiologia", alla quale accedono laureati in diverse discipline, tipicamente in Scienze Biologiche, in Scienze Naturali, in Scienze Geologiche e naturalmente anche in Chimica, i quali ultimi rimangono tuttavia una piccola minoranza.

Per quanto riguarda le materie di insegnamento, la situazione è molto semplice nei licei: l'insegnamento della chimica rientra in quello più vasto delle scienze ed è assegnato ad insegnanti della classe 60.

Negli istituti tecnici la situazione è più complessa. In alcuni indirizzi (chimico, fisico, biologico) la chimica è presente non solo come materia di base ma anche come materia professionalizzante (chimica analitica, chimica-fisica, chimica organica, chimica industriale, impianti chimici, etc.).

Nella maggior parte dei corsi (p.e. periti meccanici, elettronici, etc.) le ore di chimica, presenti una volta in discreto numero, sono state ridotte o addirittura eliminate.

In altri casi, infine, la chimica ha cambiato funzione, diventando materia essenzialmente formativa. E' il caso degli istituti tecnici commerciali, dove l'insegnamento della chimica, in precedenza propedeutico a quello della merceologia, si è trasformato in quello di scienza della materia<sup>2</sup>. "Scienza della materia" è però un insegnamento cosiddetto "atipico": oltre che agli insegnanti della classe "Chimica" può essere affidato anche a quelli della classe 60.

Riassumendo l'insegnamento della chimica è attualmente affidato ad insegnanti delle due classi 13 e 60, come schematicamente indicato nella tabella che segue.

1. La bozza dei nuovi piani orari a cui faccio riferimento è tuttora disponibile all'indirizzo

[http://www.flcgil.it/notizie/news/2008/novembre/secondaria\\_superiore\\_i\\_probabili\\_quadri\\_orari\\_dei\\_licei\\_e\\_degli\\_istituti\\_tecnici](http://www.flcgil.it/notizie/news/2008/novembre/secondaria_superiore_i_probabili_quadri_orari_dei_licei_e_degli_istituti_tecnici)

2. Per contro, per una sorta di legge del contrappasso, in una società dove ormai tutto è merce, l'insegnamento della merceologia, pure affidato in passato a laureati in chimica, è stato da tempo cancellato nell'indifferenza generale, inclusa quella dei chimici. La merceologia dovrebbe invece essere considerata una materia di alto contenuto formativo.

**Tabella 1** – Accesso all’insegnamento degli abilitati nelle classi 13 e 60

	Licei	Istituti tecnici
Materie insegnate dagli abilitati Classe 60 (Scienze)	Scienze inclusa la chimica	Scienza della Natura (biennio) Scienza della Materia (biennio)
Materie insegnate dagli abilitati Classe 13 (Chimica e tecnologie chimiche)	-	Scienza della Materia (biennio) Chimica ove presente Materie chimiche professionalizzanti nel triennio (p.e. chimica analitica, chimica industriale, etc.)

Nel complesso emerge la “non-reciprocità” fra le due classi 13 e 60. Emerge soprattutto come l’idea di un insegnamento della chimica mirante a metterne in evidenza la specificità, essenziale per l’orientamento degli studenti, non solo non sia mai riuscita ad affermarsi nei licei, ma stia diventando perdente anche negli IT.

L’esame della bozza dei nuovi piani orari fatta circolare dal ministero nel novembre scorso conferma questa tendenza. La chimica come materia autonoma non compare in nessuno degli indirizzi, né liceali né tecnici. Mentre per quelli liceali rimane in pratica tutto come adesso, a parte il numero delle ore settimanali, per gli indirizzi tecnici la situazione è la seguente:

- in tutti gli indirizzi la materia “Scienze della Terra e Biologia” (Classe 60) compare fra le materie di interesse generale, quindi come materia formativa;
- in quasi tutti gli indirizzi viene istituito il corso di “Scienze integrate (fisica e chimica)”; fanno eccezione l’indirizzo “Amministrazione, Finanza e Marketing” e quello “Turismo”, nei quali vengono in compenso leggermente aumentate le ore di insegnamento di Scienze della Terra e Biologia (per includervi anche la chimica, a quanto si sente dire);
- solo nell’indirizzo “Chimica, Materiali e Biotecnologie” rimangono insegnamenti di indirizzo.

Considerazioni finali e possibili linee di intervento

Riassumendo, la situazione si caratterizza per i seguenti aspetti:

- il numero delle ore di insegnamento calerà in generale e quindi caleranno anche le ore di chimica;
- la chimica come materia di insegnamento autonomo non è una prospettiva concreta; in particolare essa:
  - o è già abbinata alle scienze nei licei e tale rimarrà;
  - o sarà abbinata alla fisica nella maggior parte degli indirizzi degli istituti tecnici;
  - o scomparirà negli istituti tecnici ad indirizzo “Amministrazione, Finanza e Marketing” e in quelli ad indirizzo “Turismo”, a meno che non sopravviva riunita alle scienze come materia di interesse generale e formativo;
  - o permane come materia professionalizzante solo nell’istituto tecnico ad indirizzo “chimica, materiali e biotecnologie”.

Su queste tendenze la Divisione Didattica della SCI dovrà certamente elaborare una posizione, che dovrà essere sufficientemente flessibile, evitando che per difendere posizioni di principio si vadano a restringere le opportunità lavorative per i laureati in chimica. In altri termini non dovremo essere certamente noi a porre vincoli, semmai ad eliminarli.

La riunificazione delle classi di concorso in grandi aree tematiche, quale potrebbe essere una futura “Area scientifica”, semplificherebbe la gestione delle cattedre e degli insegnamenti, e potrebbe essere positiva per coloro che attualmente si ritrovano confinati in una classe di concorso eccessivamente specialistica che offre sempre meno prospettive.

Le materie che hanno una funzione essenzialmente formativa (inclusa la chimica generale) dovrebbero poter essere insegnate da tutti gli abilitati nell’area scientifica, mentre per le materie professionalizzanti, che richiedono una più specifica competenza, sarebbe sufficiente richiedere la laurea specifica: chimica analitica la insegnerebbero i chimici, microbiologia i biologi, e così via, senza introdurre l’inutile complicazione di abilitazioni specifiche.

In altri termini, se per gli insegnamenti professionalizzanti appare utile e anzi necessario mantenere una specificità di insegnamento, per quelli a carattere formativo la confluenza degli insegnanti di chimica in una più ampia area di insegnamento “scientifica” appare addirittura auspicabile ed agevolerebbe la ricostituzione di una organicità del sapere e della cultura scientifica.



### I mutamenti in campo didattico.

L'insegnamento della chimica, così come avviene al primo anno di università nei corsi di indirizzo scientifico e, seppure in forma ridotta, nei corsi di scuola secondaria, si basa su di un compendio dei fondamenti di chimica che prende il nome di Chimica Generale.

È difficile stabilire se novità e mutamenti prodotti dalla ricerca abbiano un immediato riflesso in campo didattico. Si potrebbe pensare con Kuhn che il cambiamento didattico si verifichi solamente in concomitanza con un vero e proprio mutamento di paradigma e quindi un mutamento globale negli orientamenti della disciplina, oppure più pragmaticamente quando una teoria, di una certa importanza, venga "falsificata" nel senso indicato da Popper.

Dobbiamo inoltre tenere presente che, al di là dei grandi mutamenti, quotidianamente si sviluppa ad opera della ricerca una fitta rete di scoperte e di correlazioni solo apparentemente secondarie che cumulandosi possono modificare l'orientamento della ricerca. Su quest'ultimo aspetto pesa anche un dato squisitamente politico cioè i costi della ricerca stessa.

Da un punto di vista didattico il mutamento viene almeno in parte deciso dal docente, in base alla sua attività di aggiornamento e alla sua professionalità.

È tuttavia certo che tra il momento della novità scientifica e quello del cambiamento didattico è sempre intercorso un notevole ritardo. Un esempio significativo si può trovare in un libro di testo francese compilato secondo i programmi ministeriali francesi del 1902 (*P. Lugol, "Leçon élémentaires de chimie", Belin Frères Ed., 1905, Paris*) dove si dà grande rilievo agli stati di aggregazione della materia, all'esperienza di Lavoisier e agli aspetti stechiometrici ma si cercherebbe invano un qualsiasi riferimento alla Tavola Periodica di Mendeleev che pure era stata pubblicata circa trenta anni prima, lo stesso dicasi per un testo a livello universitario pubblicato nel 1910 (*L. Troost e E. Péchard, "Traité élémentaire de chimie", Masson Ed., 1910 Paris*); un altro esempio più recente è stato vissuto dallo scrivente in prima persona: nonostante che Linus Pauling avesse pubblicato la sua opera fondamentale "La natura del legame chimico" nel 1940, è dovuto trascorrere del tempo (oltre l'anno 1955) prima che in alcune università italiane i concetti esposti divenissero parte integrante dei programmi di Chimica Generale, in questo caso si può tuttavia supporre che sui ritardi abbiano influito anche il clima culturale postbellico. È prevedibile che i tempi di sfasatura tra ricerca e didattica tenderanno ad accorciarsi, anche perché a livello mondiale la ricerca si sta muovendo su di un ventaglio sempre più ampio e in modo sempre più accelerato con riflessi quasi immediati sulla tecnologia ma soprattutto sulla vita pratica e sull'informazione extrascolastica, di conseguenza sarà giocoforza per la didattica di aggiornarsi.

Un esempio di ricerca in piena espansione, della quale da tempo si parla, è quello sulle nanotecnologie, un altro esempio è dato dalla ricerca sulle biotecnologie, che si svolge all'interfaccia tra chimica e biologia con i conseguenti riflessi in campo medico e ambientale; le due ricerche non di rado finiscono per incontrarsi in quanto le molecole o gli aggregati di molecole di natura biologica sono esse stesse nanoparticelle.

La Royal Society of Chemistry, che da sempre è sensibile a certe problematiche, ha deciso di avviare la pubblicazione di due nuove riviste: una intitolata "Nanoscale" e l'altra, per l'appunto dedicata all'interfaccia tra chimica e biologia, intitolata "Chemistry Biology Interface Forum".

Una analoga sensibilità si è sviluppata in Italia dove ormai da cinque anni si svolgono in parallelo due iniziative congressuali, quella del Nanoforum ([www.nanoforum.it](http://www.nanoforum.it)), punto d'incontro d'eccellenza per promuovere le nuove possibilità offerte dalle nanotecnologie, e il Bioforum ([www.bioforum.it](http://www.bioforum.it)) che ha l'obiettivo di favorire innovazione e trasferimento tecnologico della conoscenza.

### Le nanotecnologie.

Per ciascuna sostanza pura normalmente siamo abituati a distinguere tra proprietà a livello macroscopico e proprietà a livello microscopico, le prime riferite all'aggregato di un numero elevatissimo di molecole, le seconde alla singola molecola o comunque ad un aggregato di pochissime molecole. Molte proprietà della materia a livello macroscopico possono essere descritte con modelli e linguaggi che si riferiscono alla realtà direttamente osservabile mentre a livello microscopico bisognerà molto spesso ricorrere a modelli e linguaggi propri della meccanica quantistica.

Questa distinzione talvolta viene meno in campo didattico: probabilmente nel tentativo di semplificare, e rendere acces-

## Varie ed eventuali

sibile, ciò che semplice non è, alcuni insegnanti eccedono in zelo e producono gravi distorsioni concettuali. Tipico esempio di questo modo erroneo di procedere è l'affermazione, talvolta riportata nei libri di testo, che "la molecola dell'acqua solidifica a 0°C".

Su scala nanometrica i comportamenti della materia sono nuovi e non prevedibili, quasi che ci trovassimo in una zona di transizione tra il macroscopico e il microscopico, ad esempio la proprietà dei metalli di condurre la corrente elettrica, osservabile su quantità macroscopiche, a livello nanometrico si modifica e il metallo assume caratteristiche di un semiconduttore o addirittura di un materiale isolante, o ancora a queste dimensioni le sostanze assumono proprietà insolite, ad esempio il seleniuro di cadmio (CdSe), mostra fenomeni di fluorescenza la cui frequenza varia con le dimensioni delle particelle. Inutile dire che proprietà tanto "bizzarre" lasciano intravedere molte, possibili, importanti applicazioni.

Le nanotecnologie, come indica la parola, consistono in una serie di tecniche che permettono di progettare, sintetizzare molecole o aggregati di molecole, aventi dimensioni nanometriche e quindi di studiarne le proprietà.

È apparso subito evidente che le nanoparticelle hanno proprietà che possono interessare seppure in misura diversa discipline quali la fisica, chimica, la biologia, la medicina, l'informatica, l'ingegneria ecc., ma sono tuttora poco presenti nei programmi di insegnamento.

### Gli allotropi del carbonio.

La facilità a formare legami tra differenti atomi di carbonio con formazione di anelli e catene che ha portato alla sintesi di numerosissime molecole e macromolecole organiche, spiega nel caso del carbonio allo stato puro la formazione di numerosi allotropi, spiegabili appunto con la formazione di nanoparticelle. In futuro, parlando di allotropi del carbonio, sarà didatticamente errato citare unicamente la grafite e il diamante, come viene tuttora fatto in larga misura.



fig. 1

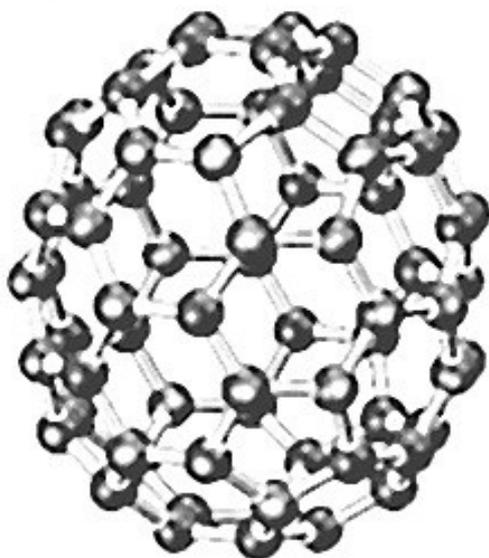


fig. 2

La ricerca in questo settore si è sviluppata in maniera esponenziale a partire dalle intuizioni di Richard Feynman, esposte nel celebre discorso del 1959, e ha portato nel 1996 al conferimento del premio Nobel per la chimica a F. R. Kurl, H. W. Croto e R. E. Smalley per la scoperta del fullerene, un allotropo del carbonio avente formula  $C_{60}$  e la forma di un pallone da football (fig. 1).

Il realtà il termine fullerene viene ora usato per indicare una intera famiglia di allotropi, infatti oltre a  $C_{60}$  sono stati scoperte altre "gabbie" di atomi di carbonio aventi formula  $C_{36}$ ,  $C_{70}$ ,  $C_{84}$  ecc..

In particolare l'allotropo  $C_{70}$ , come mostra la figura 2, ha la forma di una palla da rugby. I problemi incontrati nello studiare i numerosi allotropi del carbonio sono dovuti alla difficoltà incontrata nell'ottenere allo stato puro quantità adeguate di queste sostanze, ma ultimamente sono state messe a punto reazioni che permettono in molti casi di ottenere le quantità necessarie.

I fullereni hanno una notevole reattività e possono essere metilati, bromurati e possono formare complessi, ma hanno altresì proprietà fisiche particolarissime che fanno intravedere applicazioni eccezionali capaci di aprire la strada a vere e proprie rivoluzioni tecnologiche( <http://www.chimdocet.it/solido/file18.htm> ).

Un secondo tipo di allotropo del carbonio è il grafene che corrisponde all'incirca ad un singolo piano cristallino della grafite (fig. 3). Difficile da ottenere in quanto molto reattivo sembra suscettibile di applicazioni eccezionali soprattutto nel campo dell'elettronica (<http://it.wikipedia.org/wiki/Grafene>). Un terzo tipo di allotropo del carbonio è rappresentato dai nanotubi. Formalmente essi corrispondono a un foglio di grafene arrotolato su se stesso a formare appunto una tipica struttura cilindrica: questi sono appunto i nanotubi di carbonio. Esistono vari nanotubi, a grandi linee si possono suddividere in due tipi cioè nanotubo a parete singola costituito da un singolo foglio grafitico avvolto su sé stesso (fig. 4), oppure un nanotubo formato da più fogli avvolti coassialmente uno sull'altro.

I nanotubi nella forma aperta sono costituiti da soli esagoni, mentre le strutture a forma chiusa, analogamente ai fullereni sono formate da esagoni e pentagoni. Da questo punto di vista i nanotubi chiusi potrebbero essere considerati dei fullereni giganti ([http://it.wikipedia.org/wiki/Nanotubo\\_di\\_carbonio](http://it.wikipedia.org/wiki/Nanotubo_di_carbonio)).

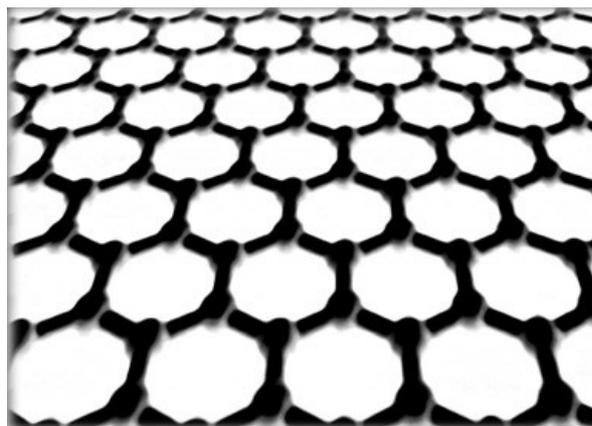


fig. 3

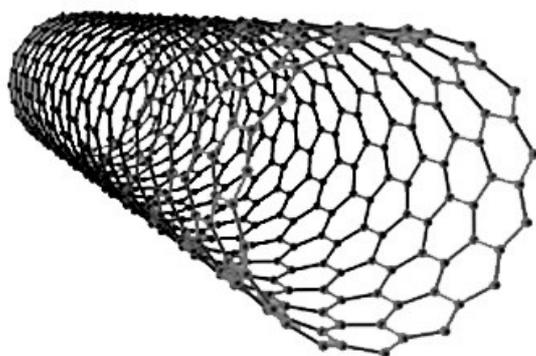
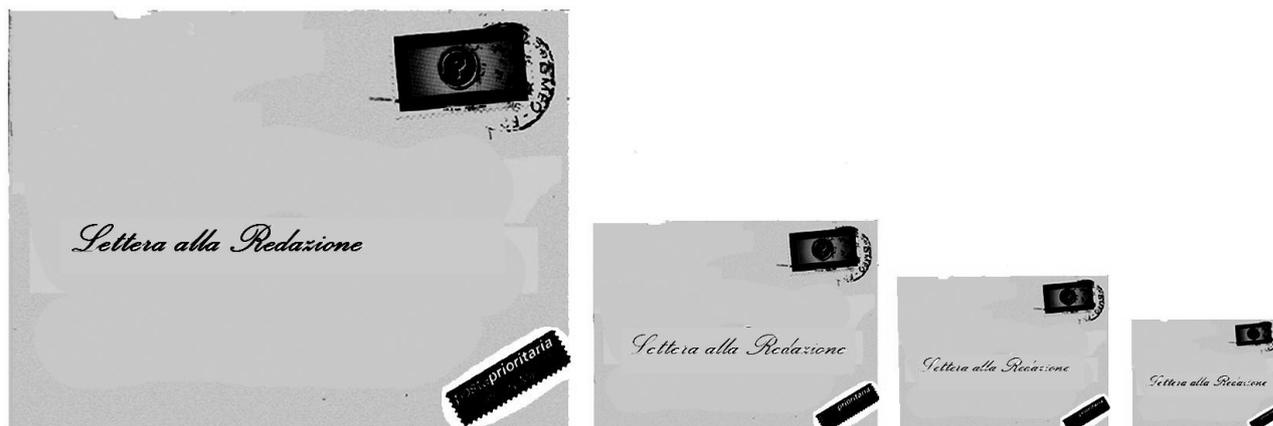


fig. 4

Come ha affermato il prof. Balzani dell'Università di Bologna, al XI Congresso Della Divisione di Didattica della Chimica tenuto a Bari, a partire dagli allotropi del carbonio e da altri simili nanomolecole, si potrà rivoluzionare l'informatica con la miniaturizzare dei chip fino ad un livello molecolare o addirittura arrivare a costruire delle vere e proprie "macchine molecolari".



**Se guadagnarsi da vivere in modo gratificante è una colpa.**

Il Governo sta tentando di mettere ordine nel pubblico impiego e lo sta facendo con impegno. Riduzione degli sprechi e lotta al malcostume sono obiettivi condivisibili e molto c'è da correggere anche nell'Università. Nessuno lo può negare. Eppure qualcosa di strano, di eccessivo si è avuto in questi ultimi mesi: l'opinione pubblica, ben sostenuta dai media, si è dedicata all'esecrazione dei mali universitari con *verve* e puntigliosità peculiare, e senza la minima umana comprensione. Come se le schiere fossero pronte da tempo e aspettassero solo che qualcuno lancia il fatidico: "Scatenate l'inferno!". I ministri Brunetta, Tremonti e Gelmini hanno così – in modo preterintenzionale – dato la stura alla sentina del livore, ben fermentato, nei confronti di una categoria ritenuta privilegiata. Quali le colpe che giustificano tanta acredine? Alcune sono oggettive ma in ogni ambito delle attività umane la fragilità morale può dare frutti guasti. Come interpretare, altrimenti, il 'virtuosismo' dei 'pianisti' in parlamento, la condotta degli imprenditori che si dicono 'privati' quando c'è da spartire i dividendi e si attaccano alle gonnelle dello Stato quando si trovano in difficoltà, la consapevolezza di sé dei grandi manager che riscuotono la congrua buonuscita dalle aziende che non hanno saputo salvare, le beghe tra preture, l'accondiscendenza dei giornalisti di partito... si potrebbe continuare, non c'è limite al qualunquismo. Ma per l'Università c'è dell'altro. C'è che noi siamo pagati dallo Stato per fare un lavoro che non sembra 'fatica' e che produce beni non apprezzati. È vero, ricevo uno stipendio dignitoso per fare cose che farei – e che in passato ho anche fatto – gratis. Il mio lavoro mi appassiona. Otto ore all'Università – e sono uno di quelli che ci sta di meno – per poi continuare a casa. La notte si fa fonda e devo impormi di staccare per andare a dormire. Altro che tornelli! Ma non c'è vanto perché il merito è del ruolo, meraviglioso, che sono stato chiamato a rivestire, con mansioni e stimoli sempre nuovi nel volto degli studenti, nei problemi da risolvere, nella letteratura da leggere e scrivere: il piacere nell'assolvimento dei compiti ha spesso i tratti della compulsione. Ora, non credo che un parlamentare, un operaio, una casalinga godano della stessa ventura. Da qui può nascere un diffuso senso di insofferenza legata all'idea urticante che a qualcuno sia concesso, in modo tutto sommato ingiustificato, un bene maggiore: lavorare (che già oggi è quasi un privilegio) e farlo pure con piacere. In verità, anche altre categorie ricevono compensi (mediamente elevati) per lavori gratificanti. Penso a chi lavora per le televisioni, ai giornalisti sportivi, ai calciatori... ma questi godono di buona opinione pubblica. Forse perché i 'beni' prodotti ci rendono meno agra la vita. Ma l'Università che produce? Sapere, cultura: roba che non porta frutti immediati e che per molti non è divertente. Piero e Alberto Angela (per inciso: si tratta di un caso di omonimia, di familismo o di bravi professionisti che si meritano il posto pubblico occupato?) sono contenti se riescono a racimolare un paio di milioni di telespettatori. Vogliamo mettere con gli ascolti de *L'Isola dei Famosi*? Se anche persone di cultura come il direttore Feltri maramaldeggiano sull'Università ("I ricercatori hanno il diritto di 'ricercare'; ma che almeno, ogni tanto, trovino qualcosa!" – ha detto a *Matrix*, incassando un consenso divertito, pressoché generale) non ci resta che abbassare le braccia. Continueremo a lavorare con l'impegno di sempre, come il tenore che non interrompe la *performance*, pur bersagliato di ortaggi, perché convinto che la passione emendi le stecche. "Soffri e sii grande", è l'invito che Anfrido fa ad Adelchi alle prese con un destino ingrato, e sembra scritto per l'Università. Se, poi, guadagnarsi da vivere in modo gratificante è una colpa, che io sia esposto al pubblico ludibrio: lo confesso, sono colpevole.

**Giovanni LENTINI**  
Prof. associato  
Università degli Studi di Bari  
Dipartimento Farmaco-Chimico

# Relazione dei Giochi della Chimica 2009

**Mario Anastasia**

*Responsabile Nazionale dei Giochi della Chimica  
Dipartimento di Chimica, Biochimica e Biotecnologie per la Medicina  
Via Saldini, 50 - 20133 Milano*

Ricordo brevemente che i Giochi della Chimica sono una manifestazione nazionale annuale, organizzata dalla Divisione di Didattica Chimica della Società Chimica Italiana (SCI) e patrocinata dal Ministero della Pubblica Istruzione. Responsabile dell'organizzazione nazionale è il sottoscritto Mario Anastasia che, avvalendosi della collaborazione di tutti i colleghi presidenti delle sezioni regionali della SCI e di numerosi altri colleghi, ogni anno cura lo svolgimento della gara, che ha lo scopo di stimolare l'interesse dei giovani verso la conoscenza della Chimica, facendo loro comprendere l'importanza di tale Scienza sia per una corretta formazione di base sia quale ausilio per la comprensione e l'interpretazione di molte altre discipline che altrimenti non potrebbero essere comprese nel loro intimo significato. La competizione è valida per la selezione della rappresentativa italiana alle Olimpiadi Internazionali della Chimica e per la selezione delle eccellenze scientifiche tra i nostri giovani, nostro orgoglio e nostra assicurazione per un futuro degno delle nostre tradizioni e della storia scientifica del nostro Paese. La competizione, che quest'anno ha compiuto il suo venticinquesimo anno, è aperta agli studenti di tutte le Scuole Secondarie Superiori che partecipano a tre distinte classi di concorso: la classe "A" riservata agli studenti dei bienni iniziali di qualsiasi tipo di scuola, la classe "B" riservata agli studenti dei successivi trienni (Licei e Istituti tecnici), la classe "C" riservata agli studenti dei trienni a indirizzo chimico degli Istituti Tecnici e Professionali. Dopo una selezione a livello delle diverse scuole, si ha una selezione regionale, a cui sono invitati a partecipare i selezionati delle diverse scuole, che quest'anno si è svolta il giorno 9 maggio, alla stessa ora in tutt'Italia. I giovani partecipanti devono risolvere 60 quesiti a risposta suggerita che riguardano tutti gli argomenti di chimica delle diverse categorie. I primi classificati di ciascuna delle tre classi di concorso della selezione regionale partecipano poi alla finale nazionale dei Giochi della Chimica che si tiene da sempre presso il ridente cento Giovanni XXII di Frascati. Quest'anno, le selezioni Nazionali dei Giochi della Chimica si sono svolte il giorno 5 giugno. In tale occasione si individuano i primi tre classificati Nazionali delle tre Categorie A, B e C, che vengono insigniti di medaglie d'oro, argento e bronzo. Sono i vincitori dei giochi. Il giorno successivo, quest'anno, il 6 giugno, si svolgono le selezioni per la partecipazione alle Olimpiadi, tra le classi B e C. Tra i selezionati, in genere 8 candidati, vengono poi scelti i 4 che partecipano alle Olimpiadi e rappresentare l'Italia in tale competizione internazionale che quest'anno si terrà a Cambridge nel Regno Unito dal 18 al 27 luglio.

I Giochi della Chimica dell'anno 2009 si sono conclusi ieri, 6 giugno 2009, a Frascati, dove si sono svolte le Prove Nazionali e le Selezioni dei giovani da allenare per le Olimpiadi della Chimica 2009.

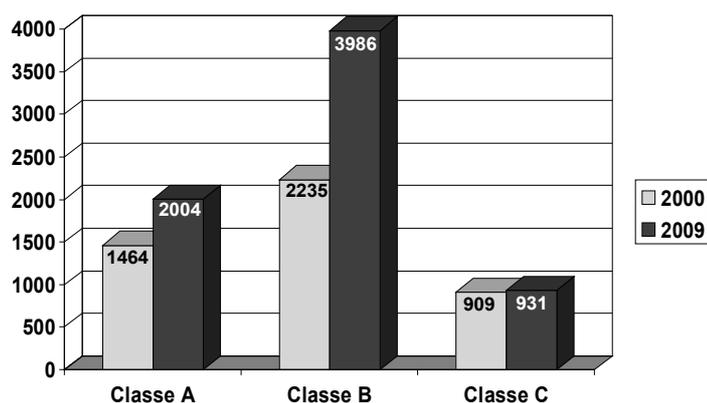
Quest'anno, in occasione del venticinquennale dei Giochi della Chimica, il comitato Organizzatore, dopo avere consultato colleghi Statistici di Scuole diverse, ha ritenuto di poter fare una prova volta a valutare come si è evoluta la cultura chimica nelle scuole italiane, dall'anno 2000 al 2009 (in 10 anni), soprattutto per quanto riguarda alcuni argomenti che nei programmi di chimica stentano a venire rinnovati. Si sono così riproposti gli stessi quesiti dell'anno 2000, con il semplice accorgimento di ruotare le risposte in quasi tutti ma non in tutti. Una prova uguale era già stata fatta dalla Royal Society of Chemistry nel Regno Unito, alcuni anni orsono e i nostri Colleghi alle Olimpiadi ci avevano raccontato che ne avevano tratto interessanti informazioni. Così, tenendo la decisione nella massima riservatezza, abbiamo sollecitato alle varie regioni una massima attenzione a non lasciar consultare alcun testo in aula, e, alle regionali, abbiamo riproposto i test del 2000. Subito dopo la prova abbiamo avvertito i responsabili regionali che in gran parte ci hanno anche risposto apprezzando la decisione. Non è mancato comunque qualche collega (non più di tre o quattro) che si era preoccupato che la cosa potesse favorire i meno bravi. Dopo le nostre personali spiegazioni, e la visione dei risultati, quasi tutti si sono convinti. L'analisi dei risultati al momento è solo parziale e richiede uno studio approfondito che sarà fatto quando il lavoro per le Olimpiadi che già ci ha occupati a tempo pieno, sarà terminato. Ora però possiamo già analizzare alcuni dati più immediati della prova 2009, confrontandoli con quella del 2000. La scelta dell'anno 2000 è dovuta al fatto che nel 2000 si era avuto il primo sdoppiamento della classe A, che prima comprendeva bienni, licei e istituti tecnici, nelle classi A e B. Per semplicità riportiamo alcuni grafici riassuntivi della partecipazione alla edizione 2009, affiancandovi i dati già disponibili del 2000. Ci asteniamo al momento da qualsiasi commento immediato sui progressi o regressi di chimica, che riteniamo vada inquadrato in un contesto globale controllato, per riferirsi solo ad alcuni dati numerici. Alle selezioni del 2009 hanno partecipato circa 7000 studenti a loro volta selezionati localmente da 25-27.000 studenti. Ciò rappresenta un incremento positivo del 50%. Tale incremento è dovuto soprattutto alla incrementata partecipazione delle classi A e B, ovvero dei giovanissimi e dei giovani che si avviano agli studi. Costante è invece il numero dei partecipanti alla classe C.

## Relazione Giochi della Chimica

Numero studenti partecipanti:

partecipanti			Variazione percentuale rispetto al 2000
	2000	2009	%
Classe A	1464	2004	+37
Classe B	2235	3986	+78
Classe C	909	931	+2
<b>Totale partecipanti</b>	<b>4608</b>	<b>6921</b>	<b>+50</b>

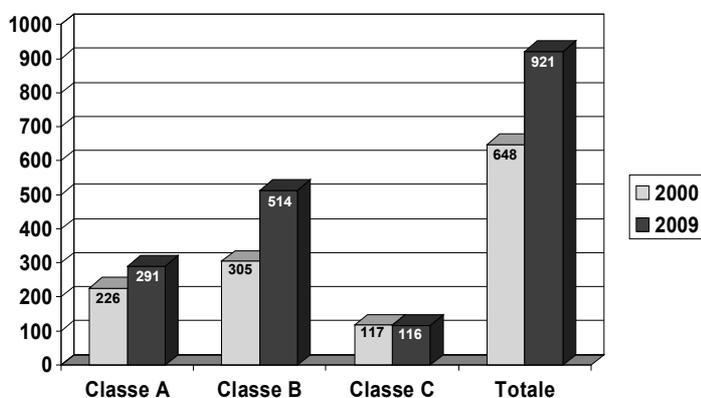
### Numero di studenti partecipanti



Anche i dati riguardanti il numero di scuole mostra un incremento notevole di partecipazione delle classi A e soprattutto B. Numero studenti partecipanti:

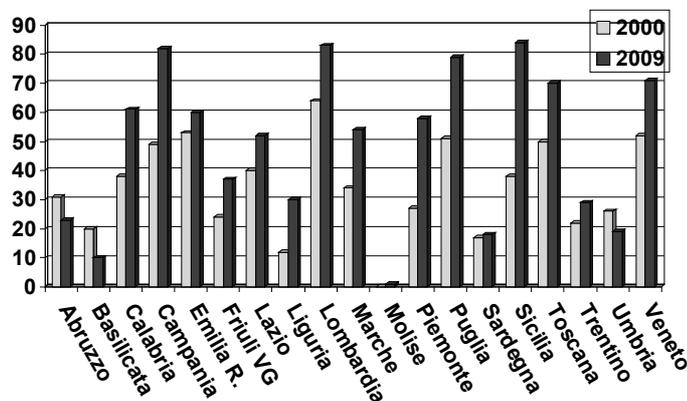
scuole			Variazione percentuale rispetto al 2000
	2000	2009	%
Classe A	226	291	+29
Classe B	305	514	+69
Classe C	117	116	-1
<b>Totale scuole partecipanti</b>	<b>648</b>	<b>921</b>	<b>+42</b>

### Numero di scuole partecipanti



Anche la partecipazione delle scuole delle varie regioni mostra dei dati interessanti, e degli spunti per interpretazioni che al momento lascio al lettore, invitando magari qualche collega a comunicarmi le deduzioni per la propria regione dove fattori locali possono essere determinanti e vanno tenuti in considerazione in un'analisi globale complessa.

## Partecipazione scuole per regione totale



Per questioni di spazio, le classifiche specifiche della prova regionale, da noi compattate (grazie al programma che il Prof. Luciano Casaccia ha donato all'organizzazione dei giochi), saranno pubblicate nel sito della SCI e su Chimica nella Scuola (CNS). Così anche la classifica delle prove Nazionali, almeno per la parte alta. Qui ricordiamo solo i vincitori nazionali delle tre categorie.

Categoria C: ha vinto la medaglia d'oro Luca Zucchini, dell'ITI T. Buzzi di Prato; hanno vinto a pari merito la medaglia d'argento: Laterza Riccardo dell'ITIS L. Dell'Erba di Castellana Grotte e Alberto Lena dell'ITI J. F. Kennedy di Pordenone; ha vinto la medaglia di bronzo: Enrico Nale dell'ITI Viola di Rovigo.

Categoria B: ha vinto la medaglia d'oro Nicola Giramondi, del Liceo Sc. F. Redi, di Arezzo; ha vinto la medaglia d'argento: Nicola Pinto del IIS Majorana-Da Vinci di Mola di Bari; ha vinto la medaglia di bronzo: Luciano Barluzzi del Liceo Sc. Marconi di Foligno.

Categoria A: ha vinto la medaglia d'oro Alice Balbi, del LST G. Natta di Rapallo; ha vinto la medaglia d'argento: Davide Todeschini dell'ITIS Badoni di Lecco; ha vinto la medaglia di bronzo: Federica Sias dell'ITIM Asproni di Iglesias.

Ricorderemo anche i selezionati per gli allenamenti preolimpionici di Pavia.

Dopo una prova svolta con quesiti a risposta aperta, abbastanza difficili, formulati sulla falsariga di quelli riportati nel fascicolo degli esercizi preparatori forniti dagli organizzatori delle Olimpiadi (vedi [www.icho2009.co.uk](http://www.icho2009.co.uk)), sono stati selezionati (successivamente) i seguenti campioni:

*Zucchini Luca*, dell'ITI T. Buzzi di Prato;  
*Lena Alberto* dell'ITI J. F. Kennedy Pordenone  
*Laterza Riccardo* dell'ITIS L. Dell'Erba Castellana Grotte;  
*Branchi Alberto* dell'ITIS Fermi di Mantova;  
*Nale Enrico* dell'ITIS F. Viola di Rovigo;  
*Barluzzi Luciano* del Liceo Scientifico Marconi di Foligno;  
 Pignataro Marcello dell'ITI Fermi di Modena  
 Parravicini Davide dell'ITIS Monet di Mariano Comense;  
 Della Porta Paolo dell'ITI E. Fermi Sarno di Salerno;  
*Laterza Vincenzo* dell'ITIS L. Dell'Erba di Castellana Grotte.

Come si osserverà, i selezionati sono più di 8. Ciò perché alcuni hanno rinunciato per vari motivi e quindi sono stati ripescati altri candidati anche per un investimento futuro. Alla fine a Pavia però sono giunti solo 7 selezionati, quelli i cui nomi sono in corsivo.

Spiace che alcuni ragazzi siano costretti a non partecipare, soprattutto quando ciò è dovuto al fatto che oltre a studiare essi devono farsi carico di problemi familiari. Sono ancora più encomiabili! D'altro canto chi deve sostenere l'esame immaturità e partecipa all'allenamento senza temendo di non essere poi selezionato resta molto male e preferisce allora dedicarsi allo studio. Bisogna a tal proposito segnalare anche una vituperabile indifferenza di alcune scuole per l'impe-

## Relazione Giochi della Chimica

gno dei futuri periti chimici partecipanti alle Olimpiadi. Vengono tartassati nelle materie letterarie quando conoscono già tanta chimica che potrebbero benissimo mutuare qualche lacuna sul Pascoli o sul Parini! I giovani, mentre il sottoscritto scrive sono già a Pavia nel collegio Plinio Fraccaro, dove si tengono gli allenamenti. Il Collegio non è quindi il Borromeo. La manifestazione è stata accolta con molto piacere dal Rettore del Collegio P. Fraccaro ([WWW.pliniofraccaro.it](http://WWW.pliniofraccaro.it)) Prof Marco Panella. Il Collegio Fraccaro è sorto nel 1963, vanta già molti illustri allievi e certamente riceverà nuova linfa dai nostri atleti che daranno il loro contributo, così come hanno fatto con il Borromeo in tanti anni di frequentazione con reciproca soddisfazione.

Ma torniamo alle selezioni di Frascati e alle premiazioni dei campioni. Per la premiazione dei vincitori si sono avuti due ospiti di eccezione, i Professori Gianfranco Scorrano e Romualdo Caputo. Il primo, fondatore dei giochi, il secondo organizzatore degli stessi e rilanciato della partecipazione dell'Italia alle Olimpiadi, con l'organizzazione anche delle Olimpiadi in Italia con un'edizione (1993) rimasta nella storia delle stesse Olimpiadi. Così i due Professori hanno premiato i vincitori e hanno potuto rivivere momenti commoventi della loro vita accademica. Una grande torta con una dolce scritta che ricordava il venticinquennale ha immortalato l'evento (foto). Come al solito i vincitori hanno ricevuto al posto delle medaglie un delfino d'oro della Pomellato, offerto, come tradizione, dalla SCI. Inoltre vari sponsor hanno offerto piccoli doni a tutti i partecipanti. La Bracco ha offerto un mini mouse a tutti, oltre a un iPod ai primi classificati. La Lanxess ha invece donato una maglietta a tutti i partecipanti, compresi i professori che hanno partecipato alla discussione dei test e uno zainetto. Il suo amministratore delegato Dottor Trabace ha anche offerto stages ai giovani diplomandi che ne avrebbero fatto richiesta alla sua Collaboratrice Dottorssa Raffaella Tedesco. La società Gibertini elettronica, come tradizione ha donato una bilancia all'istituto del vincitore della classe C e ha messo disposizione un pulmino per il trasbordo dalla stazione ferroviaria al centro e viceversa. Possiamo quindi chiudere questa breve cronaca degli eventi, concludendo che anche questa edizione si è svolta con successo e soddisfazione di tutti e possiamo ringraziare quanti hanno contribuito a renderla possibile, dagli studenti partecipanti, ai loro professori, a tutti i miei colleghi delle regioni e a quelli che più da vicino hanno collaborato a rendere possibile l'evento. Ci diamo anche appuntamento ai primi di settembre a Padova per analizzare più a fondo i risultati che a quel tempo comprenderanno anche quelli delle Olimpiadi.



Cerimonia per i venticinque anni, da sinistra: i Professori Romualdo Caputo, Gianfranco Scorrano e Mario Anastasia

## Olimpiadi della Chimica

**Alberto Lena – Medaglia d'Argento**

**Alberto Branchi – Medaglia di Bronzo**

**Luca Zucchini – Medaglia di Bronzo**

Zucchini piazzandosi molto vicino all'argento!

Carissimi,

sono appena rientrato dalle Olimpiadi, con un viaggio abbastanza faticoso in quanto l'Alitalia aveva annullato il nostro volo e ci ha costretti, dopo una levataccia alle 4 di mattina, a partire alle 6,30 di sera da un aeroporto diverso da quello di prima. Comunque vi voglio solo comunicare che siamo tornati con una medaglia d'argento e due di bronzo. Siamo anche contenti, perché la competizione è sempre più feroce essendo aumentate le nazioni partecipanti con l'ingresso di molte nazioni aggressive che dispongono di tradizioni didattiche di alto livello. Anche nazioni come Usa e ora anche Cina devono fare i conti con Israele e Giappone. La Cina, dopo aver preso solo medaglie d'oro, per la prima volta, ha preso una medaglia d'argento! Il mentor era infuriato anche se ha vinto le Olimpiadi. Noi ci difendiamo. Dovremo però modificare qualcosa per avere un appoggio delle locali Università regionali. Di questo però parlerò nella relazione finale. Per ora vi prego di prendere nota del risultato, soprattutto di renderlo noto alle scuole e di rendere possibile ogni amplificazione attraverso la stampa anche locale. Mi congratulo con i Colleghi Responsabili regionali dei vincitori e ringrazio tutti per la collaborazione senza la quale il risultato non sarebbe stato possibile. Buone vacanze a tutti.

**Mario Anastasia**

### Errata Corrige

Nel Sommario del fascicolo n.1 2009 non è riportato il contributo: "*La (ri)valutazione delle attività di laboratorio: riflessioni e proposte. Parte 1*" di Enrico Mansueti. L'articolo è regolarmente stampato a pag. 58 dello stesso fascicolo.

LA REDAZIONE SI SCUSA CON L'AUTORE E I LETTORI

## XIII Convegno Nazionale di Storia e Fondamenti della Chimica

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”  
Roma, 23-26 settembre 2009, Aula “La Ginestra”, Dipartimento di Chimica, Edificio Cannizzaro

### PROGRAMMA

#### MERCOLEDÌ 23 SETTEMBRE

14.00 Registrazione dei partecipanti  
15.00 Apertura del Convegno – Saluti Inaugurali

##### Scienza ed etica

15.30 *FEDERICO DI TROCCHIO* - Le radici socioeconomiche dei problemi etici sollevati dalla ricerca scientifica  
16.20 *MARCO TADDIA* - La scienza deviata: recenti riscontri e qualche aggiornamento alle *Reflections* di Charles Babbage (1830)  
16.45 - 17.00 *Coffee Break*

##### Le nostre radici

17.00 *BERENICE CAVARRA* - La rinascita degli studi aristotelici a Bisanzio presso il circolo di Anna Comnena (XII sec.).  
17.25 *PAOLA CARUSI* - Il *Miftāh al-Īkma* attribuito a Iznīqī: primi studi e interrogativi  
17.50 *ANDREA BERNARDONI* - Gli elementi e la costituzione del mondo in Leonardo da Vinci  
18.15 *ANTONINO DRAGO* - La teoria chimica di Nicolò Cusano

#### GIOVEDÌ 24 SETTEMBRE

##### Le nostre radici

09.00 *DOMENICO PRIORI* - La chimica nell' "Epistolario ad Antonio Vallisnieri" di Giacinto Cestoni  
09.25 *ANNARITA FRANZA* - La chimica sacra: Romolo Spezioli e la canonizzazione di Lorenzo Giustiniano

##### La chimica in Italia, fra scienza e società

09.50 *MAURO CAPOCCI* - Chimica, Penicillina e Sanità: Domenico Marotta, Ernst Chain e l'industria farmaceutica italiana dopo la Seconda Guerra Mondiale  
10.20 *MARCO CIARDI* - L'ipotesi di Avogadro in Italia  
10.45 - 11.00 *Coffee Break*  
11.00 *ANGELO BASSANI* - L'istituzione della prima cattedra di elettrochimica  
11.25 *MAURIZIO D'AURIA* - La nascita della fotochimica in Italia. Il ruolo di Maria Bakunin

##### I ferri del mestiere: gli strumenti

11.50 *LORENZO FLORA* - Gli studi sul calore radiante di John Tyndall: la Bakerian Lecture del 1861  
12.15 *SILVIA GENCO* - La Bilancia di precisione aperiodica di Pierre Curie

##### La chimica in Italia: centro e periferia

15.00 *GIOVANNI PICCARDI* - La Spezieria di Boboli, il periodo Lorenese  
15.25 *RAFFAELLA SELIGARDI* - Il corpo come laboratorio  
15.50 *CORINNA GUERRA* - Presenze napoletane nelle «Annales de chimie» (1789-1825)

##### Comunicare! Comunicare!

16.15 *GIANMARCO IELUZZI, FRANCESCA TURCO* - Aguzzo la vista. Confronto tra diverse tradizioni iconografiche del laboratorio di Justus von Liebig  
16.40 *ERMINIO MOSTACCI* - Divulgazione e informazione scientifica, il contributo di Paolo Mantegazza  
17.05 - 17.20 *Coffee Break*  
17.20 *GIULIANO MORETTI* - Avogadro, Cannizzaro e la “legge degli atomi”  
17.45 *FRANCESCO CARDONE* - Il futurismo e la chimica  
18.10 *GIUSEPPE MARINO NARDELLI* - Il *Catalogo Verzocchi del 1924*: un perfetto connubio tra chimica industriale, etica ed arte

#### VENERDÌ 25 SETTEMBRE

##### L'orizzonte biografico

09.00 *MARCO FONTANI, FRANCESCA SALVIANTI* - Il Sistema Periodico, terra di speranza e di gloria: la vita e l'opera di Augusto Piccini  
09.25 *PASQUALINA MONGILLO* - Colour and Life – Ricordo di Rodolfo Alessandro Nicolaus  
09.50 *STEFANO SALVIA* - Emil Wohlwill e Werner von Siemens. Elettrochimica ed elettrotecnica in Germania all'epoca della “seconda rivoluzione industriale”  
10.15 *VINCENZO CIOCI* - Frederick Soddy, un chimico alle frontiere della conoscenza, fra Fisica, Economia, Matematica ed Ecologia  
10.40 - 11.00 *Coffee Break*

##### Chimica, biosfera, ambiente

11.00 *BICE FUBINI* - Dalla silicosi alle nano particelle: una lunga lotta per spiegare come, quando e perché alcuni particolati sono patogeni  
11.50 *ALEXANDER DI BARTOLO* - Il contributo di Alexander von Humboldt agli studi sulla “composizione chimica dell'aria atmosferica”  
12.15 *LUIGI CERRUTI* - Breve storia dell'ecotossicologia - Osservazioni epistemologiche e riflessioni etiche

## Convegni e Congressi

### **I ferri del mestiere: laboratori, strumentazione, conservazione**

- 14.30 *LUCIANA RITA ANGELETTI* - Dall'officina alchemica al laboratorio contemporaneo: un percorso museale  
14.55 *ROBERTO ZINGALES* - Gli apparecchi per determinare le densità di gas e vapori del Gabinetto di Chimica di Palermo. Quello che c'era e quello che è rimasto  
15.20 *ANTONIO GUARNA, LAURA COLLI, MARIAGRAZIA COSTA* - Verso un museo di Storia della Chimica a Firenze: il progetto Chemical Heritage  
15.45 *MARY VIRGINIA ORNA* - La Conservazione degli Strumenti Scientifici: Il Museo della Chemical Heritage Foundation, Filadelfia, Pensilvania, USA  
16.10 - 18.00 Visita al Museo di Storia della Medicina o al Museo di Chimica  
18.00 Assemblea dei Soci del GNFS  
21.00 Cena Sociale

## **SABATO 26 SETTEMBRE**

### **Accademia dei XL - Biblioteca – Scuderie Vecchie di Villa Torlonia**

- 09.00 *KOSTAS GAVROGLU* - "Escaping from the Thought Forms of Physicists": Various issues in the writing of the history of quantum chemistry  
09.50 *GIOVANNI GIACOMETTI* - Il percorso accademico di un chimico "ribelle" nell'Italia della seconda metà del novecento  
10.40-11.00 *Coffee Break*

### **Attualità delle carte d'archivio**

- 11.00 *FABIANA LENCI* - L'Introduzione della Chimica nella Manifattura Tabacchi di Roma  
11.25 *FRANCO CALASCIBETTA, NICOLETTA VALENTE* - L'archivio di Nicola Parravano presso l'Accademia dei XL: un'analisi preliminare  
11.50 *NICOLETTA NICOLINI* - "Peggio delle belve". Michele e Renzo Giua e la giustizia del regime  
12.10 Chiusura del Convegno

### *Organizzato da*

- Gruppo Nazionale di Fondamenti e Storia della Chimica
- Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL
- Dipartimento di Chimica
- Museo di Chimica

### *Con il contributo di*

- Università degli Studi di Roma "La Sapienza"
- Dipartimento di Chimica
- Ordine dei Chimici di Roma
- Officine Apogeo

### *Con il patrocinio di*

- Comune di Roma
- Provincia di Roma
- Regione Lazio
- Società Chimica Italiana

### *Comitato Scientifico*

Luigi Cerruti, Alessandro Ballio, Angelo Bassani, Franco Calascibetta, Marco Ciardi, Raffaella Seligardi, Marco Taddia

### *Comitato Organizzatore*

Mario Beccari, Franco Calascibetta, Paola Carusi, Gabriele Favero, Vincenza Ferrara, Antonella Grandolini, Andrea Macchia, Giuliano Moretti, Nicoletta Nicolini, Stella Nunziantese Cesaro, Maria Giuliana Troiani

## **ESONERO CONCESSO**

**Prot. n. OODGPER 7995 del 3 giugno 2009**